



DOCUMENTO DEL INVENTARIO NACIONAL DE GASES DE EFECTO, SERIE 1990-2022

DICIEMBRE 2024

COLABORADORES

Equipo coordinador
Kevin Basoa ¹ (Coordinador Sistema Nacional de Inventarios de Chile) Richard Martínez ¹ (Coordinador Sistema Nacional de Inventarios de Chile, 2023) Paula Carrasco ¹
Equipo técnico de Energía
Rubén Guzmán ² , Héctor Ocampo ² , Ignacio Soto ²
Equipo técnico de IPPU
Paula Carrasco ¹ , Kevin Basoa ¹ , María Dolores González ^{1,3}
Equipo técnico de Agricultura
Ignacio Beltrán ⁴ , Francisco Salazar ⁴ , Carol Ricciardi ⁴ , Paulo Cornejo ⁵
Equipo técnico de UTCUTS
Yasna Rojas ⁶ , Rodrigo Sagardía ⁶ y Carlos Bahamondez ⁶ , Marjorie Martin ⁶ , Abraham Albornoz ⁷ , Natalia Becar ⁷ , Georgina Trujillo ⁷ , Francoise Pincheira ⁷ , Elke Huss ⁷
Equipo técnico de Residuos
Kevin Basoa ¹ , Macarena Avilés ^a
Apoyos transversales
José Miguel Valdés ^{1,8} , Bruno Campos ^{1,9} , Cesar Contreras ^{1,9} , Guadalupe Martínez ^a

1. Ministerio del Medio Ambiente (MMA)
2. Ministerio de Energía (MEN)
3. Unidad de Ozono
4. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA)
5. CBIT-GSP (UNEP-CCC)
6. Instituto Forestal (INFOR)
7. Corporación Nacional Forestal (CONAF)
8. Global Water Partnership (GWP)
9. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO)
- a. Profesional independiente

ÍNDICE

1	Introducción	1
1.1	Antecedentes generales.....	2
1.2	Arreglos institucionales para la elaboración de los INGEI de Chile.....	3
1.3	Proceso de actualización del INGEI de Chile.....	6
1.4	Metodología y principales fuentes de información	7
1.5	Categorías principales	9
1.6	Evaluación general de la incertidumbre	12
1.7	Evaluación general de la exhaustividad.....	12
1.8	Tablas Comunes de Reporte (CRT)	13
2	Tendencia	14
2.1	Tendencias de las emisiones y absorciones de GEI por sector	16
2.2	Tendencias de las emisiones y absorciones por GEI	18
2.3	Indicadores de intensidad de GEI	19
2.4	Tendencia de las emisiones de GEI por autoridad sectorial	20
3	Sector Energía (1)	22
3.1	Panorama general	23
3.1.1	Introducción	23
3.1.2	Tendencia de las emisiones de GEI.....	23
3.1.3	Tendencia del consumo de energéticos en el país.....	28
3.1.4	Aspectos metodológicos generales del sector.....	29
3.1.5	Datos de actividad del sector	30
3.2	Actividades de quema de combustible (1.A.)	38
3.2.1	Descripción de la categoría.....	38
3.2.2	Tendencia de las emisiones de GEI.....	38
3.2.3	Aspectos metodológicos de la categoría	42
3.2.4	Comparación entre el Método de referencia y el Método sectorial.....	46
3.2.5	Comparación entre información internacional y el Método sectorial	49
3.2.6	Combustible del transporte internacional.....	51
3.2.7	Partidas informativas: Emisiones de CO ₂ de Biomasa y uso no energético	55
3.2.8	Industrias de la energía (1.A.1.).....	58
3.2.9	Industrias manufactureras y de la construcción (1.A.2.).....	72
3.2.10	Transporte (1.A.3.)	82
3.2.11	Otros sectores (1.A.4.).....	95
3.2.12	No especificado (1.A.5.).....	102
3.3	Emisiones fugitivas (1.B.).....	106
3.3.1	Descripción de la categoría.....	106
3.3.2	Tendencia de las emisiones de GEI.....	106
3.3.3	Combustibles sólidos (1.B.1.).....	108
3.3.4	Petróleo y gas natural (1.B.2.)	112
3.3.5	Otras emisiones provenientes de la producción de energía (1.B.3.)	118
3.4	Transporte y almacenamiento de CO ₂ (1.C.)	118
3.5	Nuevos cálculos.....	118
3.5.1	Nuevos cálculos en el sector Energía.....	118

3.6	Procedimiento de garantía y control de la calidad y verificación	123
3.6.1	Control de la calidad en Actividades de quema de combustible (1.A)	123
3.6.2	Control de la calidad en Emisiones fugitivas (1.B)	124
3.6.3	Garantía de la calidad	125
3.6.4	Verificación.....	125
3.7	PLAN DE MEJORAMIENTO CONTINUO.....	125
3.7.1	Industrias de la energía (1.A.1)	125
3.7.2	Industrias manufactureras y de la construcción (1.A.2).....	125
3.7.3	Transporte (1.A.3)	126
3.7.4	Otros sectores (1.A.4).....	126
3.7.5	No especificado (1.A.5).....	126
3.7.6	Combustibles sólidos (1.B.1).....	126
3.7.7	Petróleo y gas natural (1.B.2)	126
3.7.8	Resumen del Plan de mejoramiento continuo	127
3.8	Referencias.....	129
4	Sector Procesos industriales y uso de productos (2).....	131
4.1	Panorama general	132
4.1.1	Descripción del sector	132
4.1.2	Tendencia de las emisiones de GEI.....	132
4.1.3	Aspectos metodológicos generales del sector.....	141
4.1.4	Datos de actividad del sector	142
4.1.5	Factores de emisión del sector	142
4.2	Industria de los minerales (2.A.).....	142
4.2.1	Descripción y tendencia de los GEI de la categoría.....	142
4.2.2	Aspectos metodológicos de la categoría	146
4.2.3	Descripción de cualquier flexibilidad aplicada en la categoría.....	154
4.2.4	Incertidumbre y coherencia de la serie temporal de la categoría	154
4.2.5	Procedimiento de garantía y control de calidad y verificación	155
4.2.6	Nuevos cálculos	156
4.2.7	Mejoras planificadas para la categoría	156
4.3	Industria química (2.B.)	157
4.3.1	Descripción y tendencia de los GEI de la categoría.....	157
4.3.2	Aspectos metodológicos de la categoría	160
4.3.3	Descripción de cualquier flexibilidad aplicada en la categoría.....	168
4.3.4	Incertidumbre y coherencia de la serie temporal de la categoría	168
4.3.5	Procedimiento de garantía y control de calidad y verificación	169
4.3.6	Nuevos cálculos	170
4.3.7	Mejoras planificadas para la categoría	170
4.4	Industria de los metales (2.C.).....	170
4.4.1	Descripción y tendencia de los GEI de la categoría.....	170
4.4.2	Aspectos metodológicos de la categoría	174
4.4.3	Descripción de cualquier flexibilidad aplicada en la categoría.....	180
4.4.4	Incertidumbre y coherencia de la serie temporal de la categoría	180
4.4.5	Procedimiento de garantía y control de calidad y verificación	181

4.4.6	Nuevos cálculos	181
4.4.7	Mejoras planificadas para la categoría	181
4.5	Uso de productos no energéticos de combustibles y de solventes (2.D.)	182
4.5.1	Descripción y tendencia de los GEI de la categoría.....	182
4.5.2	Aspectos metodológicos de la categoría	184
4.5.3	Descripción de cualquier flexibilidad aplicada en la categoría.....	188
4.5.4	Incertidumbre y coherencia de la serie temporal de la categoría	188
4.5.5	Procedimiento de garantía y control de calidad y verificación	188
4.5.6	Nuevos cálculos	189
4.5.7	Mejoras planificadas para la categoría	190
4.6	Uso de productos sustitutos de las sustancias que agotan la capa de ozono (2.F.).....	190
4.6.1	Descripción de la categoría.....	190
4.6.2	Aspectos metodológicos de la categoría	198
4.6.3	Descripción de cualquier flexibilidad aplicada en la categoría.....	211
4.6.4	Incertidumbre y coherencia de la serie temporal de la categoría	211
4.6.5	Procedimiento de garantía y control de calidad y verificación	213
4.6.6	Nuevos cálculos	213
4.6.7	Mejoras planificadas para la categoría	213
4.7	Manufactura y utilización de otros productos (2.G.)	213
4.7.1	Descripción y tendencia de los GEI de la categoría.....	213
4.7.2	Aspectos metodológicos de la categoría	217
4.7.3	Descripción de cualquier flexibilidad aplicada en la categoría.....	221
4.7.4	Incertidumbre y coherencia de la serie temporal de la categoría	221
4.7.5	Procedimiento de garantía y control de calidad y verificación	222
4.7.6	Nuevos cálculos	222
4.7.7	Mejoras planificadas para la categoría	223
4.8	Referencias.....	224
5	Sector Agricultura (3).....	225
5.1	Panorama general	226
5.1.1	Descripción del sector	226
5.1.2	Tendencia de los GEI del sector	226
5.1.3	Aspectos metodológicos generales del sector.....	232
5.2	Fermentación entérica (3.A).....	232
5.2.1	Descripción y tendencia de los GEI de la categoría.....	232
5.2.2	Aspectos metodológicos de la categoría	235
5.2.3	Descripción de cualquier flexibilidad aplicada en la categoría.....	239
5.2.4	Incertidumbre y coherencia de la serie temporal de la categoría	239
5.2.5	ACCV de la categoría	240
5.2.6	Nuevos cálculos	242
5.2.7	Mejoras planificadas para la categoría	244
5.3	Gestión del estiércol (3.B)	244
5.3.1	Descripción y tendencia de los GEI de la categoría.....	244
5.3.2	Aspectos metodológicos de la categoría	249
5.3.3	Descripción de cualquier flexibilidad aplicada en la categoría.....	257

5.3.4	Incertidumbre y coherencia de la serie temporal de la categoría	258
5.3.5	ACCV de la categoría	258
5.3.6	Nuevos cálculos	259
5.3.7	Mejoras planificadas para la categoría	261
5.4	Cultivo del arroz (3.C)	262
5.4.1	Descripción y tendencia de los GEI de la categoría.....	262
5.4.2	Aspectos metodológicos de la categoría	263
5.4.3	Descripción de cualquier flexibilidad aplicada en la categoría.....	265
5.4.4	Incertidumbre y coherencia de la serie temporal de la categoría	265
5.4.5	ACCV de la categoría	266
5.4.6	Nuevos cálculos	266
5.4.7	Mejoras planificadas para la categoría	267
5.5	Suelos agrícolas (3.D)	268
5.5.1	Descripción y tendencia de los GEI de la categoría.....	268
5.5.2	Aspectos metodológicos de la categoría	271
5.5.3	Descripción de cualquier flexibilidad aplicada en la categoría.....	274
5.5.4	Incertidumbre y coherencia de la serie temporal de la categoría	274
5.5.5	ACCV de la categoría	274
5.5.6	Nuevos cálculos	275
5.5.7	Mejoras planificadas para la categoría	276
5.6	Quema prescrita de sabanas (3.E).....	277
5.7	Quema de residuos agrícola en el campo (3.F).....	277
5.7.1	Descripción y tendencia de los GEI de la categoría.....	277
5.7.2	Aspectos metodológicos de la categoría	278
5.7.3	Descripción de cualquier flexibilidad aplicada en la categoría.....	279
5.7.4	Incertidumbre y coherencia de la serie temporal de la categoría	279
5.7.5	ACCV de la categoría	279
5.7.6	Nuevos cálculos	280
5.7.7	Mejoras planificadas para la categoría	281
5.8	Encalado (3.G)	282
5.8.1	Descripción y tendencia de los GEI de la categoría.....	282
5.8.2	Aspectos metodológicos de la categoría	283
5.8.3	Descripción de cualquier flexibilidad aplicada en la categoría.....	284
5.8.4	Incertidumbre y coherencia de la serie temporal de la categoría	285
5.8.5	ACCV de la categoría	285
5.8.6	Nuevos cálculos	285
5.8.7	Mejoras planificadas para la categoría	287
5.9	Aplicación de urea (CRT 3.H)	287
5.9.1	Descripción y tendencia de los GEI de la categoría.....	287
5.9.2	Aspectos metodológicos de la categoría	288
5.9.3	Descripción de cualquier flexibilidad aplicada en la categoría.....	289
5.9.4	Incertidumbre y coherencia de la serie temporal de la categoría	289
5.9.5	ACCV de la categoría	290
5.9.6	Nuevos cálculos	290

5.9.7	Mejoras planificadas para la categoría	291
5.10	Otros fertilizantes que contienen carbono (3.I).....	291
5.11	Otros (especificar) (3.J).....	291
5.12	Referencias.....	292
6	Sector Uso de la tierra, cambio en el uso de la tierra y silvicultura	294
6.1	Panorama general	295
6.1.1	Descripción del sector	295
6.1.2	Tendencia de los GEI del sector	296
6.1.3	Aspectos metodológicos generales del sector	302
6.2	Definiciones de uso de la tierra	303
6.3	Métodos específicos del país.....	305
6.3.1	Métodos utilizados para la representación de las tierras	305
6.3.2	Métodos utilizados para las perturbaciones naturales	316
6.3.3	Métodos utilizados para los productos de la madera recolectada	316
6.4	Tierras forestales (4.A)	317
6.4.1	Descripción y tendencia de los GEI de la categoría.....	317
6.4.2	Aspectos metodológicos de la categoría	321
6.4.3	Descripción de cualquier flexibilidad aplicada en la categoría.....	337
6.4.4	Incertidumbre y coherencia de la serie temporal de la categoría	337
6.4.5	AC/CC de la categoría	337
6.4.6	Nuevos cálculos	338
6.5	Tierras de cultivo (4.B)	339
6.5.1	Descripción y tendencia de los GEI de la categoría.....	339
6.5.2	Aspectos metodológicos de la categoría	342
6.5.3	Descripción de cualquier flexibilidad aplicada en la categoría.....	346
6.5.4	Incertidumbre y coherencia de la serie temporal de la categoría	346
6.5.5	AC/CC de la categoría	346
6.5.6	Nuevos cálculos	346
6.6	Pastizales (4.C)	347
6.6.1	Descripción y tendencia de los GEI de la categoría.....	347
6.6.2	Aspectos metodológicos de la categoría	349
6.6.3	Descripción de cualquier flexibilidad aplicada en la categoría.....	352
6.6.4	Incertidumbre y coherencia de la serie temporal de la categoría	352
6.6.5	AC/CC de la categoría	353
6.6.6	Nuevos cálculos	353
6.7	Humedales (4.D).....	353
6.7.1	Descripción y tendencia de los GEI de la categoría.....	353
6.7.2	Aspectos metodológicos de la categoría	354
6.7.3	Descripción de cualquier flexibilidad aplicada en la categoría.....	355
6.7.4	Incertidumbre y coherencia de la serie temporal de la categoría	355
6.7.5	AC/CC de la categoría	355
6.7.6	Nuevos cálculos	356
6.8	Asentamientos (4.E)	356
6.8.1	Descripción y tendencia de los GEI de la categoría.....	356

6.8.2	Aspectos metodológicos de la categoría	357
6.8.3	Descripción de cualquier flexibilidad aplicada en la categoría.....	358
6.8.4	Incertidumbre y coherencia de la serie temporal de la categoría	358
6.8.5	AC/CC de la categoría	359
6.8.6	Nuevos cálculos	359
6.9	Otras tierras (CRT 4.F)	359
6.9.1	Descripción y tendencia de los GEI de la categoría.....	359
6.9.2	AC/CC de la categoría	360
6.9.3	Nuevos cálculos	360
6.10	Productos de madera recolectada (CRT 4.G).....	360
6.10.1	Descripción y tendencia de los GEI de la categoría.....	360
6.10.2	Aspectos metodológicos de la categoría	361
6.10.3	Descripción de cualquier flexibilidad aplicada en la categoría.....	365
6.10.4	Incertidumbre y coherencia de la serie temporal de la categoría	365
6.10.5	AC/CC de la categoría	365
6.10.6	Nuevos cálculos	365
6.11	Emisiones de N2O desde suelos manejados.....	365
6.12	Mejoras planificadas del sector UTCUTS	366
6.13	Referencias.....	368
7	Sector Residuos (5)	371
7.1	Panorama general	372
7.1.1	Descripción del sector	372
7.1.2	Tendencia de las emisiones de GEI.....	373
7.1.3	Aspectos metodológicos generales del sector.....	379
7.1.4	Datos de actividad del sector	380
7.1.5	Factores de emisión del sector	380
7.2	Disposición de residuos sólidos (5.A.)	380
7.2.1	Descripción y tendencia de los GEI de la categoría.....	380
7.2.2	Aspectos metodológicos de la categoría	383
7.2.3	Descripción de cualquier flexibilidad aplicada en la categoría.....	391
7.2.4	Incertidumbre y coherencia de la serie temporal de la categoría	391
7.2.5	Procedimiento de garantía y control de la calidad y verificación	391
7.2.6	Nuevos cálculos	392
7.2.7	Mejoras planificadas para la categoría	392
7.3	Tratamiento biológico de los residuos sólidos (5.B.)	393
7.3.1	Descripción y tendencia de los GEI de la categoría.....	393
7.3.2	Aspectos metodológicos de la categoría	394
7.3.3	Descripción de cualquier flexibilidad aplicada en la categoría.....	396
7.3.4	Incertidumbre y coherencia de la serie temporal de la categoría	396
7.3.5	Procedimiento de garantía y control de la calidad de la categoría	396
7.3.6	Nuevos cálculos	396
7.3.7	Mejoras planificadas para la categoría	397
7.4	Incineración y quema abierta de residuos (5.C.)	397
7.4.1	Descripción y tendencia de los GEI de la categoría.....	397

7.4.2	Aspectos metodológicos de la categoría	399
7.4.3	Descripción de cualquier flexibilidad aplicada en la categoría.....	402
7.4.4	Incertidumbre y coherencia de la serie temporal de la categoría	402
7.4.5	Procedimiento de garantía y control de la calidad de la categoría	403
7.4.6	Nuevos cálculos	403
7.4.7	Mejoras planificadas para la categoría	404
7.5	Tratamiento y descarga de aguas residuales (5.D.)	404
7.5.1	Descripción y tendencia de los GEI de la categoría.....	404
7.5.2	Aspectos metodológicos de la categoría	406
7.5.3	Descripción de cualquier flexibilidad aplicada en la categoría.....	420
7.5.4	Incertidumbre y coherencia de la serie temporal de la categoría	420
7.5.5	Procedimientos de garantía y control de la calidad de la categoría	420
7.5.6	Nuevos cálculos	421
7.5.7	Mejoras planificadas para la categoría	421
8	Nuevos cálculos	422
9	Carbono negro.....	426
9.1	Panorama general	427
9.1.1	Carbono negro.....	427
9.1.2	Tendencia de las emisiones de carbono negro.....	428
9.1.3	Aspectos metodológicos generales del sector.....	429
9.1.4	Datos de actividad del sector	429
9.1.5	Factores de emisión del sector	429
9.2	Sector Energía (1).....	429
9.2.1	Descripción y tendencia de las emisiones de carbono negro	429
9.2.2	Aspectos metodológicos de la categoría	435
9.2.3	Datos de actividad de la categoría.....	439
9.2.4	Factores de emisión aplicados en la categoría	451
9.2.5	Procedimiento de garantía y control de calidad y verificación	456
9.2.6	Nuevos cálculos	456
9.2.7	Mejoras planificadas para la categoría	457
9.3	Sector Procesos Industriales y Uso de Productos (2).....	457
9.3.1	Descripción y tendencia de las emisiones de carbono negro	457
9.3.2	Aspectos metodológicos de la categoría	458
9.3.3	Datos de actividad de la categoría.....	459
9.3.4	Factores de emisión aplicados en la categoría	459
9.3.5	Procedimiento de garantía y control de calidad y verificación	459
9.3.6	Nuevos cálculos	459
9.3.7	Mejoras planificadas para la categoría	460
9.4	Sector Agricultura (3)	460
9.4.1	Descripción y tendencia de las emisiones de carbono negro	460
9.4.2	Aspectos metodológicos de la categoría	461
9.4.3	Datos de actividad de la categoría.....	461
9.4.4	Factores de emisión aplicados en la categoría	461
9.4.5	Procedimiento de garantía y control de calidad y verificación	461

9.4.6	Nuevos cálculos	461
9.4.7	Mejoras planificadas para la categoría	462
9.5	Sector Uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura (4).....	462
9.5.1	Descripción y tendencia de las emisiones de carbono negro	462
9.5.2	Aspectos metodológicos de la categoría	463
9.5.3	Datos de actividad de la categoría	463
9.5.4	Factores de emisión aplicados en la categoría	464
9.5.5	Procedimiento de garantía y control de calidad y verificación	464
9.5.6	Nuevos cálculos	464
9.5.7	Mejoras planificadas para la categoría	464
9.6	Sector Residuos (5).....	465
9.6.1	Descripción y tendencia de las emisiones de carbono negro	465
9.6.2	Aspectos metodológicos de la categoría	465
9.6.3	Datos de actividad de la categoría	466
9.6.4	Factores de emisión aplicados en la categoría	466
9.6.5	Procedimiento de garantía y control de calidad y verificación	466
9.6.6	Nuevos cálculos	466
9.6.7	Mejoras planificadas para la categoría	467
9.7	Referencias.....	467
10	Inventarios regionales de gases de efecto invernadero.....	468
10.1	Introducción	469
10.2	Aspectos metodológicos	469
10.3	Tendencia de emisiones y absorciones	473
10.3.1	Gases de efecto invernadero.....	473
10.3.2	Carbono negro.....	477
10.4	Inventario regional de gases de efecto invernadero	479
10.4.1	Sector Energía (1)	481
10.4.2	Sector Procesos industriales y uso de productos (2)	483
10.4.3	Sector Agricultura (3).....	485
10.4.4	Sector Uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura (4).....	487
10.4.5	Sector Residuos (5)	489
10.5	Inventario regional de carbono negro.....	492
10.5.1	Sector Energía (1)	493
10.5.2	Sector Uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura (4).....	496
10.6	IRGEI GPC	498
10.6.1	Metodología	499
10.7	Plan de mejoramiento.....	503

1 Introducción

El presente capítulo es el resumen del Informe del Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero de Chile, serie 1990-2022¹, que corresponde al octavo Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero de Chile (INGEI de Chile), presentado por el país ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) en cumplimiento con el Acuerdo de París, Artículo 13, párrafo 7, del año 2015².

El INGEI de Chile abarca solo el territorio nacional continental, ya que no se estiman todas las fuentes correspondientes al territorio insular y antártico. Incluye las emisiones y absorciones de gases de efecto invernadero (GEI) de origen antropógeno no controlados por el Protocolo de Montreal, siendo éstos: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF₆), de acuerdo con lo señalado en las modalidades, procedimiento y guías del marco de trabajo para la transparencia (MPG, por su sigla en inglés) del Acuerdo de París³, relacionado con los reportes de GEI. El inventario actual no incluye emisiones de trifluoruro de nitrógeno (NF₃), ya que no se cuenta con información sobre si estas emisiones ocurren o no en el país. Además, se incluyen las emisiones de gases precursores en una serie temporal anualizada que va desde 1990 a 2022 y las emisiones de carbono negro, un forzante climático de vida corta (SLCF, por su sigla en inglés), en la misma serie temporal. Los resultados de las estimaciones de GEI y gases precursores son presentados a nivel nacional y regional; en kilotoneladas (kt); y hacen referencia al 2022, 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.

1.1 Antecedentes generales

El 21 de marzo de 1994 entró en vigor la CMNUCC, ratificada por Chile el mismo año, con el objetivo de lograr la estabilización de las concentraciones de GEI en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropogénicas peligrosas en el sistema climático. Para lograr dicho objetivo, todos los países miembros de la CMNUCC deben elaborar, actualizar, publicar y facilitar periódicamente inventarios nacionales de GEI (INGEI).

Los INGEI consisten en un listado numérico exhaustivo de la estimación de cada uno de los GEI antropógenos liberados o absorbidos hacia la atmósfera en un área y en un período específico, generalmente correspondiente a un año calendario. Los INGEI tienen por objetivo determinar la magnitud de las emisiones y absorciones de GEI nacionales que son atribuibles directamente a la actividad humana, de tal manera de evidenciar sus implicancias en el cambio climático.

Para una cuantificación que asegure credibilidad, consistencia y comparabilidad entre los INGEI, tanto nacionales como internacionales, la CMNUCC propone adoptar las directrices metodológicas elaboradas por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) para la elaboración o actualización de sus inventarios. De acuerdo con estas directrices, los INGEI se constituyen por sectores económicos que se agrupan según características relativas en los procesos que generan emisiones o absorciones de GEI, estos sectores son: Energía; Procesos industriales y uso de productos (IPPU, por su sigla en inglés); Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra

¹ El Informe del Inventario Nacional de GEI de Chile, serie 1990-2022 es incluido como anexo técnico del 1^{er} Informe Bienal de Transparencia de Chile presentado ante la CMNUCC.

² https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf

³ <https://unfccc.int/documents/184700>

(AFOLU, por su sigla en inglés). Cabe mencionar que bajo el trabajo de la CMNUCC los sectores de reporte son los mismos, salvo el sector AFOLU, el que se separa en Agricultura y Usos de la Tierra, Cambio del uso de la Tierra y silvicultura (UTCTUS), lo que deja al inventario de Chile con 5 sectores de reporte, siguiendo lo señalado en las MPG (párrafo 50).

Según los acuerdos internacionales, los países en desarrollo, como Chile, deben presentar sus INGEI ante la CMNUCC como parte de las comunicaciones nacionales (cada cuatro años)⁴ y de los Informes Bienales de Actualización (IBA, cada dos años a partir del 2014)⁵. Sin perjuicio de lo anterior, por medio de la Decisión 14/CMA.1 adoptada en la COP 26 de Glasgow (2021), se estableció la obligación de presentar los Informes Bienales de Transparencia (IBT), en reemplazo de los IBA a partir del 2024.

1.2 Arreglos institucionales para la elaboración de los INGEI de Chile

En respuesta ante los compromisos adquiridos por el país en materia de reporte y presentación de sus INGEI ante las Naciones Unidas, la División 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). Este sistema se oficializará una vez se apruebe el Reglamento del Sistema Nacional de Acceso a la Información y Participación ciudadana (SNAICC), establecido en el título V, artículo 27 de la Ley Marco de Cambio Climático (Ley N° 21.455). Éste contiene las medidas institucionales, jurídicas y de procedimiento para la actualización bienal del INGEI de Chile, con el objetivo de garantizar la sostenibilidad de la preparación de los INGEI en el país y mantener la coherencia de los flujos de GEI notificados y la calidad de los resultados.

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:

- a) **Operación del SNICHILE:** gestión permanente del SNICHILE mediante la mantención de una estructura orgánica, con roles y responsabilidades definidas. El SNICHILE posee una estructura organizacional coordinada por el MMA, internalizada en el aparato estatal, e independiente de otros inventarios de contaminantes. Así, el INGEI de Chile es el resultado del esfuerzo colectivo y permanente de los Ministerios de Agricultura, Energía y Medio Ambiente, que trabajan 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 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 1-1).

⁴ Decisión 1/CP. 16 <https://unfccc.int/sites/default/files/resource/docs/2010/cop16/spa/07a01s.pdf>

⁵ Decisión 1/CP. 17 <https://unfccc.int/sites/default/files/resource/docs/2011/cop17/spa/09a01s.pdf>

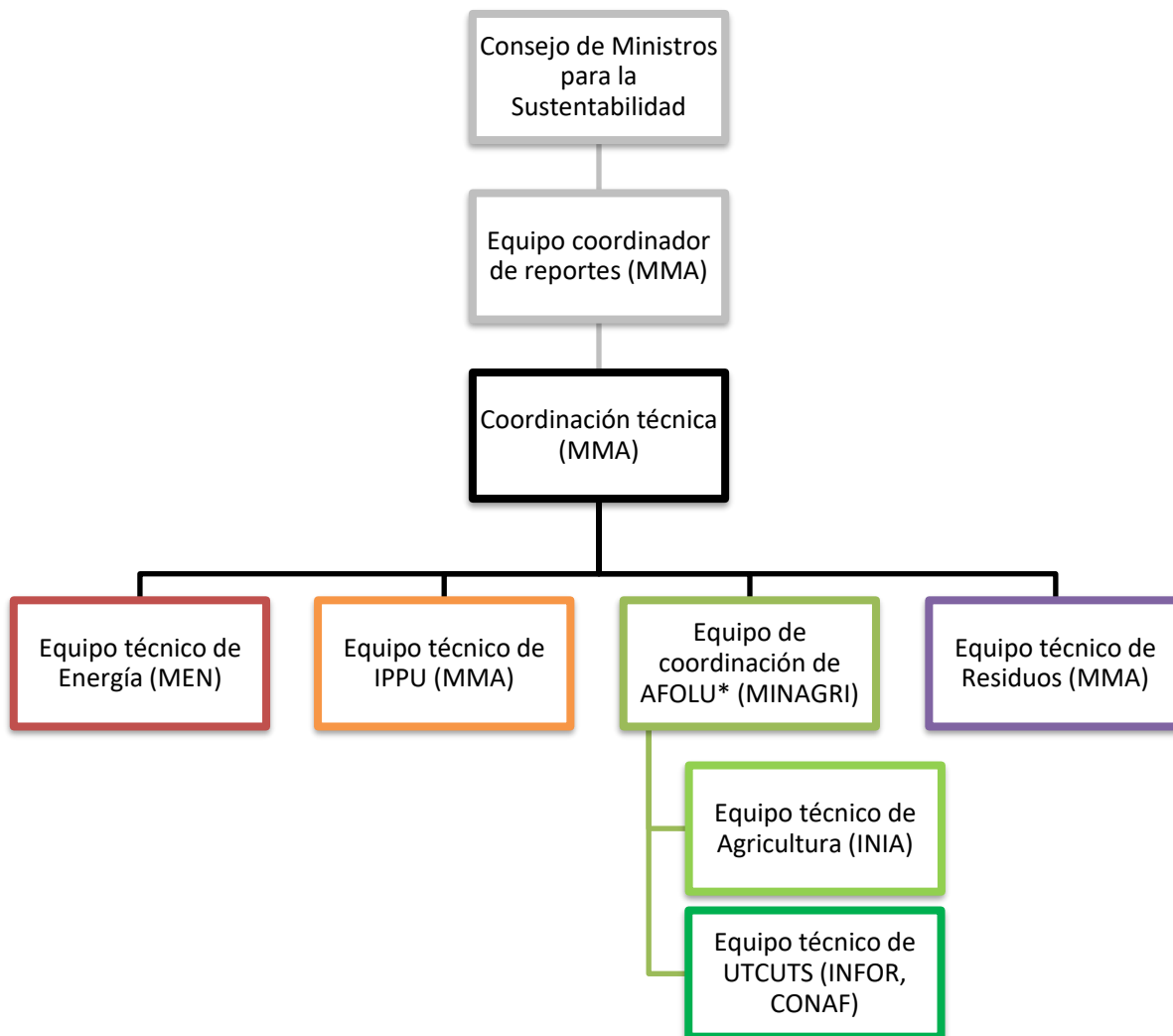


Figura 1-1. Estructura organizacional del SNICHILE

Fuente: elaboración propia

*AFOLU: Agricultura, Silvicultura y otros Usos de la Tierra, AFOLU, por su sigla en inglés. MMA: Ministerio del Medio Ambiente; MEN: Ministerio de Energía; MINAGRI: Ministerio de Agricultura; INIA: Instituto de Investigaciones Agropecuarias; INFOR: Instituto Forestal; CONAF: Corporación Nacional Forestal.

Considerando que a la fecha no ha sido promulgado el Reglamento SNAICC, dentro de la estructura organizativa del Equipo Técnico Nacional los roles quedarán definidos de la siguiente forma:

- **Equipo Técnico Coordinador (ETC):** encargado principal de la elaboración del inventario de Chile y, por lo tanto, de la ejecución de las actividades estipuladas en la planificación. Así también se encarga de prestar apoyo a los equipos sectoriales, organizar las reuniones y canalizar financiamiento internacional, y actividades de creación y mantención de capacidades. El ETC es el encargado de dirigir las actividades de control y garantía de la calidad; y el archivo y comunicación. El ETC está conformado por el Coordinador del SNICHILE del MMA y un (1) profesional de apoyo.

- **Equipos Técnicos Sectoriales (Energía, IPPU, Agricultura, UTCUTS y Residuos):** equipos encargados de la actualización de sus respectivos inventarios sectoriales. Son los encargados de aplicar actividades de control de calidad a sus inventarios; de elaborar e implementar planes de mejora continua; y de gestionar, con apoyo del ETC, los recursos necesarios para su adecuado desarrollo. Los equipos técnicos están conformados de acuerdo con sus necesidades particulares, así como a los recursos disponibles.
 - **Equipo coordinador de AFOLU:** encargado de coordinar la comunicación entre los equipos técnicos de Agricultura y UTCUTS; y de mantener la coherencia metodológica y las definiciones transversales a estos sectores.
- b) **Actualización del INGEI de Chile:** implementación y mantención de la planificación bienal del INGEI con actividades, plazos y presupuestos que guían el trabajo permanente del Equipo Técnico Nacional. En general, en el primer año del ciclo bienal de la planificación se actualizan los inventarios sectoriales de GEI (ISGEI), mientras que en el segundo año se compilan y desarrollan los temas transversales del INGEI de Chile; el inventario de carbono negro; los inventarios locales de GEI; y se elaboran los reportes respectivos (el Informe del Inventario Nacional de GEI de Chile y los capítulos para los IBA o las comunicaciones nacionales, según corresponda) y otros elementos de difusión.
- c) **Sistema de garantía y control de calidad:** mejoramiento de la calidad del INGEI de Chile (transparencia, exhaustividad, coherencia, comparabilidad y exactitud) mediante el establecimiento y la implementación de procedimientos de garantía y control de la calidad, y de verificación. Desde el 2015, el SNICHILE implementó un Sistema de Garantía y Control de la Calidad (SGCC) acorde con las buenas prácticas del IPCC para la elaboración del INGEI. Además, para identificar y priorizar las potenciales mejoras del INGEI de Chile, se elabora un Plan de Mejoramiento Continuo, que incluye mejoras a todos los sectores en diferentes plazos de implementación dependiendo del tipo de ajuste.
- d) **Creación y mantención de capacidades:** generación y aseguramiento de las capacidades técnicas adecuadas de los profesionales del Equipo Técnico Nacional del SNICHILE para la generación de INGEI de la más alta calidad. Para identificar las necesidades de capacitación, el Equipo Técnico Coordinador realiza un diagnóstico de necesidades mediante la identificación de brechas, barreras y obstáculos, las que son reportadas en los informes bienales. Estas necesidades son priorizadas y forman parte del plan de mejora continua junto a la identificación de categorías principales.
- e) **Archivo y comunicación:** gestión y resguardo de la información relacionada con el INGEI de Chile y la sociabilización de dicha información, de modo de asegurar el acceso y la transparencia del INGEI de Chile. Para la facilitación de la gestión de la información se implementó, desde 2015, el Sistema de Registro Tabular (SRT), el cual consiste en un conjunto de carpetas y archivos estandarizados. A su vez, a contar del mismo año se mantiene y actualiza la plataforma web del SNICHILE⁶ con el objetivo de difundir el INGEI de Chile.

⁶ Página Sistema Nacional de Inventarios de Gases de Efecto Invernadero de Chile <https://snichile.mma.gob.cl/>.

Si bien los arreglos institucionales han permitido cumplir con los compromisos en plazos y calidad, el Reglamento SNAICC oficializará no sólo la institucionalidad, si no también procesos y plazos de respuesta. Además, reemplaza la figura del Equipo Técnico Coordinador por la Coordinación SNIGEI y los Equipos Técnicos Sectoriales por los Subcomités Sectoriales que deben cumplir, cuya conformación debe adscribirse a la paridad.

1.3 Proceso de actualización del INGEI de Chile

El proceso de elaboración del presente INGEI de Chile comenzó el primer semestre de 2023 y concluyó a mediados de 2024. 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, según corresponda; y la elaboración del Informe del Inventario del Sector (IIS) respectivo (Figura 1-2). Luego el Equipo Técnico Coordinador revisa y compila los ISGEI, y desarrolla los temas transversales, para pasar a generar el Documento del Inventario Nacional (DIN). Enseguida cada Equipo Técnico Sectorial aprueba el IIN en su versión final. Adicionalmente, el Equipo Técnico Coordinador elabora los inventarios regionales de GEI en función de la información provista por los equipos sectoriales. Además, a este trabajo, el Equipo Técnico Coordinador elabora los inventarios nacional y regional de carbono negro.

Es importante mencionar que el último INGEI, presentado en el quinto IBA, pasó por el proceso de Análisis y Consulta Internacional (ICA, por sus siglas en inglés) lo que constituye la base para orientar el proceso de actualización, y priorizar las mejoras en el corto y mediano plazo.

Por último, el INGEI de Chile se entrega al Equipo Coordinador de Reportes para su inclusión en el Primer Informe Bienal de Transparencia, en conjunto con los anexos y otra información relevante como las necesidades, y apoyo recibido y entregado en materia de inventarios.

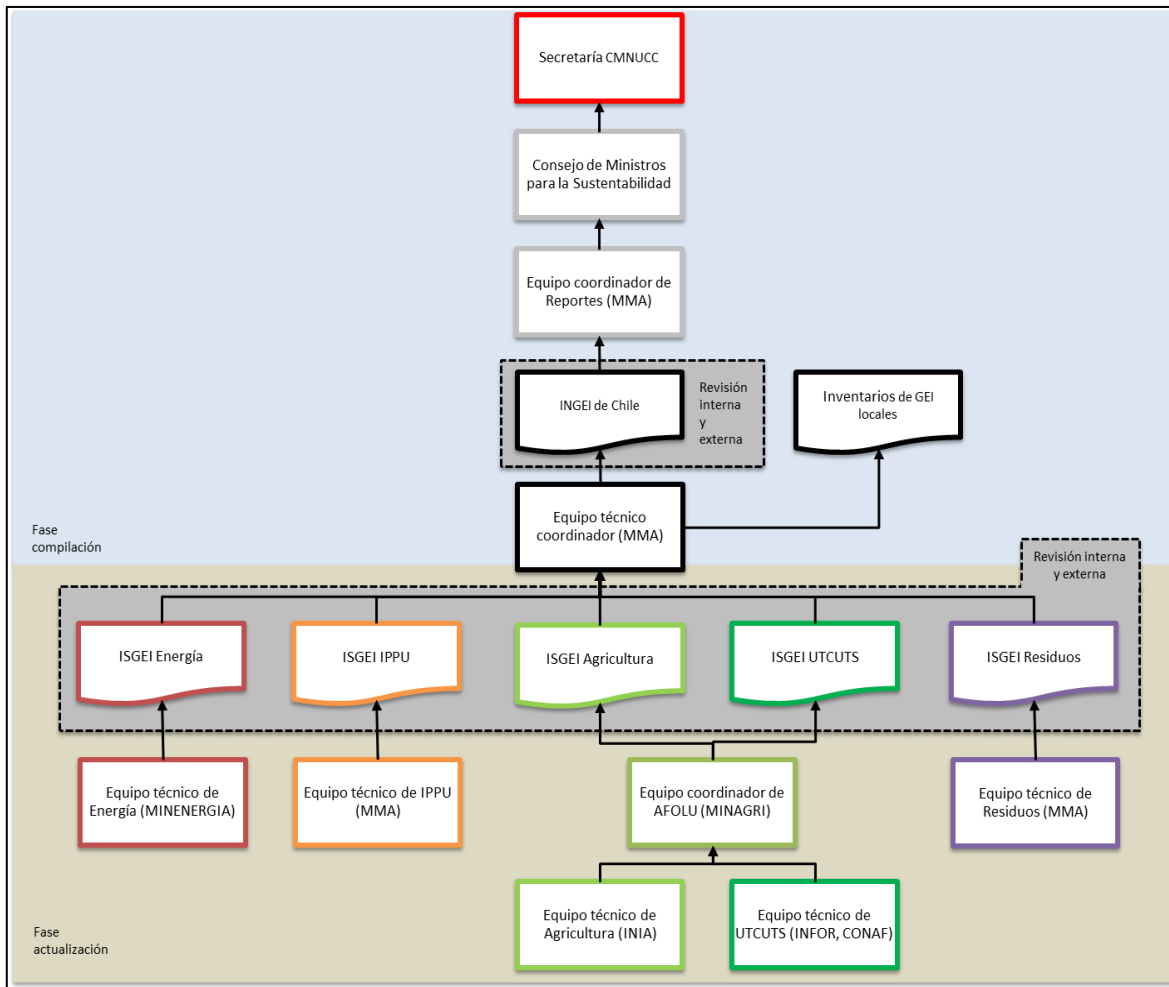


Figura 1-2. Proceso de actualización del INGEI de Chile

Fuente: elaboración propia

1.4 Metodología y principales fuentes de información

Las estimaciones de GEI y gases precursores del presente INGEI de Chile, serie 1990-2022, fueron realizadas en línea con las Directrices del IPCC de 2006 y el Refinamiento de la Directrices del IPCC de 2006 del 2019 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero⁷ y libros de cálculos propios para la estimación con base en las mismas directrices; incluyendo el análisis de categorías principales, evaluación de la incertidumbre, evaluación de la exhaustividad, y nuevos cálculos. 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 transparencia de las Partes no incluidas en el anexo I de la Convención⁸ y de las Directrices para la preparación de las comunicaciones nacionales de las Partes no incluidas en el anexo I de la Convención⁹.

⁷ Recuperado de www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/index.html

⁸ Anexo de la Decisión 17/COP8. Recuperado de <http://unfccc.int/resource/docs/spanish/cop8/cp807a02s.pdf>

⁹ Anexo III de la Decisión 2/COP17. Recuperado de <http://unfccc.int/resource/docs/2011/cop17/spa/09a01s.pdf>

Los inventarios se deben reportar en el total de GEI, emisiones más absorciones, en kilo toneladas de CO₂ eq utilizando distintos factores de conversión. Las métricas aplicadas en este inventario corresponden a las dispuestas en el párrafo 37 de las MPG. Aquí se señala que los Potenciales de Calentamiento Atmosférico (PCA) a considerar deben ser los publicados en Quinto Informe de Evaluación (AR5) del IPCC (Tabla 1-1). Los inventarios anteriores a este inventario fueron presentados considerando los PCA presentados en el Cuarto Informe de Evaluación (AR4) del IPCC, por lo que los resultados totales tendrán variaciones dependiendo de los nuevos factores. A continuación, se presentan los distintos PCA, para cada gas del inventario y reporte del IPCC, en conjunto con su variación porcentual.

Tabla 1-1 Potenciales de calentamiento atmosférico usados en el INGEI de Chile

GEI	PCA AR4	PCA AR5	Variación
CO ₂	1	1	0%
CH ₄	25	28	12%
N ₂ O	298	265	-11%
HFC-23	14.800	12.400	-16%
HFC-32	675	677	0%
HFC-125	3.500	3.170	-9%
HFC-134a	1.430	1.300	-9%
HFC-143a	4.470	4.800	7%
HFC-152a	124	138	11%
HFC-227ea	3.220	3.350	4%
HFC-236fa	9.810	8.060	-18%
HFC-245fa	1.030	858	-17%
HFC-365mfc	794	804	1%
HFC-43-10mee	1.640	1.650	1%
PFC-14	7.390	7.390	0%
PFC-116	12.200	12.200	0%
PFC-218	8.830	8.830	0%
SF ₆	22.800	23.500	3%

Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA, en base a AR5

Respecto a las principales fuentes de información, la Tabla 1-2 presenta las utilizadas para la actualización del presente INGEI de Chile. Es importante mencionar que la totalidad de los datos de actividad provienen de estadísticas nacionales, con el fin de mejorar la representación de la realidad del país.

Tabla 1-2. Principales datos y fuentes de información sectoriales

Sector	Principales datos	Fuentes
Energía	Consumo de combustible (en unidades energéticas). Producción de combustibles.	Balance Nacional de Energía, Ministerio de Energía; Parque vehicular, Instituto Nacional de Estadísticas; Estadísticas de importación y Exportación, Servicio Nacional de Aduanas.
IPPU	Producción por tipo de producto/proceso. Uso de productos sustitutos de las sustancias que agotan la capa de ozono (gases fluorados).	Anuarios de empresas, comunicación directa con actores clave. Aduanas, Unidad de Ozono del MMA.
Agricultura	Cabezas de ganado (vacuno, porcino, ovino, etc.), sistemas de confinamiento y manejo del estiércol. Uso de fertilizantes nitrogenados en tierras de cultivo. Superficie de cultivos por región, su productividad y destino de residuos	Censos Agropecuarios (MINAGRI) y estadística agrícola de rubros, regional y nacional. Información del Servicio Nacional de Aduanas. Información de CONAF Asociaciones gremiales Juicio de expertos
UTCUTS	Superficie por usos de la tierra	Catastro vegetal y SIMEF (CONAF)

Sector	Principales datos	Fuentes
	Superficie de plantaciones forestales Superficie de áreas de conservación Superficie de bosque nativo manejado Cosechas de trozas y cosechas de leña Superficies de incendios Superficies de frutales Crecimiento y existencias de bosques Densidad de la madera, factores de expansión Carbono del suelo y hojarasca	Los Recursos Forestales en Chile (INFOR) SNASPE (Ministerio de Bienes Nacionales) Sistema de Actualización y Fiscalización Forestal (SAFF) de CONAF Estadísticas forestales (INFOR) Estadísticas de incendios (CONAF) Censo Agropecuario y Boletines (ODEPA) Inventario Forestal Nacional (INFOR), Diversas fuentes de datos nacionales y valores por defecto (IPCC).
Residuos	Residuos sólidos de todo tipo y por sitio de disposición. Aguas servidas domiciliarias e industriales, por tipo de tratamiento.	Censos poblacionales, RETC ¹⁰ , junto a estudios elaborados por el MMA. Informes de gestión (SISS ¹¹), junto a estudios elaborados por el MMA.

Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA

Todos los factores de emisión por defecto provienen de las *Directrices del IPCC de 2006* y del *Refinamiento de la Directrices del IPCC de 2006 del 2019*, mientras que para la estimación de precursores provienen de la Guía de inventarios de emisiones de contaminantes atmosféricos EMEP/EEA¹². Se destaca que la información más relevante del INGEI de Chile la generan las instituciones a las cuales pertenecen los Equipos Técnicos Sectoriales, y en muchos casos son los mismos equipos los que 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 de los datos nacionales y su relación con los GEI.

1.5 Categorías principales

El concepto de categoría principal permite identificar las categorías que repercuten significativamente en los INGEI de un país en términos de nivel absoluto, tendencias, e incertidumbre de las emisiones y absorciones de GEI. Por otra parte, la identificación de dichas categorías orienta la priorización del uso de los recursos disponibles para la mejora de los inventarios. Las categorías principales del INGEI de Chile son también objeto de una documentación más detallada y un control de calidad más exhaustivo que las categorías no consideradas principales.

Las categorías principales del INGEI de Chile para 1990 y 2022 fueron identificadas de acuerdo con los criterios de nivel y tendencia (N, TD), aplicando el método 1, que considera las emisiones y absorciones de forma absoluta y un umbral de 95% de emisiones y absorciones acumuladas; y el método 2, que considera además la incertidumbre combinada y un umbral ponderado del 90%. En la Tabla 1-3 se resumen las categorías del inventario identificadas como categoría principal, mostrando con una «X» el o los criterios y métodos por los que se categorizan de esta forma. De igual manera, la Tabla 1-4 muestra el mismo análisis, pero sin considerar la categoría UTCUTS.

¹⁰ Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes

¹¹ Superintendencia de servicios sanitarios

¹² <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2023>

Tabla 1-3. Resumen de las categorías principales del INGEI de Chile, serie 1990-2022, de acuerdo con las evaluaciones de nivel y tendencia, usando los Métodos 1 y 2, de todas las categorías del INGEI.

Código IPCC	Categoría IPCC	GEI	Criterio de Identificación – Todos los sectores					
			N1 1990	N1 2022	TD1	N2 1990	N2 2022	TD2
1.A.1.	Industrias de la energía	CO2	X	X	X	X	X	X
1.A.2.	Industrias manufactureras y de la construcción	CO2	X	X	X	X	X	
1.A.3.a.	Aviación civil	CO2		X	X		X	X
1.A.3.b.	Transporte terrestre	CO2	X	X	X	X	X	X
1.A.3.d.	Navegación marítima y fluvial	CO2	X		X			
1.A.4.	Otros sectores	CO2	X	X	X	X	X	X
1.A.4.	Otros sectores	CH4	X	X		X	X	
1.B.1.	Combustibles sólidos	CH4	X		X	X		X
1.B.2.a.	Petróleo	CH4	X		X	X		X
1.B.2.b.	Gas natural	CH4	X	X		X	X	
2.A.1.	Producción de cemento	CO2	X	X				
2.F.1.	Refrigeración y aire acondicionado	HFC		X	X		X	X
3.A.1.a.	Vacas lecheras	CH4	X	X	X	X	X	X
3.A.1.b.i.	Vacas carne	CH4	X	X	X	X	X	X
3.A.1.b.ii.	Vaquillas	CH4	X			X		X
3.A.1.b.iv.	Jóvenes carne (novillo 1-2 años)	CH4	X			X	X	X
3.A.1.b.v.	Terneros	CH4				X		
3.A.2.	Ovinos	CH4	X		X	X	X	X
3.D.1.a.	Fertilizante inorgánicos	N2O	X	X		X	X	
4.A.1.a.i.1.	Renovales	CO2	X	X	X	X	X	X
4.A.1.a.i.2.	Planes de manejo (Ley Bosque nativo)	CO2		X	X			
4.A.1.a.i.3.	Parques y reservas nacionales	CO2	X	X	X	X	X	X
4.A.1.a.ii.	Plantaciones forestales	CO2	X	X	X	X	X	X
4.A.1.b.i.	Cosecha	CO2	X	X	X	X	X	X
4.A.1.b.ii.	Leña	CO2	X	X	X	X	X	X
4.A.1.b.iii.	Perturbaciones	CO2	X	X	X		X	X
4.A.1.c.	Tierras forestales con cambio de vegetación	CO2		X	X			X
4.A.2.	Tierras convertidas en tierras forestales	CO2	X	X	X	X	X	X
4.B.2.	Tierras convertidas en tierras de cultivo	CO2		X				
4.C.2.	Tierras convertidas en pastizales	CO2	X		X	X		X
4.G.	Productos de madera recolectada	CO2	X	X	X	X	X	X
5.A.1.	Sitios gestionados (Rellenos sanitarios)	CH4		X	X		X	X
5.A.2.	Sitios no gestionados (Vertederos y Basurales)	CH4	X			X	X	
5.D.1.	Tratamiento y descarga de aguas residuales domésticas	CH4				X		
5.D.1.	Tratamiento y descarga de aguas residuales domésticas	N2O					X	X
5.D.2.	Tratamiento y descarga de aguas residuales industriales	CH4					X	

Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA

N1 1990: análisis de nivel 1990 Método 1; N1 2022: análisis de nivel 2022 Método 1; TD1: análisis de tendencia 1990-2022 Método 1; N2 1990: análisis de nivel 1990 Método 2; N2 2022: análisis de nivel 2022 Método 2; TD2: análisis de tendencia 1990-2022 Método 2.

Tabla 1-4. Resumen de las categorías principales del INGEI de Chile, serie 1990-2022, de acuerdo con las evaluaciones de nivel y tendencia, usando los Métodos 1 y 2, sin considerar el sector UTCUTS.

Código IPCC	Categoría IPCC	GEI	Criterio de Identificación – Sin UTCUTS					
			N1 1990	N1 2022	TD1	N2 1990	N2 2022	TD2
1.A.1.	Industrias de la energía	CO2	X	X	X	X	X	X
1.A.2.	Industrias manufactureras y de la construcción	CO2	X	X	X	X	X	X
1.A.3.a.	Aviación civil	CO2	X	X	X	X	X	X
1.A.3.b.	Transporte terrestre	CO2	X	X	X	X	X	X
1.A.3.b.	Transporte terrestre	N2O		X	X		X	X
1.A.3.d.	Navegación marítima y fluvial	CO2	X		X	X		X
1.A.3.e.	Otro tipo de transporte	CO2	X	X				
1.A.4.	Otros sectores	CO2	X	X	X	X	X	X
1.A.4.	Otros sectores	CH4	X	X	X	X	X	
1.B.1.	Combustibles sólidos	CH4	X		X	X		X

Código IPCC	Categoría IPCC	GEI	Criterio de Identificación – Sin UTCUTS					
			N1 1990	N1 2022	TD1	N2 1990	N2 2022	TD2
1.B.2.a.	Petróleo	CH4	X		X	X		X
1.B.2.b.	Gas natural	CH4	X	X	X	X	X	X
2.A.1.	Producción de cemento	CO2	X	X	X	X	X	
2.A.2.	Producción de cal	CO2		X			X	
2.B.2.	Producción de ácido nítrico	N2O	X		X			
2.B.8.a.	Metanol	CO2	X		X	X		
2.C.1.	Producción de hierro y acero	CO2	X	X	X			
2.F.1.	Refrigeración y aire acondicionado	HFC		X	X		X	X
3.A.1.a.	Vacas lecheras	CH4	X	X	X	X	X	X
3.A.1.b.i.	Vacas carne	CH4	X	X	X	X	X	X
3.A.1.b.ii.	Vaquillas	CH4	X	X	X	X	X	X
3.A.1.b.iii.	Adultos carne (novillo >2 años, toros y torunos, bueyes)	CH4	X		X	X		X
3.A.1.b.iv.	Jóvenes carne (novillo 1-2 años)	CH4	X	X	X	X	X	X
3.A.1.b.v.	Terneros	CH4	X	X	X	X	X	X
3.A.2.	Ovinos	CH4	X	X	X	X	X	X
3.A.4.d.	Caprinos	CH4	X		X	X		X
3.A.4.e.	Equinos	CH4	X		X	X		
3.C.1.	Irrigadas	CH4	X		X	X		
3.D.1.a.	Fertilizante inorgánicos	N2O	X	X	X	X	X	
3.D.1.b.i.	Estiércol animal aplicado a los suelos	N2O					X	
3.D.1.c.	Orina y estiércol depositado por animales de pastoreo	N2O	X		X	X	X	X
3.D.1.d.	Residuos de cosechas	N2O	X	X	X	X	X	
3.D.2.a.	Deposición atmosférica	N2O	X	X	X	X	X	
3.D.2.b.	Lixiviación y escurrimiento	N2O	X	X	X	X	X	
3.H.	Aplicación de urea	CO2	X			X	X	
3.B.5.	Emisiones indirectas de N ₂ O resultantes de la gestión del estiércol	N2O					X	
5.A.1.	Sitios gestionados (Rellenos sanitarios)	CH4		X	X		X	X
5.A.2.	Sitios no gestionados (Vertederos y Basurales)	CH4	X	X	X	X	X	X
5.D.1.	Tratamiento y descarga de aguas residuales domésticas	CH4	X	X	X	X	X	X
5.D.1.	Tratamiento y descarga de aguas residuales domésticas	N2O		X	X	X	X	X
5.D.2.	Tratamiento y descarga de aguas residuales industriales	CH4		X		X	X	X

Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA

Es importante destacar que la desagregación del inventario responde a las características del país, más que a una desagregación por niveles iguales para todos (subcategoría nivel “n”). Considerando esto y la implementación del Marco Reforzado para la Transparencia del Acuerdo de París, también se incluye otro análisis de categorías principales según lo solicitado en las tablas comunes de reporte (CRT, por su sigla en inglés). En la tabla “Table7” de los cuadros anexos a este reporte se encuentran los resultados del análisis de categorías principales según la agrupación acordada para el reporte de categorías principales.

Este resumen y los obtenidos en las CRT constituye la base para las discusiones con Equipos Técnicos Sectoriales sobre las posibles mejoras y la priorización de estas categorías. Todo este análisis será parte esencial del futuro Plan de mejora continua del SNICHILE, en el que se buscará definir acciones y medios para mejorar la calidad de las estimaciones de GEI de Chile, mejorando así la representación de las tendencias nacionales y los avances en materia de mitigación.

1.6 Evaluación general de la incertidumbre

Según las Directrices del IPCC de 2006, las estimaciones de incertidumbre son parte esencial de un inventario 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 Equipo Técnico Coordinador compiló las incertidumbres de factores de emisión, datos de actividad y otros parámetros de estimación de cada sector del inventario, y desarrolló un análisis usando el método 1, que corresponde a la Propagación del error de las *Directrices del IPCC de 2006*. Cabe destacar que la incertidumbre de cada categoría individual se pondera por las emisiones o absorciones de esa categoría para conocer el aporte a la incertidumbre combinada total.

Los resultados muestran que el balance de emisiones y absorciones de GEI del país presenta una incertidumbre combinada de -43,6% y +43,8%. En términos generales, el sector UTCUTS es el que más contribuye a la varianza, 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.

1.7 Evaluación general de la exhaustividad

La exhaustividad significa que se han preparado estimaciones del INGEI 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.

En general, el INGEI de Chile abarca todo el territorio nacional continental e incluye emisiones y absorciones de GEI en una serie de tiempo completa que va desde 1990 a 2022. Los GEI incluidos son: CO₂, CH₄, N₂O, HFC, PFC y SF₆. Por otra parte, se incluyen los precursores monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO_x), compuestos orgánicos volátiles distinto de metano (COVDM) y dióxido de azufre (SO₂), y de manera excepcional, las emisiones de carbono negro para las mismas categorías del INGEI. El inventario de Chile incluye casi la totalidad de categorías y subcategorías de fuente y sumidero que componen los sectores. 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 notación¹³ en todas las tablas de reporte de este documento, siguiendo lo dispuesto en las MPG para la implementación del Marco Reforzado de Transparencia del Acuerdo de París. En este inventario no se consideró el criterio de Flexibilidad (FX), para ninguna categoría o subcategoría.

En conformidad con los requerimientos de la Convención 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 (memo ítem), pero no se incluyeron en el balance de emisiones y absorciones de GEI del país, siguiendo lo dispuesto por las MPG en el párrafo 53.

¹³ Las claves de notación son: NE = No estimada; IE = Incluida en otro lugar; C = Confidencial; NA = No aplica; NO = No ocurre. No se considera el uso de la nueva clave de notación relacionada con flexibilidad (FX).

1.8 Tablas Comunes de Reporte (CRT)

Las tablas comunes de reporte son cuadros anexos al Documento del Inventario Nacional, que ambas, en conjunto, conforman el Reporte del Inventario Nacional. Dando cumplimiento a las MPG del Acuerdo de París, Chile completa y presenta las tablas como anexo al 1er IBT de Chile y el Documento de Inventario Nacional de gases de efecto invernadero, serie 1990 – 2022.

Estas tablas contienen campos definidos para ser llenado por cada una de las Partes (países) que elaboran sus reportes. Las tablas componen un anexo de más de 1600 cuadros, con toda la información necesaria para hacer una evaluación o seguimiento del inventario. Para esta tarea, la Secretaría de UNFCCC puso a disposición una herramienta para la completitud de las tablas, en la que mediante el llenado de campos únicos se completan las planillas que son entregadas como anexos a este documento. Por otro lado, el IPCC dispone de un software para estimar emisiones y reportar estas estimaciones mediante la herramienta de la UNFCCC. La herramienta es capaz de adaptar las salidas del software del IPCC a las CRT. Una tercera forma de llenar las tablas de reporte es hacerlo manualmente, ingresando los datos que se solicitan para cada uno de los campos.

Chile por su parte, desarrolló un sistema en base a la documentación de las tablas de reporte y el uso de la herramienta (<https://unfccc.int/etf-reporting-tools-help#Technical>). Con esta información, el desarrollo de bases de datos y el desarrollo de códigos en lenguaje Python se completaron las tablas que se anexan a este reporte.

El desarrollo de esta metodología permitió implementar el llenado de las tablas automáticamente y verificar errores e inconsistencias de manera rápida e independiente de otros sistemas. Se espera compartir esta metodología con otros países para facilitar el llenado de las tablas o para contar con un sistema de respaldo en caso de las otras herramientas sean inaccesibles.

2 Tendencia

En 2022, los GEI se cuantificaron en los siguientes niveles: El balance de CO₂ se estimó en 26.837 kt; las emisiones de CH₄ alcanzaron las 585 kt y las emisiones de N₂O se contabilizaron en 21 kt. En el caso de los gases fluorados, las emisiones de HFC se estimaron en 5.527 kt de CO₂ eq, las emisiones de PFC alcanzaron 0,5 kt de CO₂ eq y las emisiones de SF₆ se estimaron en 156 kt de CO₂ eq. Las emisiones y absorciones totales de Chile en 2022, en términos de CO₂ eq, fueron 54.370 kt. Todos estos resultados se presentan en la Tabla 2-1.

Tabla 2-1 INGEI de Chile: emisiones antropogénicas por fuente o sumidero para todos los GEI, no controlados por el Protocolo de Montreal, para el 2022.

Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero	CO ₂ neto	CH ₄	N ₂ O	HFC	PFC	SF ₆	CO ₂ eq.
	kt			kt CO ₂ eq.			
Todas las emisiones y las absorciones nacionales	26.836,6	585,2	0,6	5.526,7	0,5	156,3	54.370,0
1. Energía	81.557,9	80,8	3,7				84.790,9
1.A. Actividades de quema de combustible (método sectorial)	81.554,9	42,2	3,7				83.705,6
1.A.1. Industrias de la energía	28.856,0	1,1	0,4				28.998,3
1.A.2. Industrias manufactureras y de la construcción	16.138,0	4,0	0,6				16.398,3
1.A.3. Transporte	29.223,7	5,9	2,2				29.984,8
1.A.4. Otros sectores	7.326,6	31,2	0,4				8.313,6
1.A.5. No especificado	10,5	0,0	0,0				10,6
1.B. Emisiones fugitivas de combustibles	3,0	38,7	0,0				1.085,3
1.B.1. Combustibles sólidos	NA, NE	0,3	NA				8,6
1.B.2. Petróleo y gas natural	3,0	38,3	0,0				1.076,7
1.B.3. Otras emisiones provenientes de la producción de energía	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 (IPPU)	2.251,0	2,0	0,6	5.526,7	0,5	156,3	8.148,6
2.A. Industria de los minerales	1.545,0						1.545,0
2.B. Industria química	78,6	2,0	0,4	NO	NO	NO	229,8
2.C. Industria de los metales	489,2	IE,NO	NO	NO	NO	NO	489,2
2.D. Productos no energéticos de combustibles y uso de solventes	138,2	NO	NO				138,2
2.E. Industria electrónica			NO	NO	NO	NO	NO
2.F. Uso de productos sustitutos de las SAO*				5.526,7	0,5	NO	5.527,2
2.G. Manufactura y utilización de otros productos	NO	NO	0,2	NO	NO	156,3	219,2
2.H. Otros	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
3. Agricultura	425,5	201,8	11,8				9.210,6
3.A. Fermentación entérica		171,7					4.806,9
3.B. Gestión del estiércol		21,1	1,4				967,2
3.C. Cultivo del arroz		4,9					138,0
3.D. Suelos agrícolas		NA	10,3				2.732,3
3.E. Quema prescrita de sabanas		NO	NO				NO
3.F. Quema de residuos agrícola en el campo		4,0	0,1				140,7
3.G. Encalado	134,4						134,4
3.H. Aplicación de urea	291,2						291,2
3.I. Otros fertilizantes que contienen carbono	NO						NO
3.J. Otros	NA	NA	NA				NA
4. Uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura (UTCUTS)	-57.463,1	16,4	1,2				-56.678,8
4.A. Tierras forestales	-53.852,2	15,0	0,8				-53.210,5
4.B. Tierras de cultivo	797,5	0,2	0,2				859,3
4.C. Pastizales	612,1	1,2	0,1				677,1
4.D. Humedales	11,8	NE	NE				11,8
4.E. Asentamientos	635,8	NA	0,1				651,6
4.F. Otras tierras	NA	NA	NA				NA
4.G. Productos de madera recolectada	-5.668,1						-5.668,1
4.H. Otros (sírvase especificar)	NO	NO	NO				NO
5. Residuos	65,2	284,1	3,3				8.898,6
5.A. Disposición de residuos sólidos		251,0					7.027,9
5.B. Tratamiento biológico de residuos sólidos		1,8	0,1				79,3
5.C. Incineración y quema abierta de residuos	65,2	1,9	0,1				137,7

Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero	CO ₂ neto	CH ₄	N ₂ O	HFC	PFC	SF ₆	CO ₂ eq.
	kt			kt CO ₂ eq.			
5.D. Tratamiento y descarga de aguas residuales		29,4	3,1				1.653,7
5.E. Otros	NO	NO	NO				NO
Anx. Partidas informativas							
Anx.1.a. Aviación internacional	803,6	0,0	0,0				809,8
Anx.1.b. Navegación internacional	743,3	0,1	0,0				750,5
Anx.2. Operaciones multilaterales	NO	NO	NO				NO
Anx.3. Emisiones de CO ₂ de la biomasa	26.328,9	IE	IE				26.328,9

Fuente: Equipo técnico coordinador MMA

*Sustancias que agotan la capa de ozono

Los valores 0,0 corresponden a cantidades menores a 0,05; C = Confidencial; IE = Incluida en otro lugar; NA = No aplica; NE = No estimada; NO = No ocurre; FX = Flexibilidad; Celda gris = No Aplica.

Junto con la información de 2022 presentada en la Tabla 2-2, se presentan los resultados nacionales en tablas y gráficos, para toda la serie y para cada uno de los sectores del INGEI de Chile. Mas detalles sobre otras categorías, subcategorías y precursores pueden ser encontrada en el Documento del Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero de Chile, serie 1990 - 2022.

2.1 Tendencias de las emisiones y absorciones de GEI por sector

En 2022, el balance de GEI de Chile alcanzó las 54.370 kt de CO₂ eq, incrementándose en un 253% desde 1990 y en un 10,7% desde 2020. Respecto a la participación de cada sector en el balance de GEI 2022 en términos absolutos, el sector Energía representó un 50,6%, seguido del sector UTCUTS (33,8%), del sector Agricultura (5,5%), del sector Residuos (5,3%), y por último del sector IPPU (4,9%). Cabe mencionar que, en el presente informe, el término absoluto hace referencia a la magnitud del valor, con el fin de comparar las magnitudes totales, independiente sean emisiones o absorciones de GEI.

Por su parte, las emisiones de GEI totales del país en 2022, es decir, la suma de todas las categorías sin considerar el sector UTCUTS, se estimaron en 111.049 kt de CO₂ eq, incrementándose en un 135% desde 1990 y en un 7,1% desde 2020 (Tabla 2-2). Es importante mencionar que en 2020 se puede observar una disminución respecto a los últimos años de la serie, la que se explica mayormente por la baja actividad durante la pandemia del COVID-19. Respecto de la participación de cada sector en las emisiones de GEI totales del país en 2022, el sector Energía representó un 76,4%, seguido del sector Agricultura (8,3%), del sector Residuos (8,0%), y finalmente del sector IPPU (7,3%). Esto muestra que, tanto en el balance de GEI como en las emisiones totales, el sector Energía es el de mayor relevancia.

Tabla 2-2. INGEI de Chile: emisiones y absorciones de GEI (kt de CO₂ eq) por sector, serie 1990-2022

Sector	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022
1. Energía	33.338,5	39.812,2	51.796,3	56.003,9	65.489,0	78.764,3	78.898,9	84.905,2	84.790,9
2. IPPU	1.866,1	2.352,2	3.109,9	4.205,2	3.717,4	5.159,4	6.780,4	7.522,0	8.148,6
3. Agricultura	10.421,4	11.535,4	11.837,5	11.732,2	11.301,1	10.456,8	9.767,4	9.531,0	9.210,6
4. UTCUTS	-82.885,5	-74.284,5	-77.699,6	-68.107,2	-65.093,9	-48.812,1	-54.580,2	-62.400,0	-56.678,8
5. Residuos	1.681,7	2.290,5	3.024,8	4.380,1	4.569,5	6.424,5	8.268,9	8.697,0	8.898,6
Balance	-35.577,8	-18.294,2	-7.931,1	8.214,1	19.983,1	51.992,9	49.135,5	48.255,2	54.370,0
Emisiones	47.307,6	55.990,3	69.768,5	76.321,3	85.077,0	100.805,0	103.715,6	110.655,2	111.048,7

Fuente: Equipo técnico coordinador MMA

Respecto de la serie histórica, se tiene que los principales causantes de la tendencia del balance de GEI (Figura 2-1) 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). Mientras que para las emisiones los principales causantes de la tendencia en las emisiones de GEI totales 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).

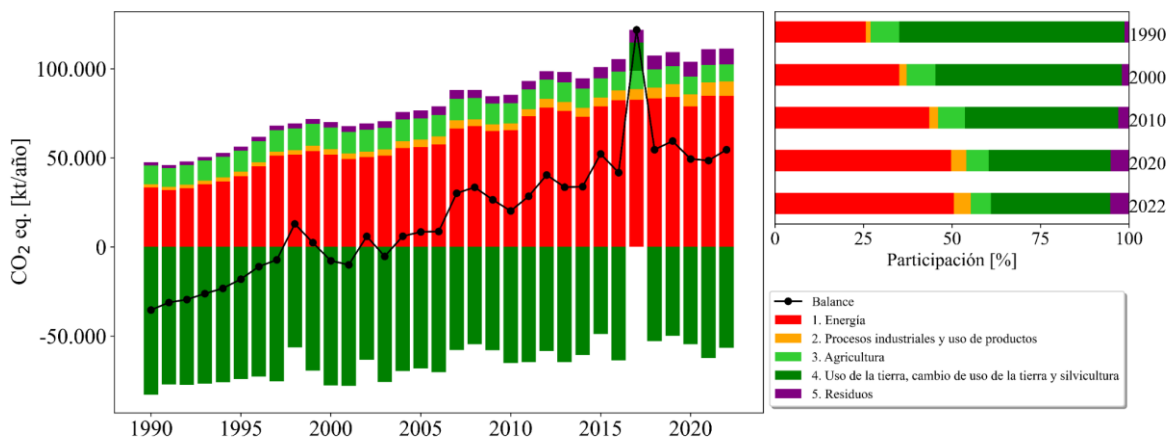


Figura 2-1. INGEI de Chile: Emisiones y absorciones de GEI por sector, serie 1990-2022. El balance entre emisiones y absorciones se presente con una línea negra

Fuente: Equipo técnico coordinador MMA

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 incendios forestales (contabilizadas en el sector UTCUTS) y cambios en la participación de los principales energéticos consumidos en el país (diésel, gasolina, gas natural y carbón). Es importante indicar que en el año 2017 se alcanza el balance máximo de GEI, alcanzando 121.617 kt de CO₂ eq. Este incremento se debe a la gran extensión de incendios que afectaron la zona centro y sur del país durante ese año, los que alcanzaron a afectar cerca de 570.000 ha de tierras forestales, cultivos y pastizales principalmente. Los incendios en tierras forestales del 2017 contabilizaron 68.302 kt de CO₂ eq, lo que equivale aproximadamente a nueve veces más que el promedio de emisiones estimadas por incendios en todo el periodo.

2.2 Tendencias de las emisiones y absorciones por GEI

La tendencia de los GEI del país está muy relacionada con las emisiones y absorciones del sector UTCUTS, por lo tanto, varía según este incluya o no en el análisis, especialmente del CO₂ (Tabla 2-3).

Tabla 2-3. INGEI de Chile: emisiones y absorciones de GEI (kt CO₂ eq) por gas, serie 1990-2022

GEI	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022
CO ₂ (incl. UTCUTS)	-51.881,1	-35.206,5	-26.438,6	-11.968,1	-380,5	28.405,2	23.367,3	22.071,0	26.836,6
CO ₂ (excl. UTCUTS)	31.196,7	39.238,3	51.397,5	56.472,6	65.186,5	78.540,7	78.678,5	84.738,6	84.299,7
CH ₄ (incl. UTCUTS)	12.906,8	12.938,9	13.981,9	14.418,7	13.647,9	15.242,6	15.721,2	15.727,6	16.384,4
CH ₄ (excl. UTCUTS)	12.785,7	12.855,2	13.930,2	14.257,3	13.407,7	14.440,7	15.299,0	15.604,2	15.924,2
N ₂ O (incl. UTCUTS)	3.378,3	3.935,1	4.345,2	5.257,8	5.408,2	5.731,3	5.603,0	5.471,1	5.465,4
N ₂ O (excl. UTCUTS)	3.307,2	3.858,5	4.260,4	5.085,7	5.175,4	5.209,8	5.294,2	5.327,0	5.141,4
HFC	0,0	11,5	135,0	455,8	1.205,7	2.515,5	4.248,9	4.790,5	5.526,7
PFC	NO	NO	NO	0,3	0,2	0,2	0,5	0,5	0,5
SF ₆	18,0	26,9	45,5	49,5	101,6	98,1	194,5	194,4	156,3
Balance	-35.577,8	-18.294,2	-7.931,1	8.214,1	19.983,1	51.992,9	49.135,5	48.255,2	54.370,0
Emisiones	47.307,6	55.990,3	69.768,5	76.321,3	85.077,0	100.805,0	103.715,6	110.655,2	111.048,7

NO: No ocurre; los valores 0,0 son valores inferiores a 0,05, pero distintos de 0

Fuente: Equipo técnico coordinador MMA

En 2022, el balance de GEI de Chile estuvo dominado por el CO₂, representando un 49%, seguido del CH₄ con un 30%, del N₂O con un 10% y los gases fluorados, en su totalidad, contabilizaron el 11% restante (Tabla 2-2).

El balance del CO₂ es favorable a la absorción para los primeros años de la serie (1990-1997). 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 mineral. Después de 1997 el balance de emisiones decrece, pero a partir del año 2004 el balance es siempre positivo. Esto se debe principalmente al crecimiento económico del país y el aumento de actividades que consumen combustibles, evidenciado por el aumento del sector Energía.

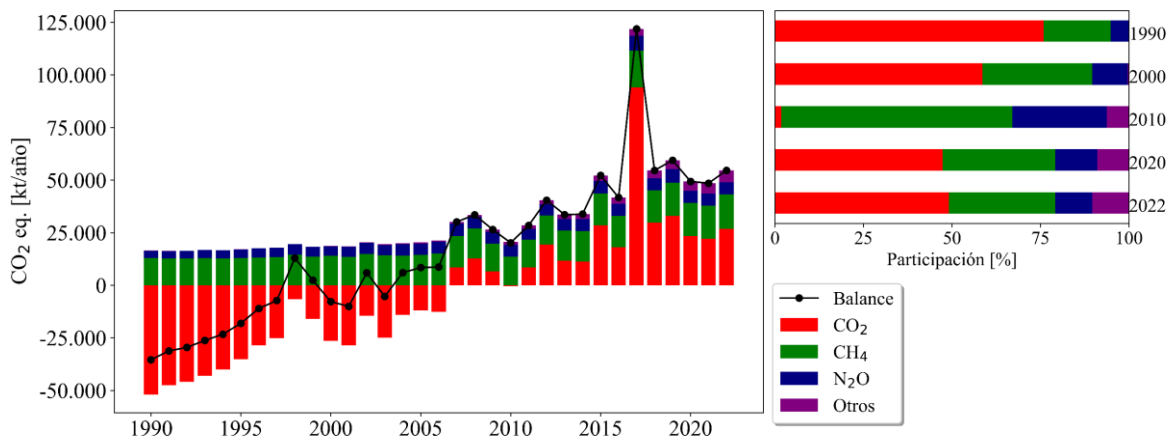


Figura 2-2 INGEI de Chile: Balance entre emisiones y absorciones de CO₂, y emisiones de los demás GEI por gas, serie 1990-2022. El balance de todos los GEI se presenta con una línea negra

Fuente: Equipo técnico coordinador MMA

Respecto de las emisiones, excluyendo el sector UTCUTS, en 2022 las emisiones de GEI totales estuvieron dominadas por el CO₂, representando un 76%, seguido del CH₄ con un 14,3%, de los gases fluorados, que en su totalidad alcanzan el 5,1% y del N₂O con un 4,6% (Figura 2-3).

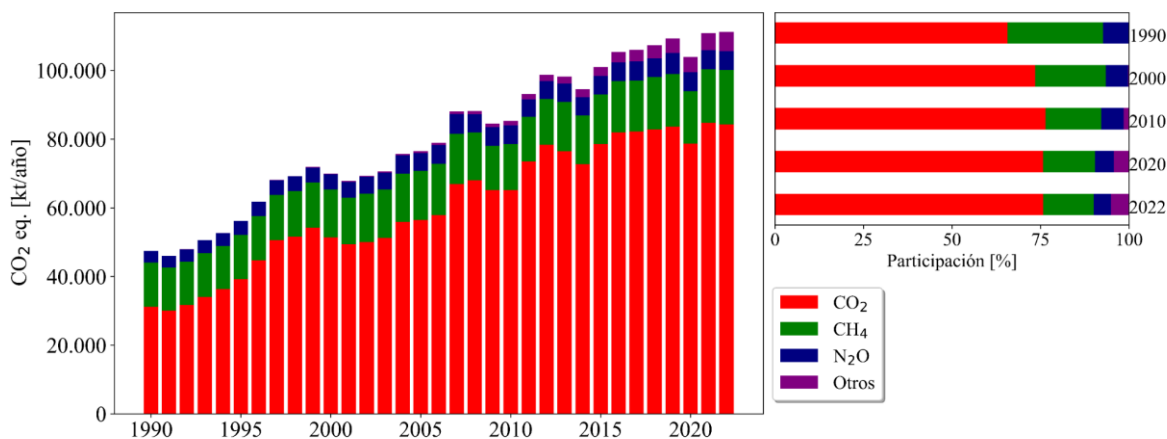


Figura 2-3. INGEI de Chile: emisiones de GEI total por gas, serie 1990-2022

Fuente: Equipo técnico coordinador MMA

2.3 Indicadores de intensidad de GEI

Para el país es importante gestionar la información del INGEI de Chile con el objetivo de comprender la evolución de las emisiones de GEI en un contexto amplio. Para ello, se han definido indicadores de intensidad que relacionan el balance de GEI y las emisiones totales de GEI con la población (per cápita). La población corresponde a estadísticas del Instituto Nacional de Estadísticas (INE)¹⁴, en base sus últimas series históricas y proyectadas.

En 2022, el indicador balance de GEI fue de 2,74 t de CO₂ eq per cápita, incrementándose en un 202% desde 1990 y disminuyendo en un 8,6% desde 2020. Las variaciones del indicador son coincidentes con los máximos del balance de GEI, que tiene estrecha relación con los incendios forestales. Esto explica los valores que escapan de los aumentos interanuales, en 1998 y 2017 particularmente.

Por otro lado, el indicador emisiones de GEI totales per cápita (excluyendo el sector UTCUTS) fue de 5,60 t de CO₂ eq per cápita, incrementándose en un 55% desde 1990, y disminuyendo en un 5,1% desde 2020 (Figura 2-4). La tendencia del indicador deja en evidencia un desacople entre las emisiones y la población. Durante los últimos años de la serie se ve un indicador con variaciones muy pequeñas, mientras que la población si experimenta aumentos. Esto implicaría que las emisiones han aumentado en menor medida que la población.

¹⁴ Instituto Nacional de Estadísticas <https://www.ine.gob.cl/>

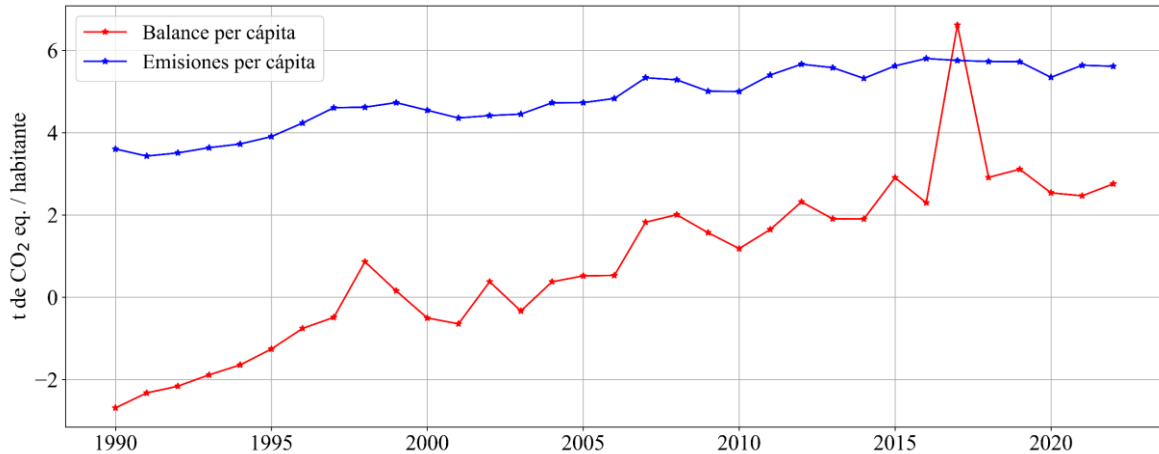


Figura 2-4. INGEI de Chile: balance per cápita y emisiones per cápita, serie 1990-2022

Fuente: Equipo técnico coordinador MMA

2.4 Tendencia de las emisiones de GEI por autoridad sectorial

En 2021 el país presentó ante la ciudadanía y la comunidad internacional la Estrategia Climática de Largo Plazo (ECLP)¹⁵, que establece metas y objetivos climáticos sectoriales con el fin de aumentar la resiliencia y alcanzar la neutralidad de emisiones a más tardar al 2050. En la ECLP se asignan las fuentes de emisión del inventario a las distintas autoridades sectoriales, que tendrán la obligación de cumplir con presupuestos sectoriales por medio de la implementación de Planes Sectoriales de Mitigación, en concordancia con lo establecido además en la Ley Marco de Cambio Climático.

Con el fin de comprender la tendencia y causa de las emisiones sectoriales, y proponer información base para la elaboración de políticas de mitigación, se presenta la tendencia de las emisiones de GEI por autoridad sectorial para los últimos años (Tabla 2-4 y Figura 2-5). Es importante señalar que el proceso de asignación antes mencionado no incluye el balance de GEI del sector UTCUTS.

De acuerdo con estos resultados, para los últimos años de la serie (considerados en el compromiso de la NDC), se tiene lo siguiente. Las emisiones acumuladas durante los años 2020 al 2022 alcanzan las 325,4 Mt de CO₂ eq. De las emisiones asignadas a las diferentes autoridades sectoriales se tiene que el Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones (MTT) representó un 26,8% del total acumulado y el Ministerio de Energía (MEN) un 25,7%, siendo los mayores contribuidores al acumulado de emisiones. Luego el Ministerio de Minería (MINMINERIA) contribuyó con un 17,1%. Los Ministerios de Agricultura (MINAGRI) y de Vivienda y Urbanismo (MINVU) aportaron con 9,7% y 9,8% respectivamente. Por último, los Ministerios con menos aporte al acumulado de emisiones fueron el Ministerio de Salud (MINSAL) y el Ministerio de Obras Públicas (MOP), con 6,7% y 4,2%, respectivamente.

¹⁵ Estrategia Climática de Largo Plazo <https://cambioclimatico.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2021/11/ECLP-LIVIANO.pdf>.

Tabla 2-4. INGEI de Chile: emisiones de GEI (Mt de CO₂ eq) por autoridad, serie 2010-2022

Autoridad sectorial	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	Acumulado 2020 - 2022
MINVU	8,1	8,8	9,0	8,8	8,3	9,3	9,8	10,2	10,0	10,0	10,3	11,0	10,5	31,8
MEN	21,1	25,5	28,8	26,9	25,9	26,9	28,0	27,2	28,1	28,7	26,4	28,6	28,5	83,5
MINAGRI	12,5	12,3	11,8	11,9	11,5	11,5	11,5	11,3	11,1	10,9	10,8	10,5	10,2	31,4
MTT	20,8	21,9	23,0	24,9	23,6	25,6	27,0	27,9	29,2	29,9	26,6	29,2	31,5	87,3
MINMINERIA	15,5	16,8	18,1	16,7	16,6	18,3	18,9	18,8	18,2	18,6	18,2	19,2	18,4	55,8
MOP	4,1	4,4	4,5	4,6	4,0	4,4	5,0	4,8	4,4	4,5	4,4	4,9	4,5	13,8
MINSAL	3,0	3,3	3,4	4,2	4,4	4,8	5,0	5,6	6,1	6,4	7,0	7,3	7,5	21,8
Total	85,1	93	98,6	98	94,3	100,8	105,2	105,8	107,1	109	103,7	110,7	111,1	325,4

Fuente: Equipo técnico coordinador MMA

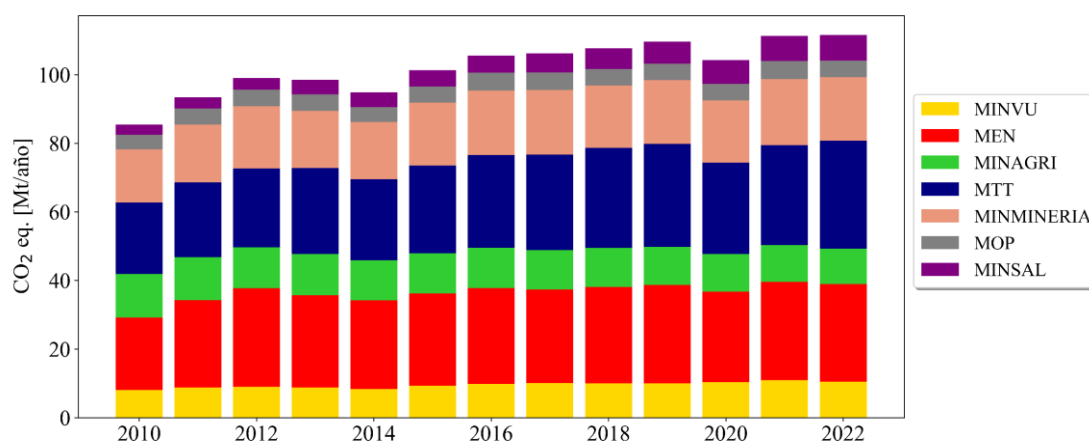


Figura 2-5. INGEI de Chile: tendencia de las emisiones de GEI por autoridad sectorial, serie 2010-2022

Fuente: Equipo técnico coordinador MMA

3 Sector Energía (1)

3.1 Panorama general

3.1.1 Introducción

Actualmente, la mayoría de la energía consumida se obtiene mediante la quema de combustibles fósiles. De acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006*¹⁶, 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 y Uso de Productos (IPPU), y no así al sector de Energía.

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 de 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 energía¹⁷,
- La conversión de las fuentes primarias de energía a fuentes secundarias¹⁸ 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. La 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 importados; 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 76,4 % de las emisiones de GEI totales (Figura 3-1) y el 50,6 % del balance de GEI del país (Figura 3-2) para el 2022.

¹⁶ Volumen 2, Capítulo 1.

¹⁷ Productos energéticos o bien se extraen o captan directamente de los recursos naturales (en cuyo caso se les dice primarios), tal como el petróleo crudo, carbón mineral duro y gas natural entre otros (Agencia Internacional de Energía, 2007).

¹⁸ Se refiere a todo producto energético producido a partir de productos primarios (Agencia Internacional de Energía, 2007).

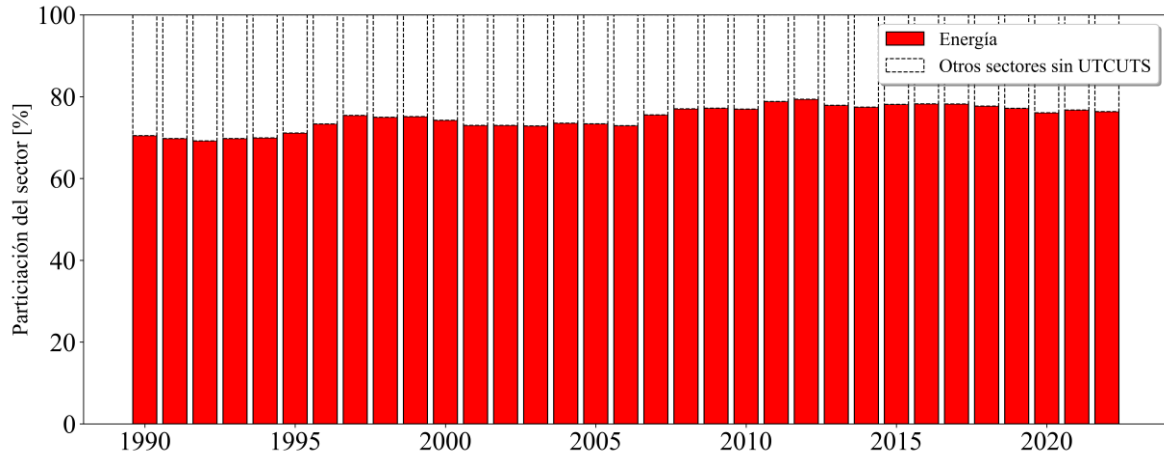


Figura 3-1. Sector Energía: participación del sector en las emisiones de GEI totales (excluyendo UTCUTS)

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

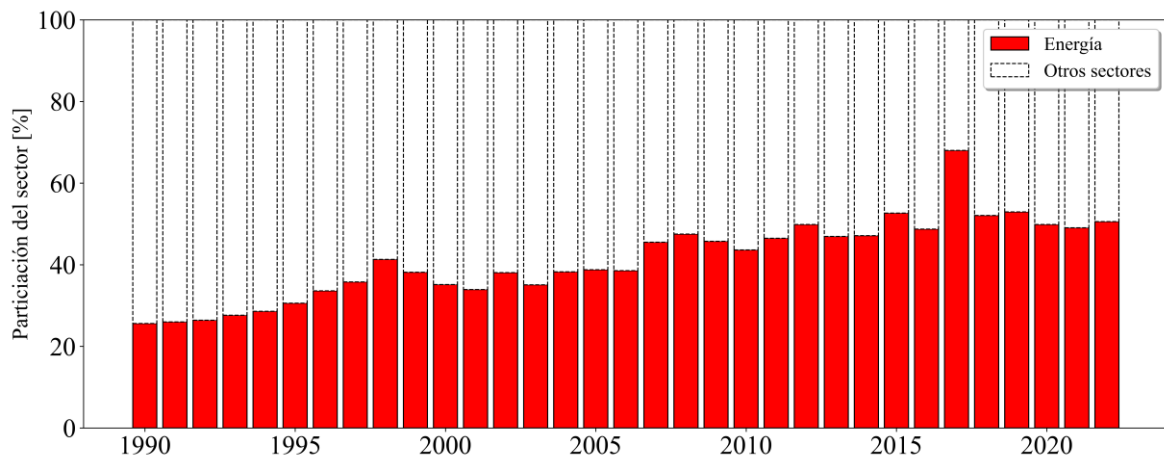


Figura 3-2. Sector Energía: participación del sector en el balance de emisiones de GEI (incluyendo UTCUTS)

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

En 2022, las emisiones de GEI del sector contabilizaron 84.790,9 kt CO₂ eq, incrementándose en un 154,3% desde 1990 y aumentando en un 7,5% desde 2020 (Tabla 3-1 y Figura 3-3).

En general, la principal causa de los incrementos sostenidos en el sector se debía, hasta el año 2021, al aumento en el consumo energético de la subcategoría Industrias de la Energía; pero para el año 2022, el mayor incremento provino del consumo de combustibles líquidos para transporte terrestre, mayormente diésel y gasolina para motor, lo cual provoca que la subcategoría Transportes represente un 35,4 % del total, liderando los GEI del sector; generando un quiebre en la tendencia histórica presente desde el año 2004 (mayor detalle en 3.2.10 Transporte). La subcategoría Industria de la Energía ocupó para el período 1990 - 2022 el segundo lugar, representando un 34,2 % del total de GEI del sector. (mayor detalle en Industrias de la energía).

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.

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, en Chile, se produjo un terremoto que alcanzó una magnitud de 8,8 Mw 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 incremento de la 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 generadoras de electricidad a base 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.

Durante el año 2020, se observó una caída significativa respecto a la tendencia de la serie en los últimos años. Esta caída fue atribuida a la pandemia global de COVID 19 y las restricciones impuestas (cuarentenas) por el Estado durante gran parte de ese año, lo cual provocó una reducción en la actividad económica y social del país, implicando una disminución de las emisiones principalmente asociadas al transporte terrestre y aéreo junto al consumo de los sectores comercial e institucional.

Para el año 2022, se aprecia un aumento en las emisiones totales del sector en comparación al período anterior, producto de los levantamientos a las restricciones impuestas por el COVID 19, generando un paulatino proceso de normalización de la actividad económica y social del país.

Respecto a las categorías (Figura 3-3), el 98,7% de las emisiones de GEI del sector corresponde a la categoría Actividades de quema de combustible y el 1,3 % restante a la categoría Emisiones fugitivas de combustibles para el año 2022.

Tabla 3-1. Sector Energía: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por categoría, serie 1990-2022

Categoría	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2022
1.A. Actividades de quema de combustible (método sectorial)	30.493,9	38.183,5	50.017,7	54.695,2	64.105,5	77.620,0	77.949,2	83.705,6
1.B. Emisiones fugitivas de combustibles	2.844,6	1.628,7	1.778,6	1.308,7	1.383,5	1.144,3	949,7	1.085,3
Total	33.338,5	39.812,2	51.796,3	56.003,9	65.489,0	78.764,3	78.898,9	84.790,9

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

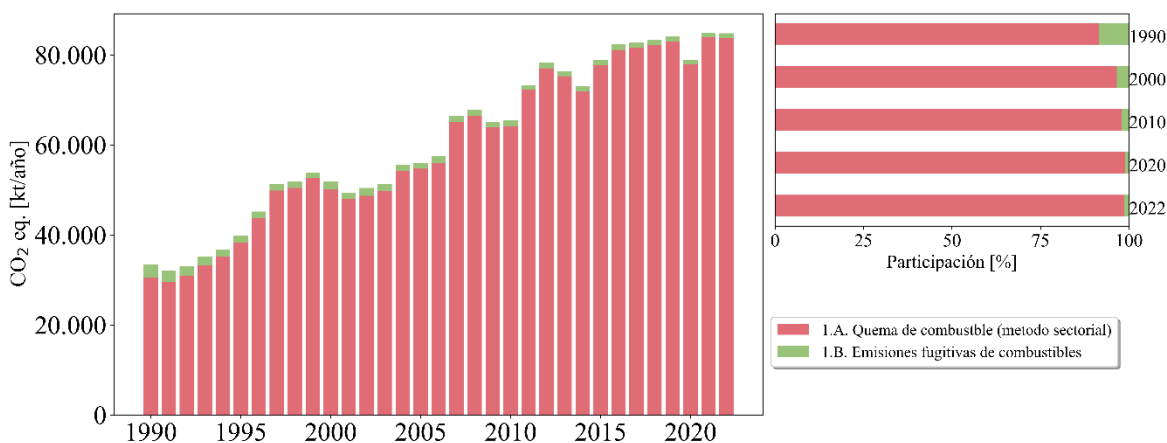


Figura 3-3. Sector Energía: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por categoría, serie 1990-2022

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

Respecto a las subcategorías (Tabla 3-2 y Figura 3-4), Transporte (principalmente el Transporte terrestre) se convirtió en la subcategoría de mayor importancia dentro del sector con un 35,4 % de participación en 2022, seguida de un 34,2 % de las Industrias de la energía (principalmente Generación de electricidad como actividad principal), 19,3 % de Industrias manufactureras y de la construcción y 9,8 % de Otros sectores (principalmente Residencial); el restante 1,3% corresponde a las subcategorías No especificado y a las emisiones fugitivas de las subcategorías Combustibles sólidos y Petróleo y gas natural.

Tabla 3-2. Sector Energía: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por subcategoría, serie 1990-2022

Categoría	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2022
1.A.1. Industrias de la energía	9.030,0	8.301,0	15.220,2	18.852,0	24.702,3	30.753,0	29.794,7	28.998,3
1.A.2. Industrias manufactureras y de la construcción	8.528,1	10.893,9	12.274,5	11.965,8	12.140,2	15.629,2	15.144,1	16.398,3
1.A.3. Transporte	8.756,1	13.676,5	17.057,1	18.660,3	20.305,8	24.457,7	25.362,3	29.984,8
1.A.4. Otros sectores	4.179,7	5.312,1	5.466,0	5.217,0	6.939,0	6.668,2	7.645,7	8.313,6
1.A.5. No especificado	-	-	-	-	18,1	111,9	2,5	10,6
1.B.1. Combustibles sólidos	958,1	324,5	147,7	100,9	79,5	199,5	20,8	8,6
1.B.2. Petróleo y gas natural	1.886,4	1.304,2	1.630,9	1.207,9	1.304,0	944,8	928,8	1.076,7
Total	33.338,5	39.812,2	51.796,3	56.003,9	65.489,0	78.764,3	78.898,9	84.790,9

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

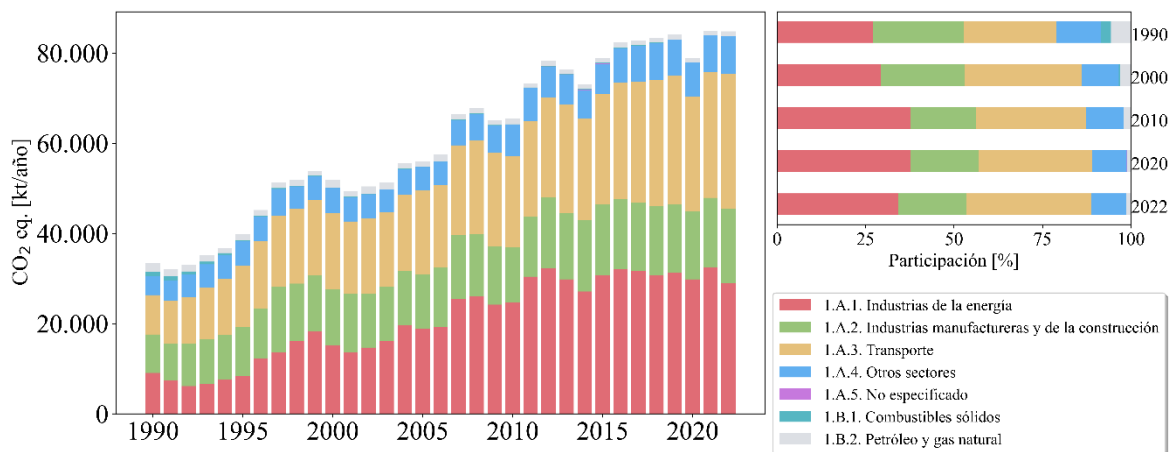


Figura 3-4. Sector Energía: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por subcategoría, serie 1990-2022

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

En 2022, el principal GEI emitido por el sector fue el CO₂, representando un 96,2 % de las emisiones totales de GEI del sector. Lo sigue el CH₄ con un 2,7 % y el N₂O con un 1,1 % (Tabla 3-3 y Figura 3-5).

Tabla 3-3. Sector Energía: emisiones por tipo de GEI (kt CO₂ eq), serie 1990-2022

GEI	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2022
CO ₂	29.377,0	36.889,5	48.659,7	53.251,0	62.428,4	75.631,4	75.943,4	81.557,9
CH ₄	3.666,9	2.540,2	2.639,0	2.208,2	2.382,3	2.259,5	2.085,6	2.262,5
N ₂ O	294,6	382,5	497,6	544,7	678,3	873,4	869,8	970,5
Total	33.338,5	39.812,2	51.796,3	56.003,9	65.489,0	78.764,3	78.898,9	84.790,9

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

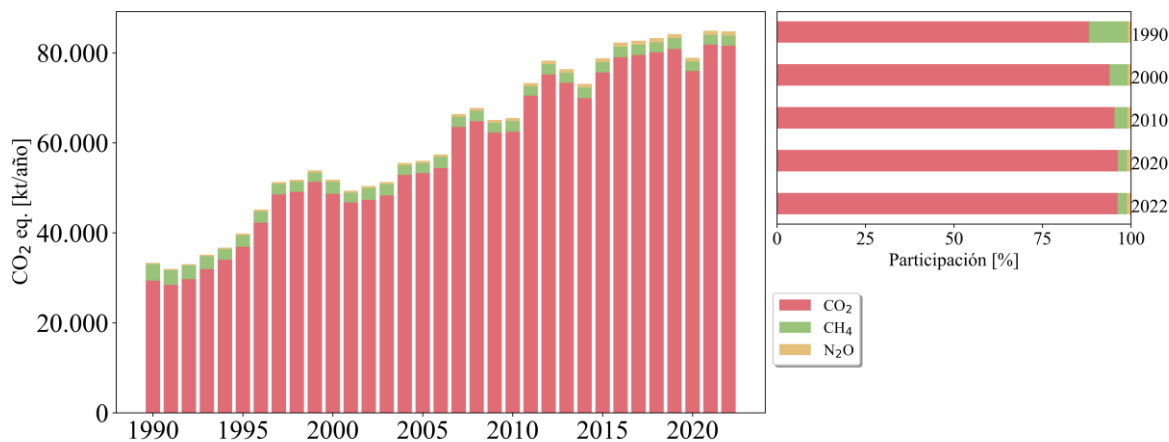


Figura 3-5. Sector Energía: emisiones por tipo de GEI (kt CO₂ eq), serie 1990-2022

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

3.1.3 Tendencia del consumo de energéticos en el país

El consumo bruto¹⁹ de energía primaria en Chile está compuesto principalmente por combustibles de origen fósil. En 2022, el consumo bruto de Leña y Biomasa representó un 26,2 %, seguido por el Petróleo crudo con un 23,6 %, Gas natural con el 18,6 %, Carbón con el 17,6 % y el restante 13,9 % a otras energías renovables incluyendo hidroeléctrica, eólica, solar, geotermia y biogás (Tabla 3-4 y Figura 3-6).

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 derivados²⁰, 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 2020 y 2022, incrementándose en 58,7 % y 97,1 % respectivamente, alcanzando un consumo de 32.021,7 TJ para energía eólica y 56.579,5 TJ para solar. Cabe destacar la baja en el consumo del carbón para el año 2022, cayendo en un 17,6 % respecto a 2020, asociado principalmente al proceso de descarbonización que está viviendo el país, mediante el retiro de las centrales termoeléctricas en base a dicho combustible.

Tabla 3-4. Sector Energía: consumo bruto de energéticos primarios (TJ) por energético, serie 1990-2022

Energético	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2022
Petróleo Crudo	257.608	333.287	418.779	449.461	342.283	367.318	319.206	309.189
Gas Natural	70.728	67.479	227.255	295.091	185.967	153.348	206.082	244.148
Carbón	103.597	94.409	127.784	109.680	180.101	300.545	266.890	231.380
Hidroelectricidad	32.293	66.281	68.705	94.689	78.334	85.037	78.209	73.409
Eólica	-	-	-	-	1.171	7.613	20.172	32.022
Leña y Biomasa	105.812	136.435	169.217	182.914	188.904	290.191	344.447	343.939
Solar	-	-	-	-	-	4.540	28.702	56.579
Biogás	663	1.277	192	-	326	3.175	2.829	3.698
Geotermia	-	-	-	-	-	-	7.777	16.797
Total	570.701	699.169	1.011.933	1.131.834	977.086	1.211.767	1.274.313	1.311.161

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGÍA

¹⁹ Consumo bruto de energía corresponde a la suma del consumo de energía para su transformación y la energía utilizada por los consumidores finales de energía (consumo final de energía).

²⁰ Petróleo Diesel, Gasolina de motor, Kerosene. Coque de petróleo, entre otros.

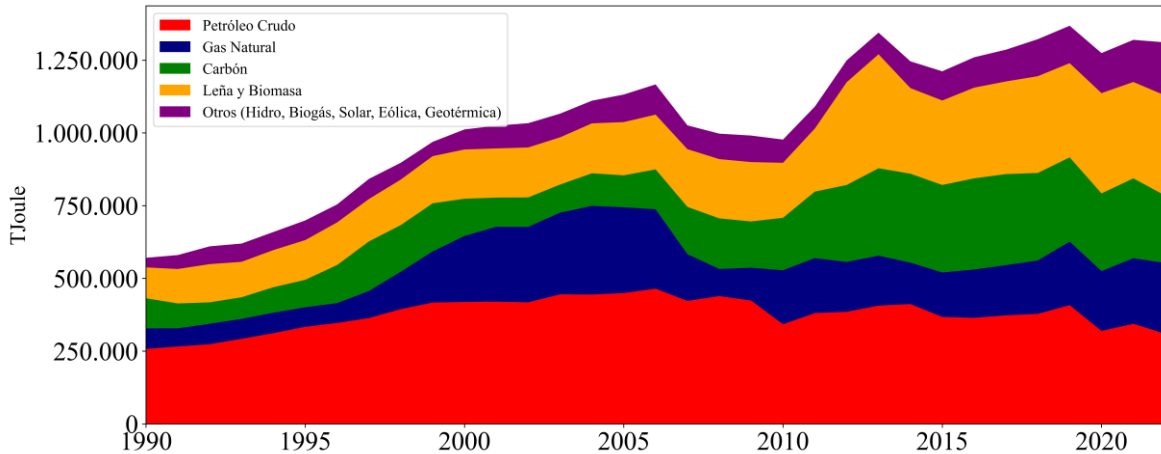


Figura 3-6. Sector Energía: consumo bruto de energéticos primarios (TJ) por energético, serie 1990-2022

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 tanto el método de nivel 1 como el de nivel 2 para las estimaciones, ejemplo de esto es la actualización en la metodología de factores de emisión de CO₂ país específico para los principales combustibles líquidos utilizados en Chile, la cual transversalmente permite conocer de forma más precisa las emisiones realizadas desde la categoría 1.A. Se suma esto a las anteriores actualizaciones realizadas para la versión previa de INGEI, tal como la estimación con nivel 2 de las emisiones de CO₂ del coque metalúrgico en la componente Manufactura de combustibles sólidos y la aplicación del mismo método para los gases no CO₂ en el componente Transporte terrestre, con factores de emisión por defecto en ambos casos.

Para el componente Producción de electricidad y calor como actividad principal, las emisiones provenientes del consumo de carbón en centrales generadoras fueron estimadas con factores de emisión país específico. Adicionalmente para Actividades de quema de combustibles se aplicó el Método de referencia²¹ como verificación del Método sectorial. En la Tabla 3-5 se observa un resumen de los métodos aplicados por categoría y por tipo de GEI.

²¹ Método que va de lo general hacia lo particular, utilizando datos de provisión de energía del país para calcular las emisiones CO₂ procedentes de la quema de combustibles fósiles principalmente. (Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2006)

Tabla 3-5. 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, CS	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, CS, NE, NO	D, IE, CS, NE, NO, CS	T1, T2, IE, CS, NE, NO	D, IE, CS, NE, NO	T1, T2, IE, CS, NE, NO	D, IE, CS, 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 igual que en la actualización pasada, el cálculo de las emisiones para este sector se realizó en su totalidad mediante planillas de cálculo Excel. No obstante, para esta actualización se ha iniciado el proceso de migración de los datos y cálculos a un sistema informático basado en lenguaje R, utilizándolo en este proceso para la compilación de las estadísticas de consumo energético y emisiones. A su vez, el proceso de obtención de gráficas y visualizaciones ha considerado el uso de sistemas informáticos Python y R.

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 Planificación Estratégica y Desarrollo Sostenible 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 fecha²².

²² <http://energiaabierta.cne.cl/visualizaciones/balance-de-energia/>.

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 que abarca la ley 21.305, sobre eficiencia energética²³, y voluntario para las que no, y a pesar de esto último se logran altos niveles de respuesta (cerca del 80%). Sin embargo, los resultados siempre son comparados con otras fuentes de información oficiales²⁴ 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 una mayor disponibilidad de información, tanto por el aspecto regulatorio del sector energético, como por el uso de tecnologías de información y la adopción de 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, pasando de una metodología en la cual se presentaba de forma agregada los volúmenes de energía consumido para la transformación en energéticos secundarios a una en que se obtienen 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 2014²⁵.
- 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.
- Corrección de los consumos en centros de transformación para los BNE desde el 2010 al 2013, de acuerdo con recomendaciones por parte de AIE.
- Cambio en la estimación del consumo de Biomasa en los sectores Comercial, Público y Residencial (CPR) para el BNE 2022²⁶.

²³ Ley 21.305 Sobre Eficiencia Energética. (Congreso Nacional de Chile, 2021)

²⁴ Información proveniente de Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC), Comisión Nacional de Energía (CNE) y Servicios de Impuestos Internos (SII).

²⁵ 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 hasta el BNE 2021, se utilizó 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.

²⁶ Para el BNE 2022, se modificó la estimación del consumo de Biomasa para los sectores CPR a partir de los antecedentes levantados por el Instituto Forestal (INFOR) mediante encuestas aplicadas a usuarios finales. Este cambio metodológico permite una mejor estimación del consumo de los sectores mencionados con respecto a la metodología utilizada hasta el BNE 2021, mostrando un aumento en el consumo de estos sectores.

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).

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

- Centros de transformación.
 - Carbón y leña.
 - Electricidad servicio público.
 - Electricidad autoproducción.
 - Siderurgia hornos de coque.
 - Siderurgia altos hornos.
 - Plantas de Gas.
 - Refinería y extracción Petróleo y Gas Natural.
 - Producción de Metanol.
- Sector energético.
 - Carbón y leña.
 - Electricidad.
 - Siderurgia hornos de coque.
 - Siderurgia altos hornos.
 - Plantas de Gas.
 - Refinería y extracción Petróleo y Gas Natural.
 - Producción de Metanol.
- Transporte.
 - Terrestre.
 - Ferroviario.
 - Marítimo.
 - Aéreo.
 - Transporte por ducto.
- Industrial y minero.
 - Cobre.
 - Salitre.
 - Hierro.
 - Papel y Celulosa.
 - Siderurgia.
 - Petroquímica.
 - Cemento.
 - Azúcar.
 - Pesca.
 - Agroindustria.
 - Construcción.
 - Industria láctea.
 - Industrias varias.
 - Minas varias.
- Comercial, público y residencial.
 - Comercial.
 - Público.
 - Sanitarias.
 - Residencial.

La desagregación de los sectores en subsectores se realiza principalmente con base en los consumos reportados por las empresas de distintos rubros; si bien a la fecha actual no se encuentra con una muestra significativa de cada rubro estudiado, se espera abarcar a futuro en el BNE una mayor cantidad de empresas que permitan una mayor desagregación de estudio.

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, ejemplo de esto ocurre con el componente de las emisiones Procesamiento de alimentos, bebidas y tabaco, el cual considera que solo está compuesto por 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 3-7 se observa el diagrama de flujos de energía de Chile elaborado a partir del BNE para el año 2022 (Energía Abierta, 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 2022 se importó un 100 % de su oferta); a la vez, el principal sector consumidor de electricidad es la minería con un 56,4 %. Por otro lado, los derivados del petróleo representaron un 55,7 % del consumo final en el 2022 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 (97,8%). El gas natural representa el 7 % del consumo final y se importa un 82,2 %, siendo utilizado principalmente en la generación eléctrica y en el sector residencial. Adicionalmente, es posible apreciar en la Figura 7 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 fue del 39 %.

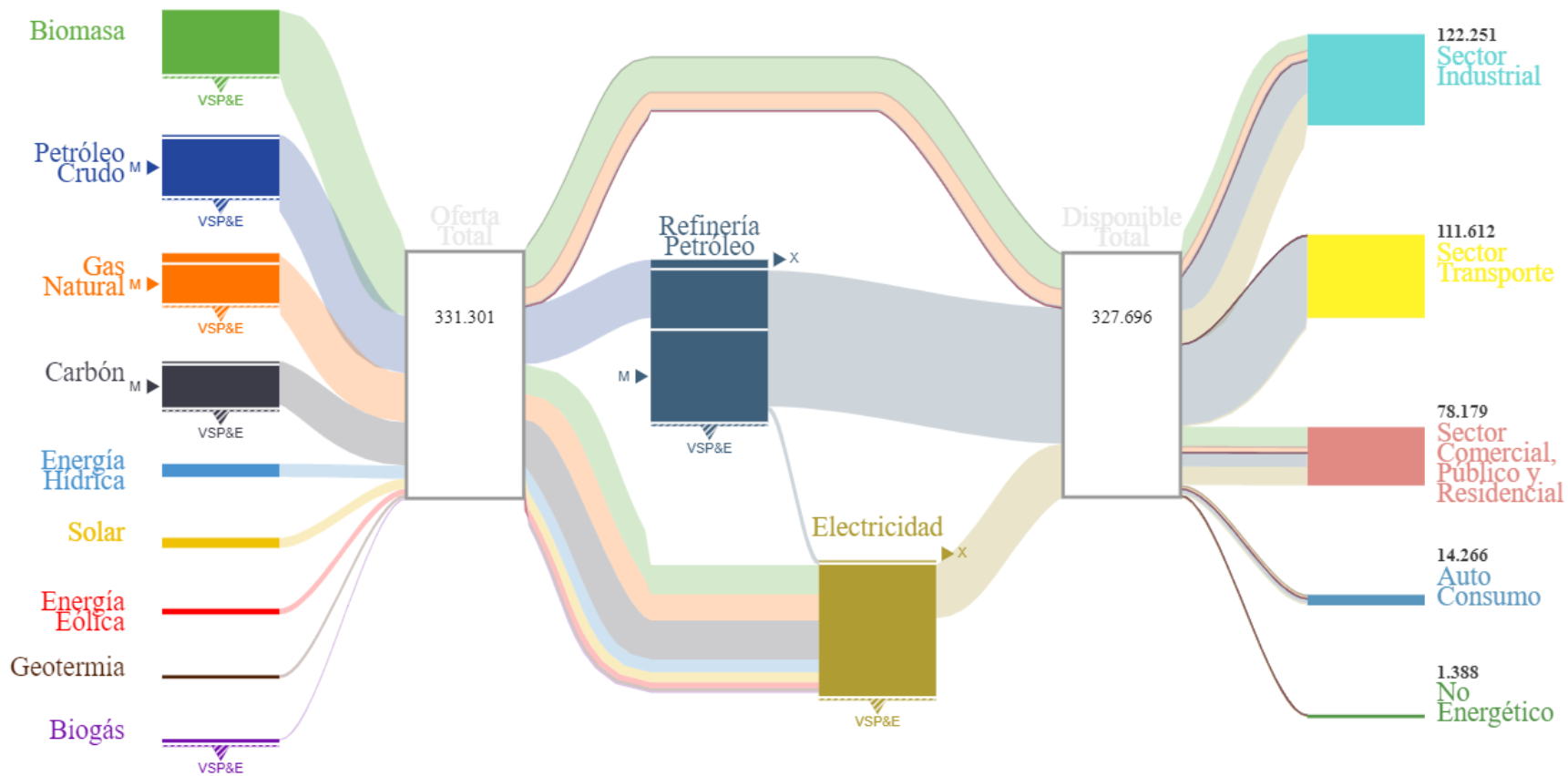


Figura 3-7. Balance Nacional de Energía: diagrama de flujo de los energéticos de Chile (Tcal), 2022.

VSP&E: Variación de stock, Pérdida y Error estadístico.

M: Importación.

X: Exportación.

Fuente: <http://energiaabierta.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 -Tera calorías (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 11.2.1. 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 Tera Joules (TJ), junto con además pasar de PCS a poder calorífico inferior (PCI). Para esto se utilizó la siguiente ecuación:

Ecuación 3-1. 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 3-6)
- **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* 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”²⁷. A partir de esto se elaboró la Tabla 3-6.

Tabla 3-6. 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 oil	0,95
Gasolina para motor	0,95
Gases licuados de petróleo	0,90
Gas de Refinaría	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).

²⁷ Contenido en página 1.17; Capítulo 1; Volumen 2 de las *Directrices del IPCC de 2006*.

En la Tabla 3-7 y Tabla 3-8 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.

En esta edición de la serie INGEI 1990 – 2022, se incluyó la actualización metodológica de los factores de emisión (FE) de CO₂ país específico para los principales combustibles líquidos²⁸ y coque de petróleo utilizados en el país²⁹. Este estudio fue desarrollado durante el año 2022 y estuvo mandado por la Subsecretaría del Medio Ambiente contando con el apoyo del Ministerio de Energía.

Para cada uno de los combustibles de interés, se analizó el contenido de carbono y el PCI en cada etapa de muestreo. A partir de los FE nacionales calculados, FE de los principales países desde los cuales se importan combustibles y de los FE por defecto del IPCC, se estimó FE nacionales de los combustibles estudiados para el período 1990 – 2020, extrapolando sus resultados para los años 2021 – 2022.

Tabla 3-7. Energéticos incluidos dentro de la encuesta BNE y sus datos paramétricos.

Combustibles	Factor de Emisión de CO ₂	Poder Calorífico Inferior
	kg / TJ	TJ/Gg
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	39,3
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
Otros derivados del petróleo	73.300	32,6
Petróleo crudo	73.300	43,6
Petróleo combustible 5	77.400	41,76
IFOS	77.400	41,76

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

²⁸ Principales combustibles líquidos utilizados en el país corresponden a Diesel; Gasolina 93, 95 y 97; Jet Querosene; y Petróleo combustible 6.

²⁹ Estudio para la determinación de los factores de emisión de emisión de CO₂ país específico para los principales combustibles líquidos utilizados en Chile. (Ministerio del Medio Ambiente - SINIA, 2024)

Tabla 3-8. Energéticos incluidos dentro de la encuesta BNE y sus datos paramétricos según actualización metodológica de FE de CO₂ país específico para los principales combustibles líquidos y coque de petróleo utilizados en el país.

Año	Combustible									
	Gasolina 93 - 95 - 97		Jet querosene		Diésel		Petróleo combustible 6		Coque de Petróleo	
	Factor de emisión de CO ₂ en Kg/TJ	Poder calorífico inferior en TJ/Gg	Factor de emisión de CO ₂ en Kg/TJ	Poder calorífico inferior en TJ/Gg	Factor de emisión de CO ₂ en Kg/TJ	Poder calorífico inferior en TJ/Gg	Factor de emisión de CO ₂ en Kg/TJ	Poder calorífico inferior en TJ/Gg	Factor de emisión de CO ₂ en Kg/TJ	Poder calorífico inferior en TJ/Gg
1990	69.089	44,55	66.958	44,15	72.013	43,35	79.186	41,76	92.275	32,22
1991	69.089	44,55	69.614	44,15	72.013	43,35	79.186	41,76	92.275	32,22
1992	69.075	44,55	69.650	44,15	72.071	43,35	78.984	41,76	92.275	32,22
1993	69.120	44,55	69.496	44,15	72.044	43,35	79.051	41,76	92.606	32,22
1994	68.954	44,55	69.610	44,15	72.043	43,35	78.298	41,76	92.742	32,22
1995	69.103	44,55	69.829	44,15	72.051	43,35	78.225	41,76	93.126	32,22
1996	68.879	44,55	69.917	44,15	72.158	43,35	78.079	41,76	93.443	32,22
1997	68.911	44,55	69.749	44,15	72.174	43,35	78.230	41,76	93.248	32,22
1998	68.879	44,55	70.062	44,15	72.054	43,35	78.754	41,76	93.000	32,22
1999	69.001	44,55	69.504	44,15	72.074	43,35	78.262	41,76	93.307	32,22
2000	68.944	44,55	69.610	44,15	72.033	43,35	78.879	41,76	92.614	32,22
2001	68.882	44,55	69.435	44,15	71.996	43,35	79.221	41,76	92.696	32,22
2002	68.811	44,55	69.538	44,15	72.026	43,35	78.568	41,76	93.291	32,22
2003	68.821	44,55	69.482	44,15	72.083	43,35	79.020	41,76	93.984	32,22
2004	68.845	44,55	69.387	44,15	71.852	43,35	79.221	41,76	95.179	32,22
2005	68.754	44,55	69.246	44,15	71.536	43,35	78.969	41,76	95.204	32,22
2006	68.809	44,55	69.380	44,15	71.842	43,35	79.190	41,76	94.207	32,22
2007	68.745	44,55	69.916	44,15	72.245	43,35	78.775	41,76	94.583	32,22
2008	68.871	44,55	69.449	44,15	71.780	43,35	77.819	41,76	94.291	32,22
2009	68.878	44,55	69.123	44,15	71.769	43,35	78.019	41,76	94.240	32,22
2010	68.773	44,55	69.596	44,15	72.301	43,35	78.018	41,76	94.310	32,22
2011	68.857	44,55	69.234	44,15	71.155	43,35	77.320	41,76	94.198	32,22
2012	68.807	44,55	69.093	44,15	70.858	43,35	77.811	41,76	94.150	32,22
2013	68.934	44,55	69.683	44,15	70.820	43,35	78.397	41,76	94.090	32,22
2014	68.889	44,55	68.837	44,15	70.850	43,35	78.506	41,76	92.921	32,22
2015	68.738	44,55	69.242	44,15	71.054	43,35	78.459	41,76	92.681	32,22
2016	68.951	44,55	69.447	44,15	71.012	43,35	78.496	41,76	93.912	32,22
2017	68.893	44,55	69.240	44,15	70.989	43,35	78.487	41,76	93.582	32,22
2018	68.886	44,55	69.339	44,15	70.950	43,35	78.448	41,76	93.870	32,22
2019	69.047	44,55	69.078	44,15	71.185	43,35	78.623	41,76	93.932	32,22
2020	69.032	44,55	69.686	44,15	71.049	43,35	78.708	41,76	94.220	32,22
2021	69.032	44,55	69.686	44,15	71.049	43,35	78.708	41,76	94.220	32,22
2022	69.032	44,55	69.686	44,15	71.049	43,35	78.708	41,76	94.220	32,22

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA, con base en el Estudio para la determinación de los FE de CO₂ país específico para los principales combustibles líquidos y coque de petróleo utilizados en Chile.

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 AIE³⁰.

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 (1.A.) es la principal categoría emisora del sector Energía, representando el 98,7 % de las emisiones de GEI del sector. En 2022, las emisiones de GEI por parte de la categoría contabilizaron 83.705,6 kt CO₂ eq. Desde 1990, las emisiones de GEI se han incrementado en un 174,5 % y desde 2020 aumentaron en un 7,4 % (Tabla 3-9 y Figura 3-8).

El incremento sostenido de emisiones de GEI a lo largo de la serie temporal se debe principalmente a un aumento sostenido de generación eléctrica a partir de diésel, gas natural y carbón, sumado al aumento en el uso de combustibles líquidos (diésel y gasolinas) en el transporte terrestre.

³⁰ Ver apartados 3.2.5 y 3.5.4

De la Figura 3-8, se observa que para los años 1999-2006 hay una disminución en la emisión de GEI, para pasar a un brusco aumento en el año 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 que utilizaban gas podían operar con diésel. A partir del año 2010, comienza un mayor uso del carbón, debido a la entrada de nuevas centrales basadas en este energético dado su bajo precio en comparación al diésel como del gas natural. Para los años 2009 y 2010, se observa una disminución en los GEI explicada por la crisis económica internacional que comenzó en el 2008 sumado al terremoto de 8,8 Mw que afectó a Chile el año 2010. La baja de emisiones durante el año 2014 se debe principalmente a un incremento en la generación eléctrica hídrica, la cual reemplaza a la generación proveniente de fuentes de carbón durante ese año.

Entre los años 2015 a 2019, se observa inicialmente un periodo constante en la cantidad de emisiones, con una tendencia a la disminución al final del período, debido al decrecimiento de la generación termoeléctrica intensiva en carbón, en contraste con el aumento en la cantidad de emisiones del sector transporte, originado por el aumento en la compra de vehículos livianos debido a factores de crecimiento económico en el país que favorecieron el poder adquisitivo de la población.

Es importante recalcar que, durante el año 2019, en vísperas de la realización de la COP 25, mediante un acuerdo vinculante de origen voluntario entre el Estado de Chile y las empresas propietarias de unidades generadoras a carbón en el sistema eléctrico³¹, se presentó un plan de retiro y/o conversión de unidades a carbón, el cual da cuenta de un retiro programado de centrales termoeléctricas que ocupen esta fuente para la generación de electricidad en Chile³². Este acuerdo fue puesto en marcha en junio de 2019, con el cierre de las unidades de Tocopilla U12 y U13, pertenecientes a la compañía de generación ENGIE, y en diciembre del mismo año con el cierre de la central Tarapacá de propiedad de ENEL.

De acuerdo con la Figura 3-8 y Tabla 3-9, para el año 2020, se observa una brusca caída en las emisiones de GEI, asociadas principalmente a la pandemia mundial de COVID 19; en donde el Estado de Chile controló su propagación en el país mediante cuarentenas, reducción de movilidad y restricción al funcionamiento de servicios que requerían de contacto presencial, generando una caída tanto de la demanda interna como de la oferta³³. Los sectores productivos de la construcción, servicios y transportes fueron quienes más se vieron afectados por las cuarentenas y restricciones a la movilidad. Bajo este contexto, la disminución de emisiones para la subcategoría transportes entre los años 2018 a 2020 en un 9,4 % toma relevancia considerando una menor demanda del servicio de transportes. En diciembre de 2020, se cierran las centrales termoeléctricas de Bocamina I de propiedad de la generadora ENEL y Ventanas I, dependiente de AES Corporation, ambas en la comuna de Coronel

³¹ Para el período señalado, las empresas propietarias de centrales termoeléctricas en base a carbón eran AES Corporation, ENGIE Energía Chile S.A, ENEL Chile S.A. y Colbún S.A.

³² Plan de descarbonización. (Ministerio de Energía, Chile, 2024)

³³ Estudio Económico de América Latina y el Caribe 2020: principales condicionantes de las políticas fiscal y monetaria en la era pospandemia de COVID-19. (Comisión Económica para América Latina y el Caribe, 2020)

Durante el año 2021, se contabilizaron 83.902,2 kt CO₂ eq. para la categoría, aumentando en un 7,6 % en comparación al año 2020. Este aumento de emisiones tuvo como origen en parte al retiro gradual de las restricciones de movilidad impuestas para detener el avance del COVID 19, implicando un aumento de la actividad económica y una mayor movilidad de la población. Destaca el hecho de un aumento en la demanda interna producto de ayudas estatales destinadas a reducir el impacto económico ocasionado por las restricciones de movilidad, más la liquidez resultante de los retiros de parte de los fondos previsionales³⁴. Esto originó una mayor demanda en la compra de bienes, especialmente el de vehículos, aumentando el parque automotriz en el período 2021, traduciéndose en un aumento en las emisiones de esta subcategoría (9,7 % en comparación al año 2020).

Entre junio y octubre de 2022, se cerraron las centrales Tocopilla U14 y U15 de ENGIE y Bocamina II de ENEL, contabilizando un total de 8 unidades termoeléctricas a carbón cerradas desde 2019 a 2022.

Es importante señalar que para el año 2022, la subcategoría que generó más emisiones de GEI fue 1.A.3. Transportes con un total de 29.984,8 kt CO₂ eq. correspondiente al 35,8 % del total de emisiones; desplazando a la subcategoría 1.A.1. Industrias de la Energía al segundo lugar, quebrando la serie histórica presente desde 2004.

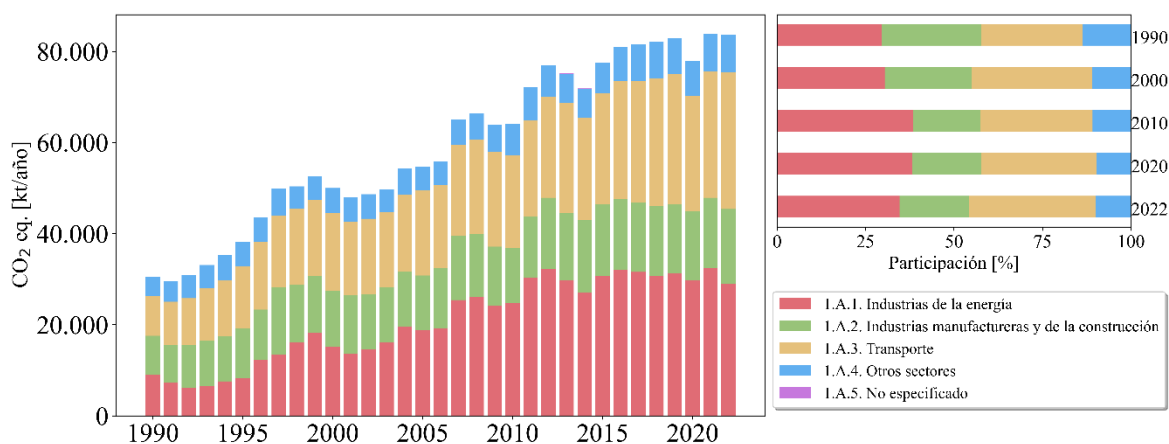


Figura 3-8. 1.A. Actividades de quema de combustible: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por subcategoría, serie 1990-2022

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

³⁴ Estudio Económico de América Latina y el Caribe 2022: dinámica y desafíos de la inversión para impulsar una recuperación sostenible e inclusiva. (Comisión Nacional para América Latina y el Caribe, CEPAL, 2024)

Tabla 3-9. 1.A. Actividades de quema de combustible: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por subcategoría, serie 1990-2022

Subcategorías	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2022
1.A.1. Industrias de la energía	9.030,0	8.301,0	15.220,2	18.852,0	24.702,3	30.753,0	29.794,7	28.998,3
1.A.2. Industrias manufactureras y de la construcción	8.528,1	10.893,9	12.274,5	11.965,8	12.140,2	15.629,2	15.144,1	16.398,3
1.A.3. Transporte	8.756,1	13.676,5	17.057,1	18.660,3	20.305,8	24.457,7	25.362,3	29.984,8
1.A.4. Otros sectores	4.179,7	5.312,1	5.466,0	5.217,0	6.939,0	6.668,2	7.645,7	8.313,6
1.A.5. No especificado	-	-	-	-	18,1	111,9	2,5	10,6
Total	30.493,9	38.183,5	50.017,7	54.695,2	64.105,5	77.620,0	77.949,2	83.705,6

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 58,5 %, seguido con un 24,1 % por los combustibles sólidos, 15,9 % de combustibles gaseosos y un 1,4 % de biomasa (Tabla 3-10 y Figura 3-9). Respecto a la no consideración de las emisiones de CO₂, las *Directrices del IPCC del 2006* indican³⁵ 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.

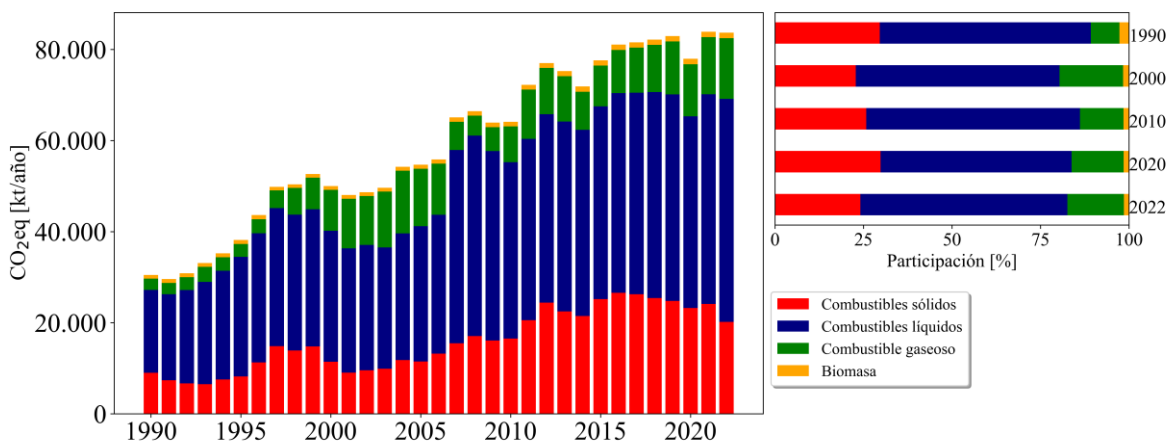


Figura 3-9. 1.A. Actividades de quema de combustible: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por tipo de combustible, serie 1990-2022

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

³⁵ Volumen 2, capítulo 1, página 21.

Tabla 3-10. 1.A. Actividades de quema de combustible: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por tipo de combustible, serie 1990-2022

Tipo de combustible	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2022
Combustibles sólidos	9.020,4	8.208,1	11.415,7	11.474,6	16.527,3	25.186,4	23.231,0	20.191,3
Combustibles líquidos	18.183,7	26.243,5	28.781,2	29.730,9	38.709,8	42.318,0	42.085,1	48.956,1
Combustible gaseoso	2.464,8	2.842,5	8.989,3	12.591,8	7.878,8	8.962,8	11.439,6	13.348,0
Biomasa	825,1	889,4	831,5	897,8	989,5	1.152,7	1.193,6	1.210,2
Total	30.493,9	38.183,5	50.017,7	54.695,2	64.105,5	77.620,0	77.949,2	83.705,6

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGÍA

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 tanto el método de nivel 1 como el método de nivel 2. El uso del método de nivel 2 para los factores de emisión de CO₂ país específico para los principales combustibles líquidos y coque de petróleo utilizados en Chile es transversal a la categoría 1.A.; esta nueva actualización de factores de emisión se suma a las propias de los componentes de Producción de electricidad y calor como actividad principal, Manufactura de combustibles sólidos y Transporte terrestre. En la Tabla 3-11 se observa un resumen de los métodos aplicados por subcategoría y por tipo de GEI.

Tabla 3-11. 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, CS, NE, NO	D, IE, CS, NE, NO	T1, T2, IE, CS, NE, NO	D, IE, CS, NE, NO	T1, T2, IE, CS, NE, NO	D, IE, CS, NE, NO
1.A.1. Industrias de la energía	T1, T2, NO	D, NO, CS	T1, NO	D, NO	T1, NO	D, NO
1.A.2. Industrias manufactureras y de la construcción	T1, IE	D, CS, IE	T1, IE	D, IE	T1, IE	D, IE
1.A.3. Transporte	T1, IE, NE	D, CS, IE, NE	T1, T2, IE, NE	D, IE, NE	T1, T2, IE, NE	D, IE, NE
1.A.4. Otros sectores	T1, IE	D, CS, IE	T1, IE	D, IE	T1, IE	D, IE
1.A.5. No especificado	T1, IE, NE	D, IE, CS, NE	T1, IE, NE	D, IE, NE	T1, IE, NE	D, 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 MINENERGÍA

Los cálculos se hicieron dependiendo del combustible utilizado. Tal como se mencionó en la sección 3.1.5.2 para esta actualización se utilizaron factores de emisión de CO₂ país específico para los principales combustibles líquidos y coque de petróleo utilizados en Chile.

El cálculo de factores de emisión de CO₂ país específico para los principales combustibles líquidos y coque de petróleo utilizados en Chile considera a los factores de emisión nacionales estimados, la información de la producción e importación histórica de combustibles³⁶ y de los factores de emisión de los países de origen, los cuales permiten determinar factores nacionales para la serie 1991 - 2020³⁷. Este cálculo está representado en la Ecuación 3-2.

Ecuación 3-2. Factor de emisión de CO₂ país específico para los principales combustibles líquidos y coque de petróleo utilizados en Chile.

$$FE_{j,t} = FE_{j,Chile} * \%Participación_{j,Chile,t} + \sum_{j,i} FE_{j,i} * \%Participación_{j,i,t}$$

$$\%Participación_{j,Chile,t} = \frac{Producción_{j,Chile,t}}{Producción_{j,Chile,t} + \sum_{j,i} Importación_{j,i,t}}$$

$$\%Participación_{j,i,t} = \frac{Importación_{j,i,t}}{Producción_{j,Chile,t} + \sum_{j,i} Importación_{j,i,t}}$$

Fuente: Estudio para la determinación de los factores de emisión de CO₂ país específico para los principales combustibles líquidos utilizados en Chile.

Donde:

- $FE_{j,t}$ = factor de emisión nacional del combustible j en el periodo t
- $FE_{j,Chile}$ = factor de emisión del combustible j producido en Chile
- $\%Participación_{j,Chile,t}$ = participación del combustible j producido en Chile respecto del total de combustible j consumido en el país en el periodo t
- $FE_{j,i}$ = factor de emisión del combustible j producido en el país i
- $\%Participación_{j,i,t}$ = participación del combustible j producido en el país i respecto del total de combustible j consumido en el país en el periodo t
- $Producción_{j,Chile,t}$ = cantidad de combustible j producido en Chile en el periodo t
- $Importación_{j,i,t}$ = cantidad de combustible j producido en el país i en el periodo t

³⁶ La producción nacional histórica de combustibles se encuentra disponible desde el año 1991.

³⁷ La información de factores de emisión nacionales de los combustibles estudiados para los años 1990, 2021 y 2022 fueron extrapolados a partir de la serie resultante.

Tabla 3-12. Fuentes de información utilizadas para la determinación de FE de CO₂ país específico para los principales combustibles líquidos y coque de petróleo utilizados en Chile.

Variable	Fuente	Descripción
Factores de emisión	Directrices del IPCC de 2006	Contiene valores por defecto de acuerdo con las <i>Directrices del IPCC de 2006</i> para los combustibles analizados, específicamente en el cuadro 2.3 del volumen 2 (Energía), capítulo 2 (Combustión Estacionaria) y en los cuadros 3.2.1; 3.5.2 y 3.6.4 del volumen 2 (Energía), capítulo 3 (Combustión Móvil).
	Inventarios Nacionales (NIR) de países específicos de interés	Contiene los inventarios de GEI de distintos países. Incluye información de los factores de emisión nacionales, además de datos de poder calorífico y densidades de los combustibles.
Producción e importación de combustibles	Balance Nacional de Energía	Contiene los datos de importación y producción nacional de combustibles. La información se presenta en unidades de energía (Teracalorías) y de masa (t) o volumen (m ³) según sea el caso. Los datos se encuentran disponibles para el periodo 1991-2020 y en el caso de gasolinas se encuentra en forma agregada.
	Plataforma Energía Abierta	Contiene datos de importación desglosados por países y código arancelario, para el periodo 2002-2021.
	Informes anuales SEC	Contiene datos de producción nacional por refinería para el periodo 2006-2021.

Fuente: Estudio para la determinación de los factores de emisión de CO₂ país específico para los principales combustibles líquidos utilizados en Chile.

De lo anterior, se obtiene la Tabla 3-13 con la información de los nuevos factores de emisión

Para los demás combustibles se realizaron cálculos de acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006*, la cual utiliza factores de emisión por defecto o promedio. Se presenta la Ecuación 3-3 en donde se señala el cálculo realizado:

Ecuación 3-3. 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.

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

Tabla 3-13. Factores de emisión de CO₂ para los combustibles³⁸ utilizados en actualización INGEI 1990 – 2022.

Combustible	Estado	Unidad	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020	2022
Gasolina para motor ³⁹	Combustible líquido	kg CO ₂ /TJ	69.089	68.944	68.773	68.934	68.951	68.886	69.032	69.032
Gasolina para la aviación	Combustible líquido	kg CO ₂ /TJ	70.000	70.000	70.000	70.000	70.000	70.000	70.000	70.000
Queroseno para motor a reacción ⁴⁰	Combustible líquido	kg CO ₂ /TJ	66.958	69.610	69.596	69.683	69.447	69.339	69.686	69.686
Otro queroseno	Combustible líquido	kg CO ₂ /TJ	71.900	71.900	71.900	71.900	71.900	71.900	71.900	71.900
Gas / Diésel oil ⁴¹	Combustible líquido	kg CO ₂ /TJ	72.013	72.033	72.301	70.820	71.012	70.950	71.049	71.049
Fuelóleo residual ⁴²	Combustible líquido	kg CO ₂ /TJ	79.186	78.879	78.018	78.397	78.496	78.448	78.708	78.708
Gases licuados de petróleo	Combustible líquido	kg CO ₂ /TJ	63.100	63.100	63.100	63.100	63.100	63.100	63.100	63.100
Nafta	Combustible líquido	kg CO ₂ /TJ	73.300	73.300	73.300	73.300	73.300	73.300	73.300	73.300
Alquitrán	Combustible líquido	kg CO ₂ /TJ	80.700	80.700	80.700	80.700	80.700	80.700	80.700	80.700
Gas de refinería	Combustible líquido	kg CO ₂ /TJ	57.600	57.600	57.600	57.600	57.600	57.600	57.600	57.600
Otros productos del petróleo	Combustible líquido	kg CO ₂ /TJ	63.864	63.864	63.864	63.864	63.864	63.864	63.864	63.864
Otro carbón bituminoso	Combustible sólido	kg CO ₂ /TJ	94.600	94.600	94.600	94.600	94.600	94.600	94.600	94.600
Coque para horno de coque	Combustible sólido	kg CO ₂ /TJ	97.831	97.831	97.831	97.831	97.831	97.831	97.831	97.831
Coque de Petróleo ⁴³	Combustible sólido	kg CO ₂ /TJ	92.275	92.614	94.310	94.090	93.912	93.870	94.220	94.220
Gas de fábrica de gas	Combustible sólido	kg CO ₂ /TJ	44.400	44.400	44.400	44.400	44.400	44.400	44.400	44.400
Gas de alto horno	Combustible sólido	kg CO ₂ /TJ	260.000	260.000	260.000	260.000	260.000	260.000	260.000	260.000
Gas natural	Combustible gaseoso	kg CO ₂ /TJ	56.100	56.100	56.100	56.100	56.100	56.100	56.100	56.100
Madera y desechos de madera	Biomasa	kg CO ₂ /TJ	112.000	112.000	112.000	112.000	112.000	112.000	112.000	112.000
Otro biogás	Biomasa	kg CO ₂ /TJ	54.600	54.600	54.600	54.600	54.600	54.600	54.600	54.600

³⁸ Información de factores de emisión de CO₂ para combustibles incorpora información de Nivel 1 cómo de Nivel 2.

³⁹ De acuerdo con las definiciones de tipos de combustibles utilizadas en las Directrices del IPCC 2006, cuadro 1.1 del Volumen 1 capítulo 1 de las directrices IPCC de 2006. Gasolina para motor abarca las Gasolinas de 93, 95 y 97.

⁴⁰ De acuerdo con las definiciones de tipos de combustibles utilizadas en las Directrices del IPCC 2006, cuadro 1.1 del Volumen 1 capítulo 1 de las directrices IPCC de 2006. Queroseno para motor a reacción abarca Jet Querosene.

⁴¹ De acuerdo con las definiciones de tipos de combustibles utilizadas en las Directrices del IPCC 2006, cuadro 1.1 del Volumen 1 capítulo 1 de las directrices IPCC de 2006. Gas/ Diésel Oil abarca Diésel.

⁴² De acuerdo con las definiciones de tipos de combustibles utilizadas en las Directrices del IPCC 2006, cuadro 1.1 del Volumen 1 capítulo 1 de las directrices IPCC de 2006. Fuelóleo residual abarca Petróleo combustible 6.

⁴³ De acuerdo con las definiciones de tipos de combustibles utilizadas en las Directrices del IPCC 2006, cuadro 1.1 del Volumen 1 capítulo 1 de las directrices IPCC de 2006. Coque de petróleo abarca Coque de petróleo.

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 (Tabla 3-14 y Figura 3-10).

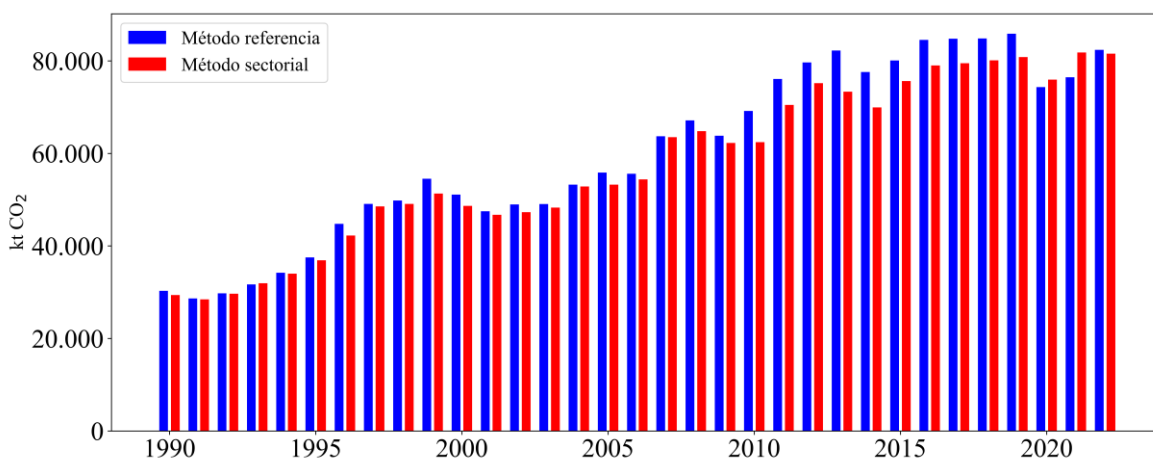


Figura 3-10. 1.A. Actividades de quema de combustible: emisiones de CO₂ (kt) del Método sectorial y Método de referencia, serie 1990-2022

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

Tabla 3-14. 1.A. Actividades de quema de combustible: emisiones de CO₂ (kt) del Método sectorial y Método de referencia, incluyendo su diferencia, serie 1990-2022

Método	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2022
Método de referencia	30.283,9	37.510,8	51.078,7	55.844,6	69.179,2	80.085,8	74.325,1	82.387,9
Método sectorial	29.371,1	36.885,1	48.654,6	53.247,1	62.424,3	75.628,9	75.940,8	81.554,9
Diferencia	-912,8	-625,7	-2.424,1	-2.597,5	-6.754,9	-4.457,0	1.615,7	-833,0
Diferencia %	-3,1%	-1,7%	-5,0%	-4,9%	-10,8%	-5,9%	2,1%	-1,0%

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

En la Figura 3-11 se observa la diferencia porcentual entre el Método de referencia y el Método sectorial para la serie 1990-2022. 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 año 2013, se registra la mayor diferencia de la serie 1990 – 2022 con un -12,1 %, originada por la interpolación realizada para los consumos de carbón y diésel en el componente 1.A.2.i. Minería, dado que para 2013 no se obtuvieron valores para este componente desde el BNE.
- Similar caso ocurre para el año 2014, en donde se produce la segunda mayor diferencia entre métodos, arrojando un -11,0 %. La razón, al igual que en 2013 es producto de la interpolación realizada para los consumos de gas natural y diésel en el componente 1.A.2.i. Minería, dada la ausencia datos provenientes del BNE.
- Finalmente, el año 2010 registra la tercera mayor diferencia con un -9,9 % entre el método sectorial y el método de referencia, debido a la interpolación realizada de los consumos de gas natural y diésel en el componente 1.A.2.i Minería y de fuelóleo residual para el subcomponente 1.A.3.e.ii. Todo Terreno, ya que existían valores fuera de rango para dichos usos, los cuales están asociados a errores metodológicos del BNE para dicho año.

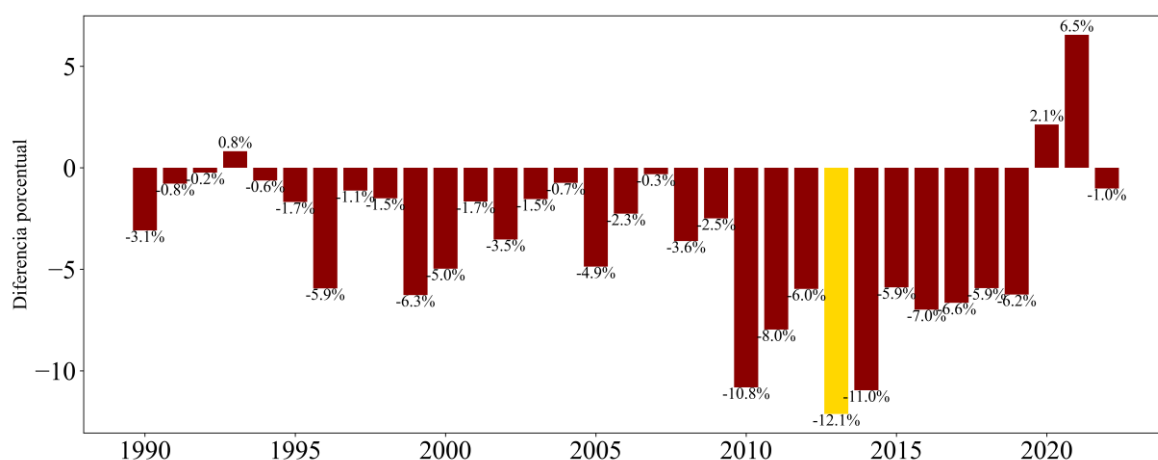


Figura 3-11. 1.A. Actividades de quema de combustible: diferencia porcentual entre las emisiones de CO₂ del Método sectorial y el Método de referencia, serie 1990-2022

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;
- Paso 3: Multiplicarlo por el contenido de carbono 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"> ○ Espiritu Blanco <ul style="list-style-type: none"> ▪ Gasolina Blanca ▪ Aguarrás ▪ Solventes ▪ Fuel Fondo Vacío ▪ Etileno ▪ Gasoil ○ Alquitrán <ul style="list-style-type: none"> ▪ Asfalto ○ Coque (fracción no oxidada) 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Espiritu 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)

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

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

Tabla 3-15. 1.A. Actividades de quema de combustible: datos de actividad del consumo aparente (TJ) de combustibles del Método de referencia por combustible, serie 1990-2022

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
2019	1.144.743,05	1.135.980,31
2020	1.021.834,05	1.006.327,67
2021	1.053.506,67	1.038.081,08
2022	1.136.673,77	1.121.296,30

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

Tabla 3-16. 1.A. Actividades de quema de combustible: contenido de carbono por defecto (kg/GJ) para el Método de referencia por combustible, serie 1990-2022

Combustibles	Contenido de carbono por defecto (kg/GJ)
Petróleo crudo	20,0
Gasolina para motor	18,9
Gasolina para la aviación	19,1
Queroseno para motor a reacción	19,5
Otro queroseno	19,6
Gas/Diésel oil	20,2
Fuelóleo residual	21,1
Gases licuados de petróleo	17,2
Nafta	20,0
Otros productos del petróleo	20,0
Otro carbón bituminoso	25,8
Coque para horno de coque y coque de lignito	29,2
Gas natural	15,3

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA con base en las *Directrices del IPCC de 2006* (Cuadro 1.3; Capítulo 1; Volumen 2)

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 1990-2022, 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 3,4 %. Las mayores diferencias se presentan en los años 2010, 2013, 2019 y 2020; en donde se supera el 9 % de diferencia en términos absolutos (Tabla 3-17 y Figura 3-12). Estas diferencias son producto de la actualización de los factores de emisión de CO₂ explicado en el apartado 3.2.3. 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 3-17 y Figura 3-13).

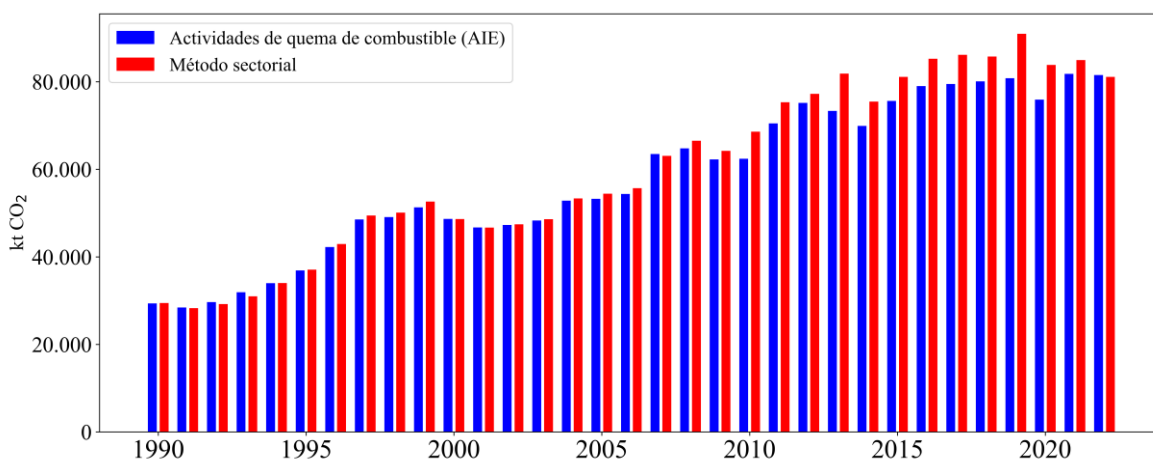


Figura 3-12. 1.A. Actividades de quema de combustible: emisiones de CO₂ (kt) del Método sectorial y Actividades de quema de combustible (AIE), serie 1990-2022

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA con base en datos de la AIE (AIE, 2024).

Tabla 3-17. 1.A. Actividades de quema de combustible: emisiones de CO₂ eq (kt) del Método sectorial y Actividades de quema de combustible (AIE), incluyendo su diferencia, serie 1990-2022

Método	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022
Actividades de quema de combustible (AIE)	29.435,3	37.075,4	48.623,7	54.434,6	68.604,8	81.127,2	83.860,9	84.963,8	81.114,0
Método sectorial	29.371,1	36.885,1	48.654,6	53.247,1	62.424,3	75.628,9	75.940,8	81.800,3	81.554,9
Diferencia	-64,2	-190,2	30,9	-1.187,5	-6.180,4	-5.498,3	-7.920,1	-3.163,5	440,9
Diferencia [%]	-0,2	-0,5	0,1	-2,2	-9,9	-7,3	-10,4	-3,9	0,5

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA con base en datos de la AIE (AIE, 2024).

En la Figura 3-13 se observa la diferencia porcentual entre el Método sectorial y los datos de la AIE para la serie histórica 1990-2022. El promedio de los absolutos de estas variaciones es de 3,4 % con un máximo de -12,6 % en el 2019 y le sigue 2013 con 11,6 %. Por otro lado, los años que presentan menor diferencia son 1994, 2000 y 2001 con diferencias menores al 0,1 %. 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.

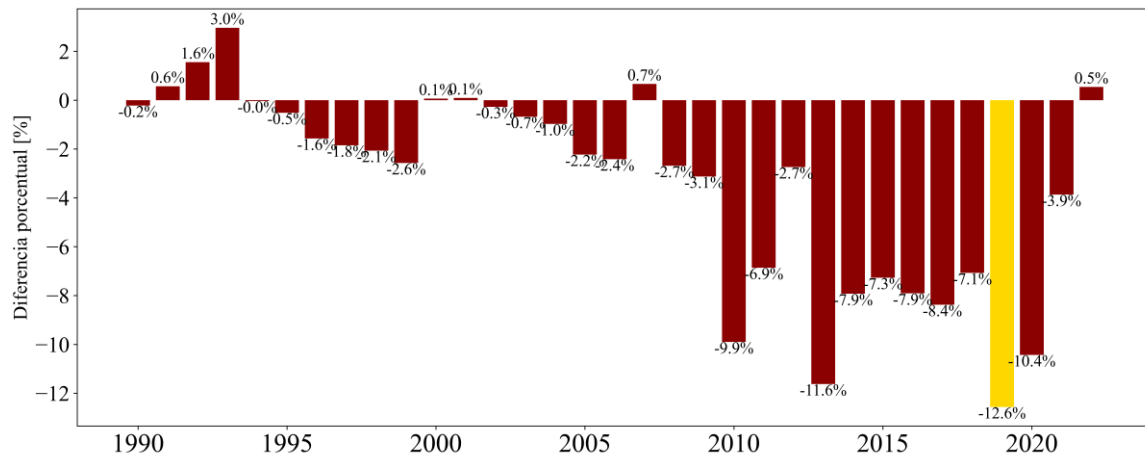


Figura 3-13. 1.A. Actividades de quema de combustible: diferencia porcentual entre las emisiones de CO₂ del Método sectorial y Actividades de quema de combustible (AIE), serie 1990-2022

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA con base en datos de la AIE (AIE, 2024).

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 3-17 y Figura 3-14). 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.

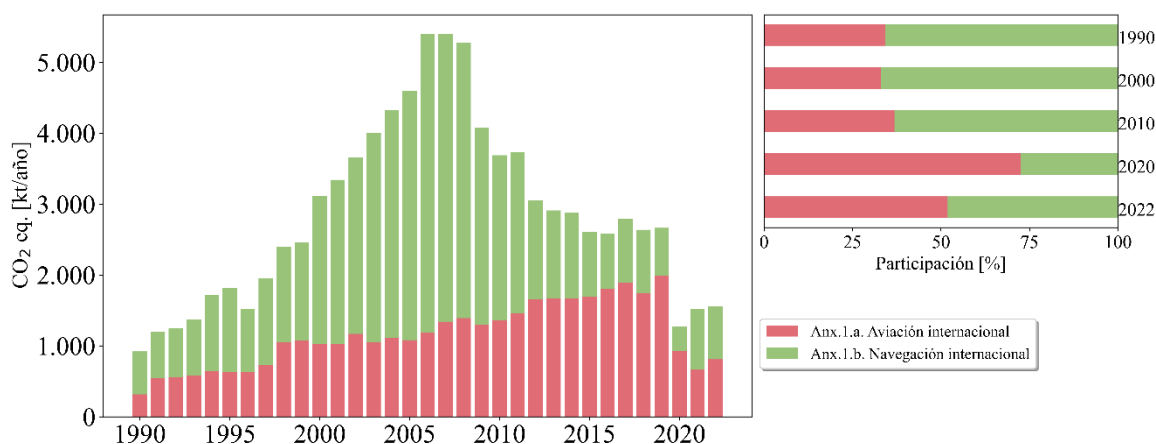


Figura 3-14. Combustible del transporte internacional: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) de la Aviación internacional y de la Navegación internacional, serie 1990-2022

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

Tabla 3-18. Combustible del transporte internacional: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) de la Aviación internacional y de la Navegación internacional, serie 1990-2022

Transporte	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2022
Aviación internacional	315,9	631,3	1.026,7	1.081,2	1.359,1	1.691,8	926,6	809,8
Navegación internacional	604,3	1.188,1	2.087,4	3.511,0	2.329,3	912,8	350,9	750,5
Total	920,2	1.819,4	3.114,1	4.592,2	3.688,4	2.604,5	1.277,5	1.560,4

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

Aspectos metodológicos

Para la estimación de las emisiones de GEI de Combustible del transporte internacional se aplicaron los métodos señalados en la sección 3.2.3.

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 3-19. Combustible del transporte internacional: datos de actividad (TJ), serie 1990-2022

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
2019	1.581,91	7.061,76	28.574,81
2020	1.914,44	2.687,81	13.193,93
2021	7.414,02	4.134,57	9.423,33
2022	5.793,36	4.213,92	11.531,05

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 3-20.

Tabla 3-20. 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 usados para el cálculo de las emisiones de GEI del Combustible del transporte internacional relacionados a CO₂ corresponden a los presentados en la Tabla 3-13, mientras que los factores de emisión de CH₄ y N₂O se muestran en la Tabla 3-21.

Tabla 3-21. 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 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 el año 2022, las emisiones de GEI de la Aviación internacional contabilizaron 809,83 kt CO₂ eq. Desde el año 1990 las emisiones se han incrementado en un 156,4 % y en comparación al 2020, estas disminuyeron en un 12,6 % (Tabla 21 y Figura 15).

El crecimiento de las emisiones a lo largo de la serie 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. En el año 2019 se retomó la tendencia con la cual se venía en 2017, mientras que en 2020 existe una fuerte caída en las emisiones (46,6 % respecto al 2019) a causa de la pandemia mundial que afectó la movilidad de millones de pasajeros.

Para el año 2022, si bien el tráfico aéreo internacional se mantuvo bajo los niveles previos a la pandemia mundial, se observa una recuperación en la actividad, y por consiguiente en la tendencia de las emisiones.

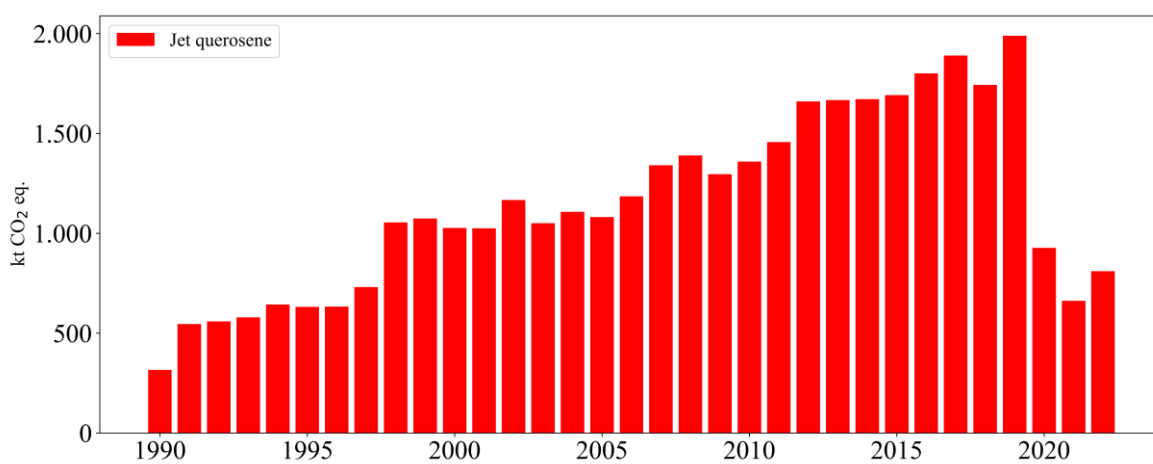


Figura 3-15. Aviación internacional: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por combustible, serie 1990-2022
Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

Tabla 3-22. Aviación internacional: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por combustible, serie 1990-2022

Combustible	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2022
Jet querosene	315,9	631,3	1.026,7	1.081,2	1.359,1	1.691,8	926,6	809,8
Total	315,9	631,3	1.026,7	1.081,2	1.359,1	1.691,8	926,6	809,8

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

3.2.6.2 Navegación internacional

En 2022, las emisiones de GEI de la Navegación internacional contabilizaron 740,4 kt CO₂ eq., desde el año 1990 han aumentado un 23,6 % y en comparación al año 2020, han aumentado un 113,0 % (Tabla 3-23 y Figura 3-16).

Se observa una tendencia al alza entre el período de 1990 a 2006; pero luego se invierte la tendencia disminuyendo constantemente hasta el 2020, donde se observa una brusca caída producto de la pandemia mundial, con una posterior recuperación de la tendencia para el año 2022 a niveles prepandemia.

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).

La caída del año 2020 se explica nuevamente a causa del cierre de puertos y el comercio internacional ocasionado por la pandemia asociada al COVID 19, para un posterior aumento de emisiones en el bienio 2021 - 2022, presentando variaciones interanuales de 243,8 % y 87,4 % respectivamente. La principal causa de este aumento fue la apertura comercial postpandemia y un aumento en las compras internacionales para el último período.

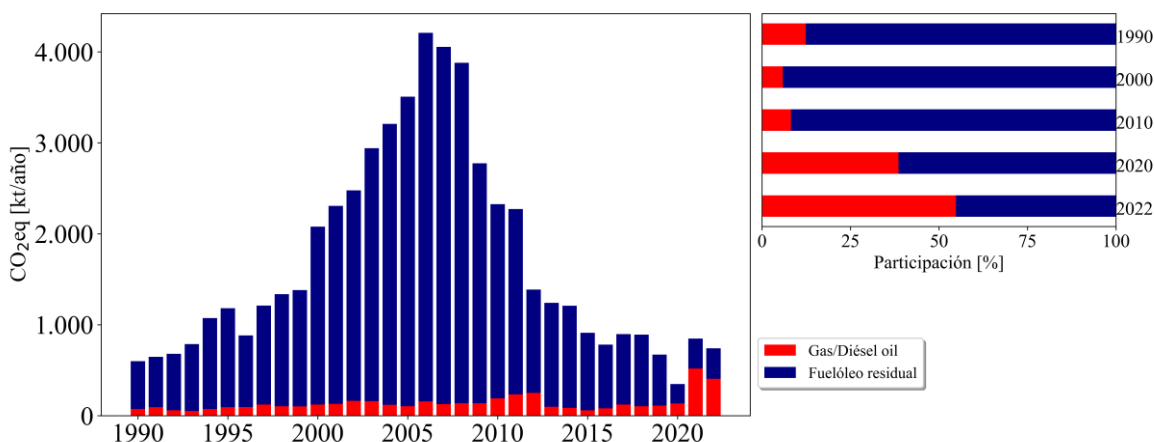


Figura 3-16. Navegación internacional: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por combustible, serie 1990-2022

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

Tabla 3-23. Navegación internacional: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por combustible, serie 1990-2022

Navegación internacional	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2022
Gas/Diésel oil	74,0	93,6	122,6	104,1	190,7	58,6	134,0	405,5
Fuelóleo residual	524,9	1.088,1	1.956,6	3.402,7	2.135,3	853,1	213,6	334,9
Total	598,9	1.181,7	2.079,2	3.506,9	2.326,0	911,8	347,6	740,4

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 2022, las emisiones de CO₂ de la biomasa quemada con fines energéticos contabilizaron 26.328,9 kt CO₂ eq, incrementándose en un 108,7 % desde 1990 y aumentando en un 4,0 % desde 2020.

En la Tabla 3-24 y Figura 3-17 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 a 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. Desde la actualización pasada, se realizó 1 mejora significativa a la tendencia de emisiones de la biomasa, la cual está asociada al sector residencial, tratando lo siguiente:

- **Sector Residencial:** Para el BNE del año 2022, se realizó un cambio en la estimación del consumo de Biomasa en los sectores Comercial, Público y Residencial (CPR); modificando la estimación del consumo de biomasa para los sectores CPR a partir de los antecedentes levantados por el Instituto Forestal (INFOR) mediante encuestas aplicadas a usuarios finales. El cambio metodológico implicó un aumento en el consumo de estos sectores.

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.

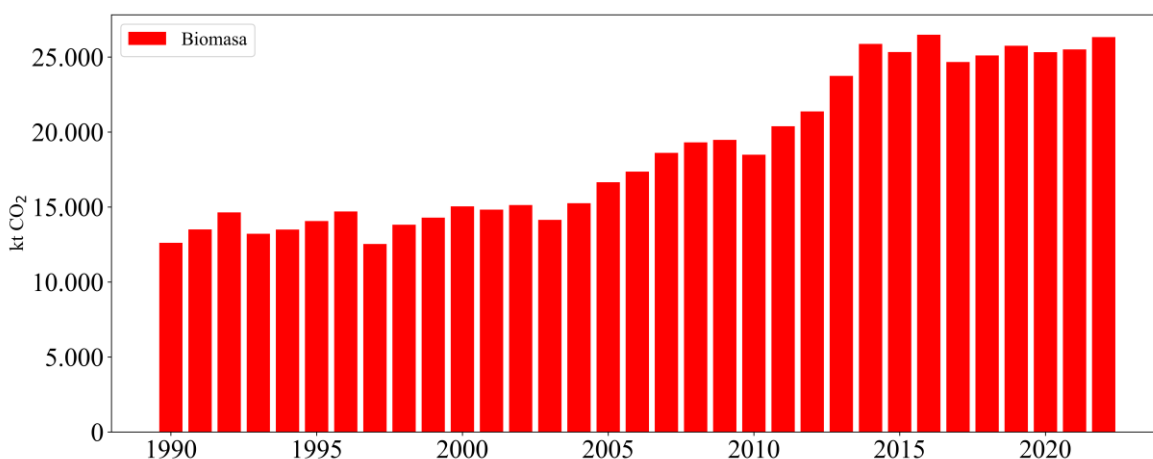


Figura 3-17. Biomasa: emisiones de CO₂ (kt), serie 1990-2022 Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

Tabla 3-24. Biomasa: emisiones de CO₂ (kt), serie 1990-2022

Componente	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2022
Biomasa	12.612,8	14.066,5	15.046,0	16.653,4	18.490,0	25.327,7	25.319,2	26.328,9
Total	12.612,8	14.066,5	15.046,0	16.653,4	18.490,0	25.327,7	25.319,2	26.328,9

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.) usando datos de actividad del BNE (Tabla 3-25) y factores de emisión por defecto (Tabla 3-26).

Tabla 3-25. Biomasa: datos de actividad (TJ), serie 1990-2022

Años	Total Biomasa (TJ)
1990	112.613,9
1991	120.525,8
1992	130.713,7
1993	118.016,0
1994	120.491,7
1995	125.593,4
1996	131.242,8
1997	111.869,4
1998	123.355,0
1999	127.627,9
2000	134.339,6
2001	132.315,6
2002	135.049,1
2003	126.240,5
2004	136.173,9
2005	148.690,9
2006	154.970,6
2007	166.109,6
2008	172.412,3
2009	173.852,7
2010	165.089,3
2011	181.962,7
2012	190.818,2
2013	211.804,1
2014	229.975,8
2015	224.613,0
2016	235.181,4
2017	219.040,4
2018	222.646,4
2019	228.489,4
2020	224.953,0
2021	226.679,6
2022	233.529,1

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA con base en BNE 1990-2022

Tabla 3-26. Biomasa: datos paramétricos y factor de emisión para Emisiones de CO₂.

Combustible	Poder Calórico 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 fue utilizado en las actualizaciones anteriores (INGEI 2IBA, INGEI 3IBA, e INGEI 4IBA).

Desde la actualización INGEI 5IBA, se dejó de considerar dicha fracción y se estimó el uso de gas natural para la producción de metanol a partir del total producido. Este cambio metodológico es realizado en base a un análisis de balance de carbonos en la materia prima, gas natural, y el producto, metanol.

La diferencia entre el total de gas natural (obtenido a través del BNE) y lo transformado, da a origen al nuevo valor asignado al sector energético.

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 3-28 se presentan sus componentes y respectivamente los sectores del BNE que lo comprenden.

Tabla 3-27. 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> se consideran 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 segunda principal subcategoría emisora del sector Energía, representando para el año 2022 el 34,2 % de las emisiones de GEI del sector; y la segunda principal fuente individual de emisiones a nivel nacional, representando el 26,1 % de las emisiones de GEI totales del país (excluyendo UTCUTS). En 2022, sus emisiones de GEI contabilizaron 28.998,3 kt CO₂ eq, incrementándose en un 221,1 % desde 1990, y disminuyendo en un 2,7% desde 2020 (Tabla 3-28 y Figura 3-18).

Tabla 3-28. 1.A.1. Industrias de la energía: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por componente, serie 1990-2022.

Componente	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2022
1.A.1.a. Producción de electricidad y calor como actividad principal	6,225.4	5,322.9	11,866.5	14,062.2	22,298.4	28,671.7	27,339.7	26,260.1
1.A.1.b. Refinación del petróleo	1,683.2	1,624.6	1,471.2	2,507.8	1,129.8	930.9	1,158.4	1,441.1
1.A.1.c. Manufactura de combustibles sólidos y otras industrias de la energía	1,121.4	1,353.6	1,882.5	2,282.0	1,274.1	1,150.3	1,296.6	1,297.1
Total	9,030.0	8,301.0	15,220.2	18,852.0	24,702.3	30,753.0	29,794.7	28,998.3

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

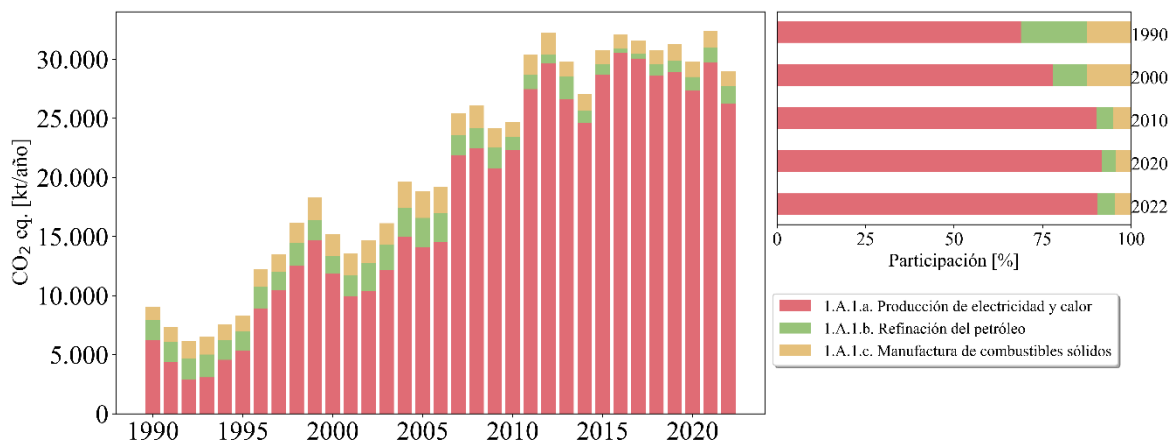


Figura 3-18. 1.A.1. Industrias de la energía: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por componente, serie 1990-2022

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 3-29 y Figura 3-19 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 2005 y 2022). 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 3-29. 1.A.1.a. Producción de electricidad y calor como actividad principal: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por combustible, serie 1990-2022

Combustible	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2022
Diésel	317.9	124.8	343.8	652.8	3,734.1	1,415.4	492.0	1,093.6
Carbón	5,633.0	4,746.9	7,188.1	5,708.0	13,278.7	22,159.8	20,696.9	17,697.9
Gas Natural	73.0	120.4	3,697.0	5,489.0	4,057.8	4,470.4	5,682.3	7,066.6
Coque	-	-	532.6	2,058.5	917.9	519.1	424.4	357.6
Otros	201.5	330.7	105.0	153.8	309.9	107.1	44.1	44.4
Total	6,225.4	5,322.9	11,866.5	14,062.2	22,298.4	28,671.7	27,339.7	26,260.1

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

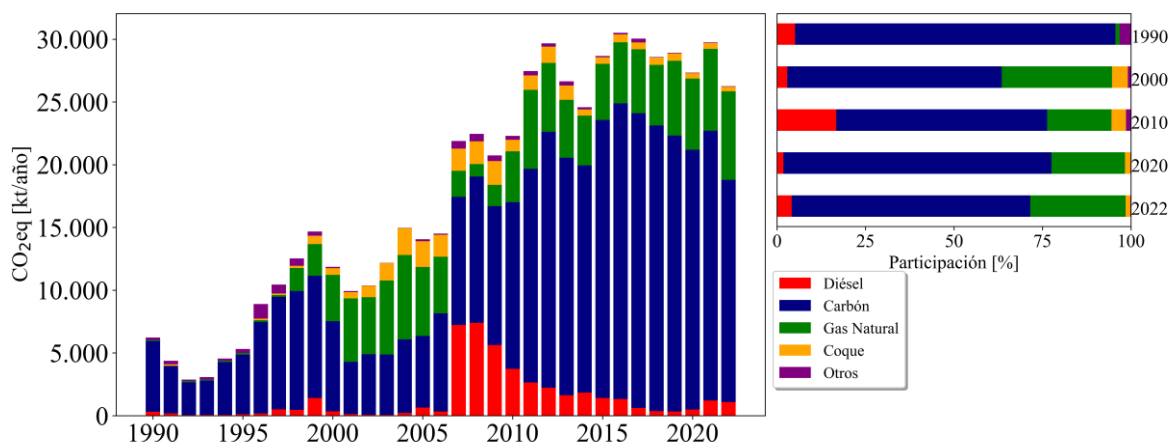


Figura 3-19. 1.A.1.a. Producción de electricidad y calor como actividad principal: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por combustible, serie 1990-2022

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

Al comparar las emisiones de GEI con los porcentajes de participación en el total de generación eléctrica (GWh) por fuente para el período 1990 - 2022 (Figura 3-20) 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 ante el 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 éste. 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.

Desde el año 2015, se ve cómo aumentan las emisiones por el mayor uso de carbón, para luego decaer el año 2020, producto de las restricciones al normal funcionamiento, tanto de la economía como de las personas, debido a la pandemia de COVID 19.

Con respecto al año 2021, se observa un efecto rebote en las emisiones, causado principalmente por una reactivación económica, cuyo origen provino del levantamiento paulatino de las medidas adoptadas por el Estado para evitar la propagación de COVID 19. A su vez, la gradual activación de los sectores económicos más los estímulos fiscales, tales como el Plan Económico de Emergencia destinados tanto a familias como a empresas⁴⁴, generó una mayor demanda interna.

El año 2022 estuvo marcado por las crisis de los precios de la energía, el aumento de la inflación y las perturbaciones de los flujos comerciales de combustibles tradicionales, a pesar de lo anterior, el crecimiento de las emisiones fue menor de lo que se esperaba. Esto debido principalmente al retiro de centrales a carbón y al incremento en la participación de las fuentes ERNC (solar, eólica, hidro y geotermia) junto con el retorno del gas natural para la generación eléctrica, lo que permitió disminuir la dependencia hacia el carbón. 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), salvo en el año 2021, donde hubo un fuerte incremento en su uso, debido a una disminución en la oferta de gas natural.

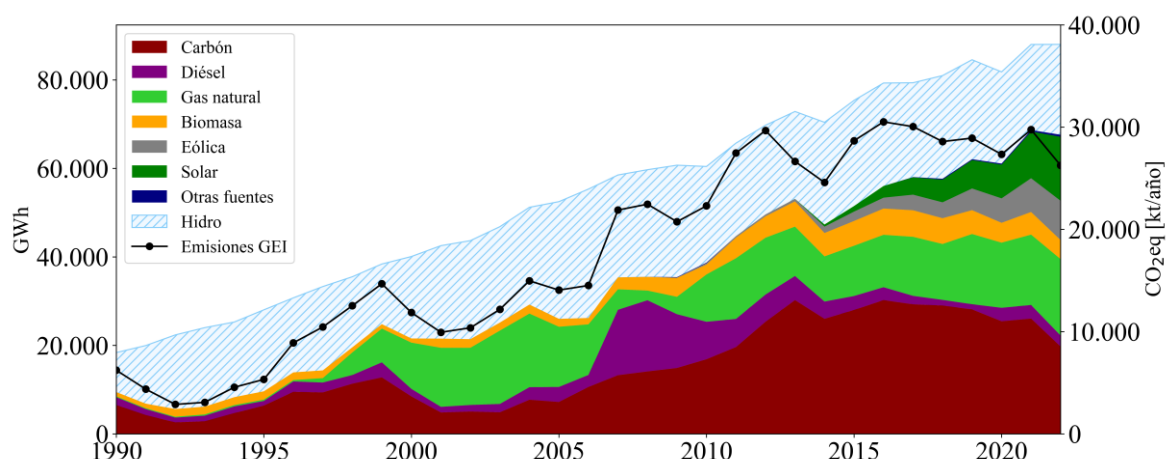


Figura 3-20. 1.A.1.a. Producción de electricidad y calor como actividad principal: generación eléctrica por tipo de fuente y emisiones de GEI (kt CO₂ eq), serie 1990-2022

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.

⁴⁴ Estudio Económico de América Latina y el Caribe 2021: dinámica y desafíos de la inversión para impulsar una recuperación sostenible e inclusiva (Comisión Nacional para América Latina y el Caribe, CEPAL, 2024)

3.2.8.3 Aspectos metodológicos de la subcategoría

Para la estimación de las emisiones de GEI de esta subcategoría se aplicaron los métodos descritos en la sección 3.2.3. Para el caso del uso del carbón en la subcategoría Generación de electricidad y desde la anterior actualización, las estimaciones de emisiones de GEI se realizan con factores de emisión país específico.

La Tabla 3-30 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 3-30. 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, CS	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, CS	T1, NO	D, NO	T1, NO	D, NO
1.A.1.a.i. Generación de electricidad	T1, T2	D, CS	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, CS	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

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 3-4, proveniente del Volumen 3, Capítulo 4 de las *Directrices del IPCC de 2006*, en el cual se presenta el método de cálculo de nivel 2 para este componente:

Ecuación 3-4. 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 2022. La Tabla 3-31 y Tabla 3-32 presentan los valores correspondientes por combustible. En el Anexo 11.2.2. se encuentran los datos desagregados por componente del INGEI.

Tabla 3-31. 1.A.1. Industrias de la energía: datos de actividad del consumo de combustible (TJ) por combustible, serie 1990 - 2022 (1 de 2)

Años	Queroseno para motor a reacción	Otro queroseno	Gas/Diésel oil	Fuelóleo residual	Gases licuados de petróleo	Nafta	Alquitrán	Gas de refinería
	TJ	TJ	TJ	TJ	TJ	TJ	TJ	TJ
1990	-	-	5.376	9.296	21	-	-	4.813
1991	-	-	3.579	10.322	57	-	557	5.155
1992	-	-	1.625	8.851	26	-	581	5.819
1993	-	-	1.737	8.466	15	-	690	6.412
1994	-	-	1.732	8.264	15	-	680	6.980
1995	-	-	2.362	9.171	15	-	716	8.464
1996	-	-	3.178	21.034	90	-	799	10.938
1997	-	-	7.528	12.320	98	-	690	9.403
1998	-	-	6.866	13.340	106	-	712	13.961
1999	-	-	20.556	7.091	124	-	696	13.563
2000	-	-	5.118	2.088	19	2.951	696	8.118
2001	-	-	2.584	2.414	-	3.830	680	9.140
2002	-	-	1.868	1.480	4	8.496	716	9.926
2003	-	-	1.428	1.042	-	5.294	728	10.127
2004	-	1	3.270	1.336	1.098	7.755	761	10.096
2005	-	9	9.266	3.277	3	5.230	677	12.245
2006	-	4	4.766	2.628	17	7.575	781	12.944
2007	-	1	100.823	10.481	3.365	6.540	708	7.813
2008	-	-	104.043	10.218	5.044	4.470	700	13.909
2009	-	-	78.555	8.841	7.631	4.207	652	14.315
2010	-	-	51.650	5.785	3.214	1.287	243	345
2011	1	-	37.196	5.855	2.522	319	704	248
2012	-	189	31.850	4.435	520	94	687	298
2013	-	-	23.664	5.144	1.690	137	638	1.549
2014	-	-	26.258	1.998	635	1.191	617	6

Años	Queroseno para motor a reacción	Otro queroseno	Gas/Diésel oíl	Fuelóleo residual	Gases licuados de petróleo	Nafta	Alquitrán	Gas de refinería
	TJ	TJ	TJ	TJ	TJ	TJ	TJ	TJ
2015	8	-	20.062	650	586	5.346	777	6
2016	-	-	18.636	973	504	0	683	6
2017	-	-	8.649	3.388	408	0	623	6
2018	-	-	5.111	131	445	0	658	6
2019	-	-	4.629	140	371	0	601	7
2020	-	-	6.995	89	109	-	595	5
2021	-	-	17.121	340	159	396	579	6
2022	-	-	15.418	231	565	4.649	603	5

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGÍA

Tabla 3-32. 1.A.1. Industrias de la energía: datos de actividad del consumo de combustible (TJ) por combustible, serie 1990-2022 (2 de 2)

Años	Otros productos del petróleo	Otro carbón bituminoso	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
1990	605	68.709	38	964	18.632	-	-	-
1991	410	46.059	45	1.221	16.500	-	-	1.340
1992	624	31.673	45	1.409	19.109	-	-	-
1993	732	33.126	41	1.828	22.898	-	-	-
1994	1.078	51.120	45	1.537	18.203	-	-	-
1995	939	57.901	124	1.112	17.621	-	-	-
1996	1.010	89.055	102	1.357	17.066	1.157	-	1.344
1997	1.227	109.508	117	1.357	18.781	1.700	-	1.340
1998	1.245	115.569	188	1.481	49.643	1.245	-	1.842
1999	1.229	120.521	15	1.503	65.455	1.169	-	7.088
2000	1.400	86.931	19	1.375	88.239	1.078	-	5.739
2001	1.205	52.709	-	1.485	114.219	1.169	-	5.453
2002	1.595	60.601	-	1.345	109.192	851	-	9.745
2003	-	58.039	305	1.454	132.760	935	-	14.661
2004	-	70.493	316	2.169	150.060	493	-	22.230
2005	2.022	71.472	332	1.961	132.164	805	-	21.580
2006	2.199	98.748	366	1.848	110.303	672	-	18.524
2007	2.070	124.950	395	1.761	48.993	986	-	18.676
2008	2.054	138.393	429	1.816	22.180	857	-	19.185
2009	1.778	133.270	345	1.545	34.427	-	-	20.016
2010	-	155.587	425	1.069	88.619	-	-	9.714
2011	-	200.387	881	1.874	133.762	-	-	12.291
2012	-	237.835	951	1.819	113.271	6.789	-	13.770
2013	-	232.642	674	1.159	112.140	21.659	306	12.180
2014	-	227.450	573	937	89.529	23.301	2.018	5.363
2015	-	274.496	460	988	90.752	34.243	2.515	5.589
2016	-	289.033	412	871	97.504	39.517	2.541	6.670
2017	-	290.147	345	911	101.861	21.101	2.100	5.708
2018	-	279.364	321	901	108.039	21.013	2.760	6.183
2019	-	268.010	373	936	129.399	26.923	2.441	6.292
2020	-	246.399	428	1.003	127.237	22.044	1.739	4.496
2021	-	252.512	533	1.032	142.231	22.293	1.586	4.844
2022	-	208.327	493	833	151.181	20.157	2.590	3.788

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGÍA

Para mantener la consistencia de los datos utilizados en este proceso de actualización, y al igual que en la anterior serie INGEI 1990 – 2020, 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. No se consideró hasta el año 2020 dado que a partir del año 2014 la separación deja de ser estable. 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 3-32.

Tabla 3-33. 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 3-21.
- 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.

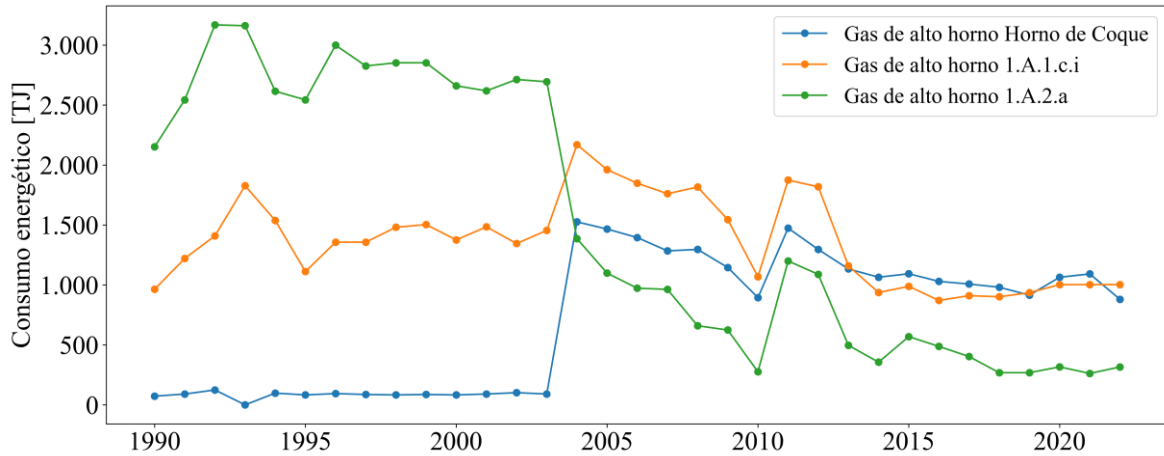


Figura 3-21. Tendencia de los consumos de gas de alto horno (TJ), datos originales

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.1c.i), dado que desde 2004 en adelante presentan tendencias similares hasta el 2018, junto con que esa serie se considera como un dato válido, respecto a los valores originales presentados en Hierro y acero (1.A.2.a). Con las modificaciones realizadas se obtienen las tendencias de la Figura 3-22.

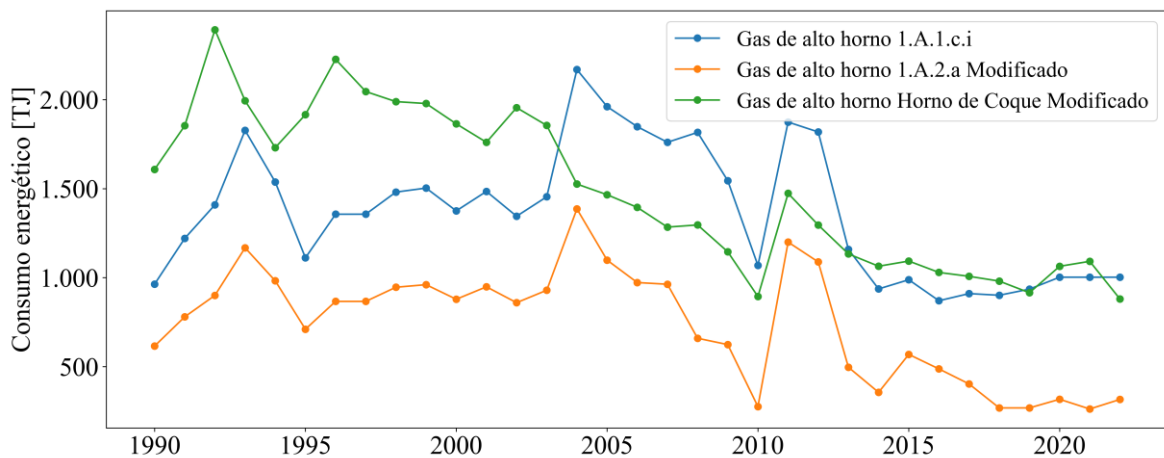


Figura 3-22. Tendencia corregida de los consumos de gas de alto horno (TJ).

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. Desde la versión INGEI 1990 - 2018, 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 querosenos, nafta) 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 usados para la estimación de las emisiones de GEI de la subcategoría fueron los expuestos en el apartado 3.2.3. del documento.

La Tabla 3-34 presenta los factores de emisión usados para el CO₂, mientras que la Tabla 3-35 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 3-34. 1.A.1. Industrias de la energía: resumen de factores de emisión de CO₂.

Combustible	Estado	Unidad	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020	2022
Gasolina para motor	Combustible líquido	kg CO ₂ /TJ	69.089	68.944	68.773	68.934	68.951	68.886	69.032	69.032
Queroseno para motor a reacción	Combustible líquido	kg CO ₂ /TJ	66.958	69.610	69.596	69.683	69.447	69.339	69.686	69.686
Otro queroseno	Combustible líquido	kg CO ₂ /TJ	71.900	71.900	71.900	71.900	71.900	71.900	71.900	71.900
Gas / Diésel oil	Combustible líquido	kg CO ₂ /TJ	72.013	72.033	72.301	70.820	71.012	70.950	71.049	71.049
Fuelóleo residual	Combustible líquido	kg CO ₂ /TJ	79.186	78.879	78.018	78.397	78.496	78.448	78.708	78.708
Gases licuados de petróleo	Combustible líquido	kg CO ₂ /TJ	63.100	63.100	63.100	63.100	63.100	63.100	63.100	63.100
Nafta	Combustible líquido	kg CO ₂ /TJ	73.300	73.300	73.300	73.300	73.300	73.300	73.300	73.300
Alquitrán	Combustible líquido	kg CO ₂ /TJ	80.700	80.700	80.700	80.700	80.700	80.700	80.700	80.700
Gas de refinería	Combustible líquido	kg CO ₂ /TJ	57.600	57.600	57.600	57.600	57.600	57.600	57.600	57.600
Otro carbón bituminoso	Combustible sólido	kg CO ₂ /TJ	94.600	94.600	94.600	94.600	94.600	94.600	94.600	94.600
Coque para horno de coque y coque de lignito	Combustible sólido	kg CO ₂ /TJ	97.831	97.831	97.831	97.831	97.831	97.831	97.831	97.831
Gas de fábrica de gas	Combustible sólido	kg CO ₂ /TJ	44.400	44.400	44.400	44.400	44.400	44.400	44.400	44.400
Gas de alto horno	Combustible sólido	kg CO ₂ /TJ	260.000	260.000	260.000	260.000	260.000	260.000	260.000	260.000
Gas natural	Combustible gaseoso	kg CO ₂ /TJ	56.100	56.100	56.100	56.100	56.100	56.100	56.100	56.100
Otros productos del petróleo (metanol)	Combustible gaseoso	kg CO ₂ /TJ	63.864	63.864	63.864	63.864	63.864	63.864	63.864	63.864
Madera y desechos de madera	Biomasa	kg CO ₂ /TJ	112.000	112.000	112.000	112.000	112.000	112.000	112.000	112.000

Combustible	Estado	Unidad	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020	2022
Biogás	Biomasa	kg CO ₂ /TJ	54.600	54.600	54.600	54.600	54.600	54.600	54.600	54.600

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA con base en las *Directrices del IPCC de 2006* (Cuadro 2.2; Capítulo 2; Volumen 2) y el estudio para la determinación de los FE de CO₂ país específico para los principales combustibles líquidos y coque de petróleo utilizados en Chile.

Tabla 3-35. 1.A.1 Industria de la energía: resumen factores de emisión de CH₄ y NO₂

Combustible	kg CH ₄ /TJ	kg N ₂ O/TJ
Gasolina para motor	3	1
Queroseno para motor a reacción	3	1
Otro queroseno	3	1
Gas / Diésel oil	3	1
Fuelóleo residual	3	1
Gases licuados de petróleo	1	0
Nafta	3	1
Alquitrán	3	1
Gas de refinería	1	0
Otro carbón bituminoso	1	2
Coque para horno de coque y coque de lignito	1	2
Gas de fábrica de gas	1	0
Gas de alto horno	1	0
Gas natural	1	0
Otros productos del petróleo (metanol)	30	4
Madera y desechos de madera	1	0
Biogás	3	1

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

El metanol, en Chile, se utiliza como un energético y no así en las *Directrices del IPCC de 2006*; en donde es 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. Dada esta situación, se calculó su factor de emisión utilizando el peso molecular del metanol (CH₃OH) y su poder calorífico de acuerdo con el siguiente procedimiento:

Ecuación 3-5. 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 3-6. 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:

- $FE_{CH_3OH} = 63.864,40 \left[\frac{kg}{TJ} \right]$
- $factor\ de\ oxidaci3n_{CH_3OH} = 1$
- $Peso\ molecular_{CO_2} = 44$
- $Peso\ molecular_C = 12$
- $Peso\ molecular_{CH_3OH} = 32$
- $Poder\ calorífico\ inferior^{45} = 21,53 \left[\frac{TJ}{Gg} \right]$
- $Contenido\ de\ Carbono_{CH_3OH} = 17.417,56 \left[\frac{kg}{TJ} \right]$

Sin embargo, como ya se mencion3 previamente, para la subcategoría 1.A.1.a. Producci3n de electricidad y calor como actividad principal se logr3 obtener un Factor de emisi3n país específico del CO₂ para el carb3n, gracias a la realizaci3n de un estudio que analiz3 los datos obtenidos a partir de la Ley 20.780, que establece un Impuesto Verde a las emisiones generadas por las centrales de generaci3n el3ctrica desde 2014. Mediante la resoluci3n 1053/2016, la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA), fiscaliza dicha determinaci3n de emisiones, en donde se incluye la caracterizaci3n de los combustibles que son utilizados. Adem3s, realizando una revisi3n bibliogr3fica, se obtuvo los valores de los factores de emisi3n de 2 paíes desde donde se importa carb3n, como son Indonesia y Nueva Zelandia, los cuales complementaron los valores obtenidos mediante medici3n directa. El resumen de dichos factores se presenta en la Tabla 3-36.

Tabla 3-36. Resumen de los Factores de emisi3n país específico y sus poderes caloríficos inferiores.

Combustible	País	Número de muestras	FE país específico	Incertidumbre	Intervalo de confianza inferior	Intervalo de confianza superior	Poder Calorífico Inferior
			kg/TJ		kg/TJ	kg/TJ	Kcal/kg
Carb3n bituminoso	Australia	24	92.456	1,61%	89.500	99.700	5.689
	Canadá	26	95.556	0,27%			5.381
	Colombia	308	93.960	0,23%			5.677
	Estados Unidos	14	93.328	1,86			6.099
Carb3n sub bituminoso	Chile (Mina Invierno)	34	99.140	0,37%	92.800	100.000	3.900
Carb3n bituminoso	Nueva Zelandia	-	93.821		89.500	99.700	6.303
Carb3n sub-bituminoso	Indonesia	-	100.575		92.800	100.000	4.468

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

De los datos, se observa que todos los valores obtenidos mediante mediciones se encuentran dentro del intervalo de confianza sugerido por las *Directrices del IPCC de 2006*, junto con presentar niveles de incertidumbres muy bajas (todas menores a 3%).

⁴⁵ Valor obtenido a partir de los antecedentes del BNE el cual asigna un poder calorífico superior de 5.413 kCal/kg.

Con lo anterior, se logra caracterizar sobre el 88% del carbón combustionado en Chile para producir electricidad para cada año de la serie temporal desde 1999 hasta 2022. Para los años previos a 1999 se extrapolaron los resultados antes mencionados. Para el resto del carbón no caracterizado, se utilizaron los Factores de Emisión por defecto. la desagregación por origen del carbón se obtuvo a partir de los datos entregados por aduanas, y se resumen en la Figura 3-23:

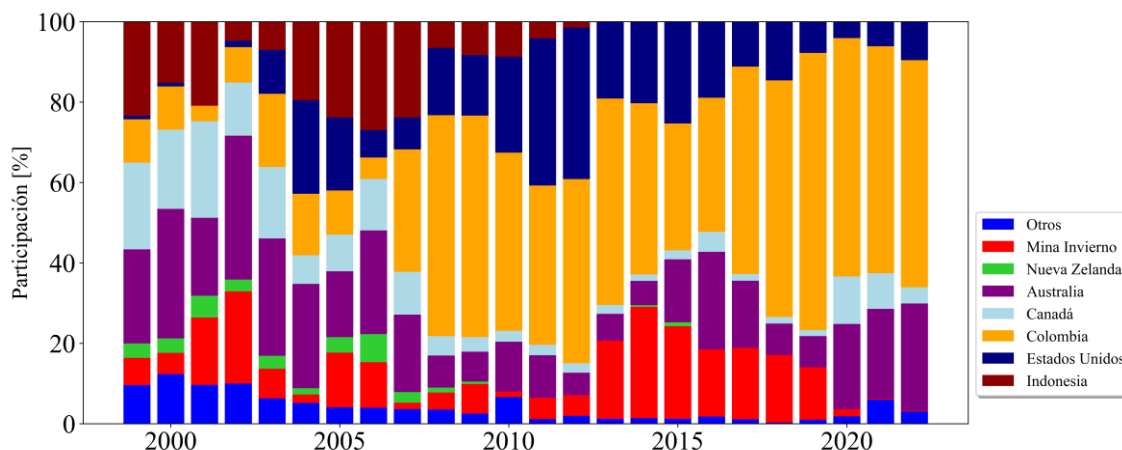


Figura 3-23. Distribución del origen del carbón importado en Chile, serie 1999-2022
Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

3.2.8.4 Incertidumbre

La incertidumbre combinada de esta subcategoría, para el 2022, se estimó para cada tipo de GEI. Un resumen de los resultados de la incertidumbre combinada se presenta en la Tabla 3-37.

Tabla 3-37. 1.A.1. Industrias de la energía: resumen de la incertidumbre combinada, 2022

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	CH ₄	1,0%	1,0%	70,0%	230,0%	70,0%	230,0%

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

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 tanto FE por defecto de las *Directrices del IPCC de 2006*, como los obtenidos del estudio mandato por la Subsecretaría de Medio Ambiente.

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. No se utilizó la incertidumbre del factor de emisión país específico del carbón dado que es inferior al valor de incertidumbre por defecto

3.2.8.5 Consistencia de la serie temporal

Para esta actualización se utilizaron los factores de emisión de CO₂ país específico para los principales combustibles líquidos y coque de petróleo utilizados en Chile.

Al analizar la serie temporal, se observa que en promedio los resultados tienden a la baja en comparación con la anterior actualización en un $-0,3\%$, esto se puede explicar en parte por la baja participación de los combustibles líquidos para esta subcategoría, en la cual en promedio para toda la serie alcanza un $10,8\%$.

Finalmente, 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.

3.2.9 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 3-38 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 3-38. 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.b. Metales no ferrosos	Grupo 272 y Clase 2732 de la ISIC	Cobre	En base a antecedentes entregados por COCHILCO, es posible desagregar el proceso de extracción de la mina, el corresponde a esta categoría.
1.A.2.c. Sustancias químicas	División 24 de la ISIC	Petroquímica	La fabricación de sustancias 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 2022, las emisiones de GEI de esta subcategoría contabilizaron 16.398,3 kt CO_2 eq (representando el 19,6 % de las emisiones de GEI del sector Energía), incrementándose en un 92,3 % desde 1990, y aumentando un 8,3% desde 2020 (Tabla 3-39 y Figura 3-24). Las principales causantes de las variaciones interanuales se deben a la minería del cobre, la desaparición de algunas industrias por la competencia y la industria no especificada que por su definición tiene alta variabilidad.

Tabla 3-39. 1.A.2. Industrias manufactureras y de la construcción: emisiones de GEI (kt CO_2 eq) por componente, serie 1990-2022

Componente	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2022
1.A.2.a. Hierro y acero	1.036,0	1.113,1	1.353,6	1.375,2	215,5	325,9	261,7	244,9
1.A.2.b. Metales no ferrosos	1.143,3	712,3	594,2	564,8	453,9	309,3	359,7	407,1
1.A.2.c. Sustancias químicas	140,7	147,7	472,0	478,5	585,7	169,4	346,8	343,3
1.A.2.d. Pulpa, papel e imprenta	703,1	1.119,2	919,8	835,6	808,6	1.248,2	1.544,4	1.450,6
1.A.2.e. Procesamiento de alimentos, bebidas y tabaco	364,1	468,8	470,3	414,6	262,7	292,4	198,7	151,2
1.A.2.f. Minerales no metálicos	562,1	914,5	745,4	847,5	899,3	791,7	831,4	852,7
1.A.2.i. Minería (con excepción de combustibles) y cantería	2.489,8	3.020,5	3.904,9	3.803,3	5.914,6	7.254,6	7.295,5	8.100,7
1.A.2.m. Industria no especificada	2.088,9	3.397,8	3.814,2	3.646,3	2.999,8	5.237,9	4.305,9	4.847,9
Total	8.528,1	10.893,9	12.274,5	11.965,8	12.140,2	15.629,2	15.144,1	16.398,3

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

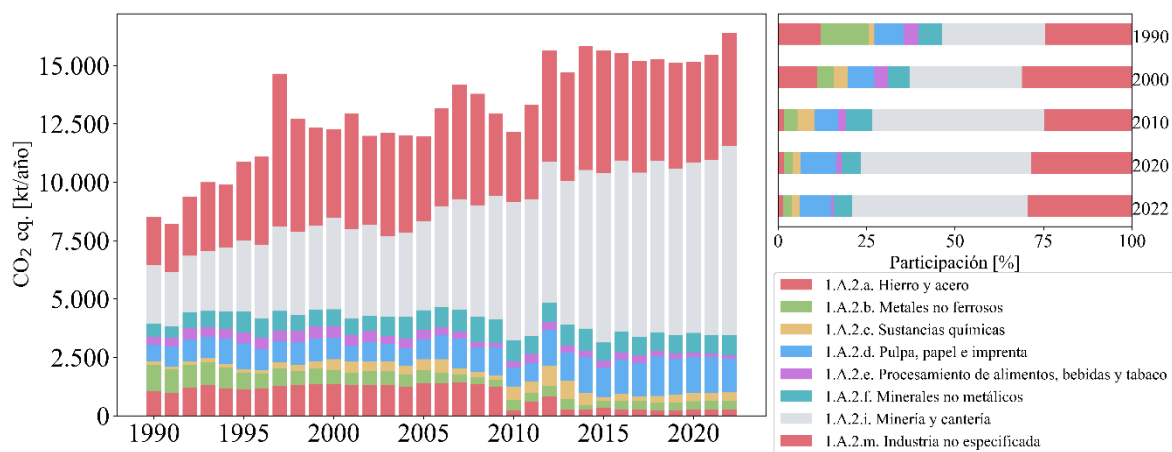


Figura 3-24. 1.A.2. Industrias manufactureras y de la construcción: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por componente, serie 1990-2022

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

La principal industria en Chile es la minería la que a su vez representa el 49,4 % 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 225,4 % desde 1990 y aumentando un 11 % desde 2020 (Tabla 3-40 y Figura 3-25).

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 2022 un 72,0% de la participación entre las distintas actividades mineras. Dicho impulso se debe en mayor medida al aumento de la demanda por este producto a nivel mundial, 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.), las 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 estudiada.

Tabla 3-40. 1.A.2.i. Minería (con excepción de combustibles) y cantería: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por subcomponente, serie 1990-2022

Subcomponente	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2022
Cobre	1.386,7	1.475,9	1.961,7	2.129,3	3.349,4	4.933,1	5.348,6	5.911,8
Salitre	241,0	233,7	350,1	304,8	271,8	372,0	377,6	380,1
Hierro	234,7	220,7	317,8	255,3	289,3	418,5	231,6	303,2
Minas varias	627,3	1.105,1	1.279,2	1.134,0	1.998,3	1.623,7	1.437,2	1.617,3
Total	2.489,8	3.035,4	3.908,9	3.823,4	5.908,8	7.347,3	7.395,0	8.212,4

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

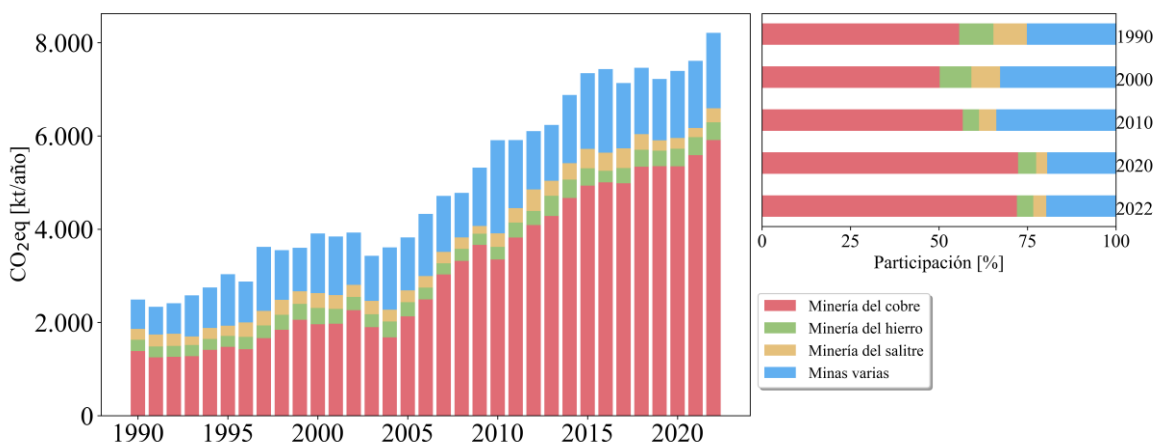


Figura 3-25. 1.A.2.i. Minería (con excepción de combustibles) y cantería: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por subcomponente, serie 1990-2022

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 aplicaron los métodos descritos en la sección 3.2.3 más los datos de actividad obtenidos en el BNE. La Tabla 3-41 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 la categoría no desagregada está incluida en Industria no especificada. En el caso de los Metales no ferrosos, que hasta la actualización de la serie INGEI 1990 - 2018 se consideraba dentro de Minería y cantería. Desde la anterior actualización (INGEI 1990 – 2020) se logró separar dicho consumo en base a los antecedentes entregados por la Comisión Chilena del Cobre (CHOCILCO).

Tabla 3-41. 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, CS, IE	T1, IE	D, IE	T1, IE	D, IE
1.A.2.a. Hierro y acero	T1	D, CS	T1	D	T1	D
1.A.2.b. Metales no ferrosos	T1	D, CS	T1	D	T1	D
1.A.2.c. Sustancias químicas	T1	D, CS	T1	D	T1	D
1.A.2.d. Pulpa, papel e imprenta	T1	D, CS	T1	D	T1	D
1.A.2.e. Procesamiento de alimentos, bebidas y tabaco	T1	D, CS	T1	D	T1	D
1.A.2.f. Minerales no metálicos	T1	D, CS	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, CS	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, CS	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

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 2022. La Tabla 3-42 y Tabla 3-43 presentan los valores correspondientes por tipo de combustible. En el Anexo 11.2.2 se encuentran los datos desagregados por componente.

Tabla 3-42. 1.A.2. Industrias manufactureras y de la construcción: datos de actividad del consumo de combustible (TJ) por combustible, serie 1990-2022 (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	28.503	40.204	2.364	-	20
1991	-	-	-	2.601	25.608	39.313	2.415	-	20
1992	-	-	-	2.239	27.511	45.052	2.841	-	32
1993	-	-	-	2.482	29.807	49.756	4.062	-	28
1994	-	-	-	1.850	31.877	52.897	3.531	-	28
1995	-	-	-	2.665	37.571	58.263	4.563	-	24
1996	-	-	-	6.523	44.045	48.802	4.789	-	28
1997	-	-	-	6.030	51.637	51.637	5.621	-	26
1998	-	-	-	5.867	48.264	44.588	9.232	-	28
1999	-	-	-	2.701	47.479	41.446	7.348	-	-
2000	-	-	-	2.398	45.654	38.374	6.436	199	-
2001	-	-	-	1.965	55.904	28.863	4.650	223	24
2002	-	-	-	1.623	53.414	24.682	6.089	227	24
2003	-	-	-	1.472	55.334	25.118	5.500	131	24
2004	-	-	-	1.063	58.809	18.974	5.619	65	19
2005	-	-	0	1.000	58.638	21.687	6.470	55	15
2006	-	-	-	1.044	73.370	25.069	6.864	4	0
2007	-	-	-	1.211	85.625	38.209	12.704	4	13
2008	-	-	-	1.137	87.055	40.768	13.033	66	12
2009	-	-	-	1.611	86.297	32.445	12.231	-	13
2010	-	-	930	1.289	82.181	27.377	12.871	-	9
2011	99	2	579	689	95.055	33.663	9.652	2	0
2012	-	2	609	1.040	115.279	33.598	12.580	-	-
2013	-	1	1.454	620	109.935	28.700	11.607	-	-
2014	-	24	5.635	1.031	117.029	27.191	19.143	-	0
2015	-	32	2.799	630	121.675	23.482	11.620	-	-
2016	-	27	1.731	443	125.358	18.843	11.385	-	-
2017	-	29	1.654	504	122.520	17.008	12.384	-	-
2018	-	22	1.578	579	121.685	19.163	12.206	-	-
2019	-	0	1.820	546	122.680	16.259	11.423	-	-
2020	-	3	1.868	578	121.320	17.567	12.588	-	-
2021	-	2	2.314	605	124.667	17.696	12.045	-	-
2022	-	2	1.229	504	134.488	15.480	13.339	-	-

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

Tabla 3-43. 1.A.2. Industrias manufactureras y de la construcción: datos de actividad del consumo de combustible (TJ) por combustible, serie 1990-2022 (2 de 2)

Años	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	
1990	18.799	7.056	2.498	616	2.785	31.780	-	-
1991	18.187	6.483	3.233	780	2.166	39.194	-	-
1992	21.377	8.265	3.599	901	2.653	49.046	-	-
1993	19.568	8.536	4.066	1.168	2.875	34.966	-	465
1994	15.292	7.315	4.039	982	2.918	35.932	-	2.577
1995	15.014	7.175	4.160	710	2.759	39.512	-	4.148
1996	18.066	7.016	4.303	867	2.824	42.392	-	2.554
1997	38.740	8.200	3.946	867	16.606	36.058	-	1.738
1998	23.523	9.546	3.651	946	15.456	47.216	-	1.492
1999	23.960	11.208	3.580	961	18.974	50.808	-	354
2000	20.437	8.858	3.629	879	35.993	57.035	-	56
2001	27.261	9.096	3.663	949	37.848	54.417	-	187
2002	21.110	9.037	3.448	860	40.290	56.850	-	95
2003	18.218	10.015	3.794	929	41.386	46.719	-	1.126
2004	19.944	6.690	3.129	1.386	44.963	55.635	-	1.254
2005	17.391	8.976	3.140	1.099	40.963	66.494	-	1.680
2006	17.568	9.617	3.360	973	38.062	71.275	-	960
2007	17.238	9.929	3.149	963	14.188	80.479	-	1.205
2008	15.608	9.774	2.822	660	6.057	85.313	-	1.849
2009	8.347	8.655	2.673	624	8.760	86.021	-	7.590
2010	9.745	716	1.975	276	20.435	75.688	-	6.506
2011	8.753	599	2.619	1.200	19.116	90.944	-	6.926
2012	7.373	3.397	2.462	1.088	27.936	91.953	-	7.796
2013	7.508	804	2.706	497	29.256	96.922	-	9.471
2014	10.253	285	2.122	356	24.939	109.095	71	9.678
20115	10.618	786	2.194	569	33.308	94.376	-	8.030
2016	9.385	872	2.409	487	36.357	98.220	-	8.357
2017	8.999	834	2.299	403	38.241	99.641	-	7.655
2018	6.647	1.306	2.443	268	41.290	103.258	28	7.554
2019	6.012	1.715	2.311	268	41.669	103.016	51	7.777
2020	5.844	1.112	2.345	317	41.026	101.586	30	8.375
2021	6.579	670	2.218	262	44.152	103.443	192	7.183
2022	7.683	715	1.622	316	49.149	112.013	115	7.350

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGÍA

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 refinería, 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 2000-2022, y se extrapola hasta 1990. Para esto último, se calcularon los factores de desagregación por combustible para los datos disponibles (2000-2022), 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 3-44).

Tabla 3-44. 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 :	90,6%	42,9%	93,8%
Cobre :	20,7%	1,3%	40,7%
Salitre :	7,8%	0,0%	1,3%
Hierro :	2,7%	0,0%	0,0%
Papel Y Celulosa :	4,8%	15,9%	44,9%
Siderurgia :	0,5%	0,0%	0,4%
Petroquímica :	0,9%	23,7%	0,0%
Cemento :	1,5%	0,0%	2,5%
Azúcar :	0,0%	0,0%	0,0%
Pesca :	10,9%	0,0%	0,2%
Industrias Varias :	31,1%	1,6%	3,2%
Minas Varias :	9,7%	0,3%	0,6%
Centros De Transformación :	9,3%	57,1%	6,2%
Electricidad :	0,0%	0,0%	6,2%
Gas y Coque :	0,1%	0,0%	0,0%
Petróleo y Gas Natural :	9,0%	39,4%	0,0%
Gas Natural - Metanol	0,2%	17,6%	0,0%

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA con base en BNE 2000-2022

Los consumos para autogeneración se sumaron a los consumos directos reportados por las diversas industrias incluyendo industria energética, manufacturera, minería y pesca.

Un cambio que se realizó 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 e industrias varias por combustible para los años entre 1997-2022, 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 3-45.

Tabla 3-45. 1.A.2. Industria manufacturera y de la construcción: factores para desagregación de Industrias y minas Varias entre 1990-1996.

Energéticos	Industrias varias	Minas varias
Diésel	63,25%	36,75%
Petróleos Combustibles	78,12%	21,88%
Querosene	94,37%	5,63%
Gas Licuado	98,24%	1,76%
Gas de Refinería	85,14%	14,86%
Carbón	100,00%	0,00%
Coque	95,74%	4,26%
Alquitrán	100,00%	0,00%
Gas Corriente	90,67%	9,33%
Gas Natural	100,00%	0,00%
Metanol	93,51%	6,49%
Leña y Biomasa	100,00%	0,00%

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

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 los expuestos en el apartado 3.2.3. del documento.

Desde la anterior actualización de la serie INGEI, ha sido posible obtener el valor del factor de emisión país específico para el CO₂ del Coque para horno de coque mediante los datos obtenidos por la única empresa Siderúrgica que opera en Chile que utiliza este energético. Las 34 muestras obtenidas van desde 1990 hasta el 2015, obteniéndose un valor promedio para el factor de emisión de 97.831 kg CO₂/TJ el cual se encuentra dentro del rango del intervalo de confianza entregado por las Directrices del IPCC de 2006, junto con presentar una incertidumbre del 1,21%.

La Tabla 3-46 presenta los combustibles con sus factores de emisión de CO₂; mientras que la Tabla 3-47 presenta los factores de emisión de CH₄ y N₂O.

Para los factores de emisión de CO₂ según país específico para los principales combustibles líquidos y coque de petróleo utilizados en Chile ver Tabla 3-8.

Tabla 3-46. 1.A.2. Industrias manufactureras y de la construcción: resumen factores de emisión de CO₂

Combustible	Estado	Unidad	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020	2022
Gasolina para motor	Combustible líquido	kg CO ₂ /TJ	69.089	68.944	68.773	68.934	68.951	68.886	69.032	69.032
Gasolina para la aviación	Combustible líquido	kg CO ₂ /TJ	70.000	70.000	70.000	70.000	70.000	70.000	70.000	70.000
Queroseno para motor a reacción	Combustible líquido	kg CO ₂ /TJ	66.958	69.610	69.596	69.683	69.447	69.339	69.686	69.686
Otro queroseno	Combustible líquido	kg CO ₂ /TJ	71.900	71.900	71.900	71.900	71.900	71.900	71.900	71.900
Gas / Diésel oil	Combustible líquido	kg CO ₂ /TJ	72.013	72.033	72.301	70.820	71.012	70.950	71.049	71.049
Fuelóleo residual	Combustible líquido	kg CO ₂ /TJ	79.186	78.879	78.018	78.397	78.496	78.448	78.708	78.708
Gases licuados de petróleo	Combustible líquido	kg CO ₂ /TJ	63.100	63.100	63.100	63.100	63.100	63.100	63.100	63.100
Nafta	Combustible líquido	kg CO ₂ /TJ	73.300	73.300	73.300	73.300	73.300	73.300	73.300	73.300
Alquitrán	Combustible líquido	kg CO ₂ /TJ	80.700	80.700	80.700	80.700	80.700	80.700	80.700	80.700
Gas de refinería	Combustible líquido	kg CO ₂ /TJ	57.600	57.600	57.600	57.600	57.600	57.600	57.600	57.600
Otro carbón bituminoso	Combustible sólido	kg CO ₂ /TJ	94.600	94.600	94.600	94.600	94.600	94.600	94.600	94.600
Coque para horno de coque	Combustible sólido	kg CO ₂ /TJ	97.831	97.831	97.831	97.831	97.831	97.831	97.831	97.831
Coque de Petróleo	Combustible sólido	kg CO ₂ /TJ	92.275	92.614	94.310	94.090	93.912	93.870	94.220	94.220
Gas de fábrica de gas	Combustible sólido	kg CO ₂ /TJ	44.400	44.400	44.400	44.400	44.400	44.400	44.400	44.400
Gas de alto horno	Combustible sólido	kg CO ₂ /TJ	260.00 0	260.00 0	260.00 0	260.00 0	260.00 0	260.00 0	260.00 0	260.00 0
Gas natural	Combustible gaseoso	kg CO ₂ /TJ	56.100	56.100	56.100	56.100	56.100	56.100	56.100	56.100
Madera y desechos de madera	Biomasa	kg CO ₂ /TJ	112.00 0	112.00 0	112.00 0	112.00 0	112.00 0	112.00 0	112.00 0	112.00 0

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) y el estudio para la determinación de los FE de CO₂ país específico para los principales combustibles líquidos y coque de petróleo utilizados en Chile.

Tabla 3-47.1.A.2. Industrias manufactureras y de la construcción: resumen factores de emisión de CH₄ y N₂O

Combustible	kg CH ₄ /TJ	kg N ₂ O/TJ
Gasolina para motor	3	0,6
Gasolina para la aviación	3	0,6
Queroseno para motor a reacción	3	0,6
Otro queroseno	3	0,6
Gas / Diésel oil	3	0,6
Fuelóleo residual	3	0,6
Gases licuados de petróleo	1	0,1
Nafta	3	0,6
Alquitrán	3	0,6
Gas de refinería	1	0,1
Otro carbón bituminoso	10	1,5
Coque para horno de coque	10	1,5
Coque de Petróleo	1	0,6
Gas de fábrica de gas	1	0,1
Gas de alto horno	1	0,1
Gas natural	1	0,1
Madera y desechos de madera	30	4

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA con base en las *Directrices del IPCC de 2006* (Cuadro 2.3; Capítulo 2; Volumen 2)

3.2.9.4 Incertidumbre

La incertidumbre combinada de esta subcategoría, para el 2022, 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 3-48.

Tabla 3-48. 1.A.2. Industrias manufactureras y de la construcción: resumen de la incertidumbre combinada, 2022

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

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 $\pm 15\%$ 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 de acuerdo con lo planteado en la sección 3.2.3 de la presente actualización.

Considerando que para esta actualización se utilizan tanto factores de emisión de CO₂ país específico como factores por defecto de las *Directrices del IPCC de 2006*; se aplicaron valores de incertidumbre inferidos, según sea el caso, 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 2.3; 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. No se utilizó la incertidumbre del factor de emisión país específico del coque mineral dado que es inferior al valor de incertidumbre por defecto.

3.2.9.5 Consistencia de la serie temporal

Para esta actualización, se utilizaron los factores de emisión de CO₂ país específico para los principales combustibles líquidos y coque de petróleo utilizados en Chile, los cuales generan algunas diferencias entre los resultados reportados para la anterior actualización con respecto a la actual.

Al analizar las series temporales, se observa que en promedio las emisiones históricas de esta subcategoría tienden a la baja en comparación a la serie INGEI 1990 - 2020 en un $-1,2\%$. Las principales diferencias entre series de emisiones ocurren entre los años 2011 a 2020, en donde las diferencias, en promedio, son cercanas al $2,5\%$.

Un dato relevante es el promedio de uso de combustibles líquidos entre los años 1990 a 2022 de esta subcategoría, en donde alcanza un $67,6\%$ del total de combustibles utilizados, por consiguiente, es esperable que un cambio en los factores de emisión de estos combustibles genere diferencia de emisiones entre series de tiempo reportadas.

Finalmente, la principal fuente de datos para la generación de este informe, 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.

3.2.10 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 3-49 se presentan sus componentes y respectivamente los sectores del BNE que lo comprenden.

Tabla 3-49. 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
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

Componente	Definición IPCC	Sector BNE	Observaciones
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

Es importante mencionar que, para esta edición del informe, se realizó una actualización en la metodología de medición de los factores de emisión (FE) de CO₂ país específico para los principales combustibles líquidos⁴⁶ utilizados en el país, estudio llevado a cabo durante el año 2022 a solicitud de la Subsecretaría de Medio Ambiente, con el fin de mejorar la obtención de datos de emisiones de GEI que reflejen de mejor forma la realidad nacional.

Este cambio de factores de emisión impacta en especial a esta subcategoría, la cual utiliza en mayor medida combustibles líquidos (99,9 % de los combustibles utilizados pertenecen a este tipo).

De acuerdo con los resultados del estudio realizado para el cálculo de los nuevos factores de emisión, se obtuvieron diferencias entre los anteriores factores de emisión de CO₂ por defecto con respecto a la nueva metodología, los cuales corresponden a una de diferencia de 381 Kg/TJ para Gasolina para motor; 2082 Kg/TJ para Queroseno para motor a reacción; 2458 Kg/TJ para Gas/Diésel oil; y un aumento de 1164 Kg/TJ para Fuelóleo residual.

3.2.10.2 Tendencia de las emisiones de GEI

La subcategoría Transporte es la principal subcategoría emisora del sector Energía para la serie INGEI 1990 - 2022, representando el 35,4 % de las emisiones de GEI del sector; y la principal fuente individual de emisiones a nivel nacional, representando el 27,0 % de las emisiones de GEI totales del país (excluyendo UTCUTS). En 2022, las emisiones de GEI de esta subcategoría contabilizaron 29.984,8 kt CO₂ eq, incrementándose en un 242,4 % desde 1990 y aumentando un 18,2 % desde 2020 (Tabla 3-50 y Figura 3-26).

La subcategoría presentó desde los años 2010 a 2019 un aumento constante en sus emisiones, posicionándose en este período como la segunda en cantidad de GEI para el sector Energía. Una de las variables que explica este crecimiento sostenido es el aumento del parque automotriz inducido por el mayor poder adquisitivo de la población y el mejoramiento de la infraestructura vial del país.

⁴⁶ Considera a Gas/Diésel oil, Fuelóleo residual, Gasolina para motor y Queroseno para motor a reacción.

Para el año 2020, la cantidad de emisiones provenientes de esta subcategoría disminuyó en un 11,2 % en comparación a las emitidas para el año 2019; la principal causa fue la pandemia global de COVID 19 y las medidas de contención adoptadas por el Estado de Chile, en las cuales se restringió la movilidad de personas, provocando un menor uso tanto de vehículos privados como de transporte público, resultado de ello se pudo apreciar mayoritariamente en la disminución de las emisiones de la componente 1.A.3.a Aviación civil, que presentó un 39,3 % menos de emisiones que lo reportado para el año anterior.

Para los años finales del periodo estudiado, se aprecia que durante el año 2021 la cantidad de emisiones aumentó en comparación al año previo (Figura 26) en un 9,7 %, destacando un mayor porcentaje de emisiones provenientes de 1.A.3.b transporte terrestre (88,4 % del total), mientras que la principal variación interanual de emisiones ocurrió con 1.A.3.a. Aviación civil, que registró un aumento de 39,9 %.

El contexto que explica el aumento en las emisiones, y en especial el crecimiento del componente transporte terrestre, fueron las ventas récords del sector automotriz, tanto para vehículos livianos y medianos, como para camiones y buses⁴⁷. Según lo reportado por la Asociación Nacional Automotriz de Chile (ANAC), el año 2021 fue el segundo mejor año en ventas del sector automotriz desde que se llevaba registro. Esto fue producto de la apertura gradual de la economía nacional y de una mayor adaptación tanto de hogares como de empresas en el contexto de COVID 19, observándose un aumento en la demanda interna explicado en parte por las medidas económicas de apoyo a hogares y empresas más los retiros parciales de los fondos previsionales⁴⁸.

Finalmente, durante el año 2022, la subcategoría 1.A.3. presentó un crecimiento interanual en sus emisiones de un 7,8 %, y al igual que en 2021, transporte terrestre fue el componente que más emisiones aportó con un 87,6 % del total. Esto se condice con lo reportado por ANAC, que señala que, a pesar del estancamiento en las ventas del sector automotriz al finalizar el año, se logró superar el número de unidades vendidas del año anterior⁴⁹. Los factores que permitieron esto fue el crecimiento de la economía en un 2,4 % más que el año 2021, con un desempeño decreciente para el final del año 2022. La actividad económica de transportes aumentó un 10,5 % interanualmente, en donde todas sus componentes mostraron cifras positivas, marcadas tanto por el levantamiento de las restricciones de movilidad nacional como internacional⁵⁰.

Tabla 3-50. 1.A.3. Transporte: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por componente, serie 1990-2022

Componente	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2022
1.A.3.a. Aviación civil	363,6	642,2	664,6	919,3	720,5	1.291,8	1.250,3	2.512,2
1.A.3.b. Transporte terrestre	7.139,3	10.989,9	14.006,9	14.755,3	17.775,4	21.299,8	22.281,8	26.278,7
1.A.3.c. Ferrocarriles	61,9	40,0	61,5	57,3	147,5	107,4	136,3	161,4
1.A.3.d. Navegación marítima y fluvial	709,2	1.132,3	1.063,0	1.743,5	430,8	499,1	779,0	150,7
1.A.3.e. Otro tipo de transporte	482,1	872,2	1.261,0	1.184,9	1.231,6	1.259,5	914,9	881,8
Total	8.756,1	13.676,5	17.057,1	18.660,3	20.305,8	24.457,7	25.362,3	29.984,8

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

⁴⁷ Informe del Mercado Automotor diciembre 2021. (Asociación Nacional Automotriz de Chile, 2024)

⁴⁸ Cuentas Nacionales de Chile 2018 – 2021. (Banco Central de Chile, 2024)

⁴⁹ Informe del Mercado Automotor diciembre 2022. (Asociación Nacional Automotriz de Chile, 2024)

⁵⁰ Cuentas Nacionales de Chile 2018 – 2022. (Banco Central de Chile, 2024)

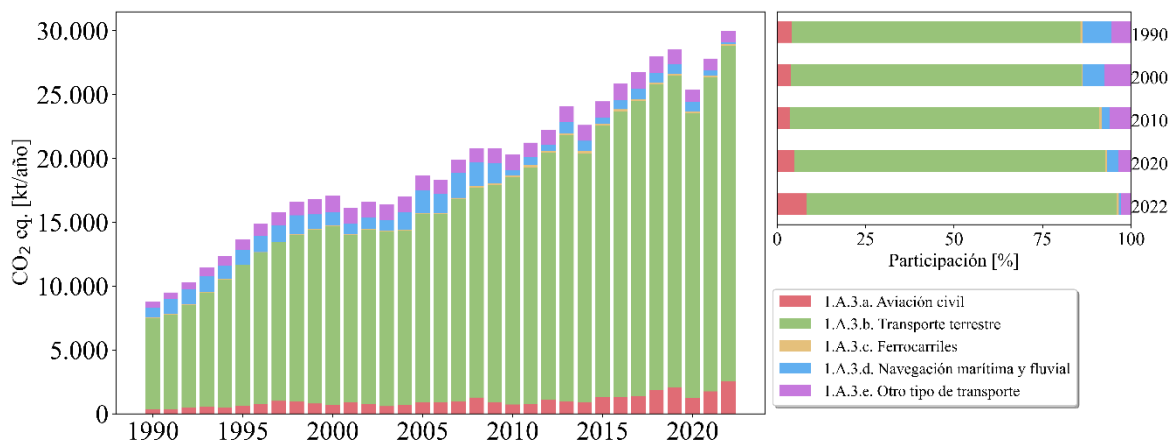


Figura 3-26. 1.A.3. Transporte: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por componente, serie 1990-2022.

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

Como Transporte terrestre es el componente principal de la subcategoría, fue desagregado por subcomponentes (Tabla 3-51 y Figura 3-27). Los principales subcomponentes corresponden a los automóviles y camiones para servicio pesado, quienes en conjunto suman el 77% de las emisiones de este subcomponente para el año 2022.

Tabla 3-51. 1.A.3.b. Transporte terrestre: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por subcomponente, serie 1990-2022

Subcomponente	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2022
1.A.3.b.i. Automóviles	2.352,2	3.645,7	4.584,4	4.176,8	5.642,8	7.496,7	7.737,5	10.196,0
1.A.3.b.ii. Camiones para servicio ligero	1.616,0	2.491,2	3.071,9	2.819,2	3.493,8	4.392,9	4.911,6	5.921,1
1.A.3.b.iii. Camiones para servicio pesado y autobuses	3.145,5	4.822,7	6.329,9	7.745,5	8.588,3	9.333,0	9.563,3	10.049,3
1.A.3.b.iv. Motocicletas	25,6	30,3	20,7	13,8	50,4	77,3	69,5	112,2
Total	7.139,3	10.989,9	14.006,9	14.755,3	17.775,4	21.299,8	22.281,8	26.278,7

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

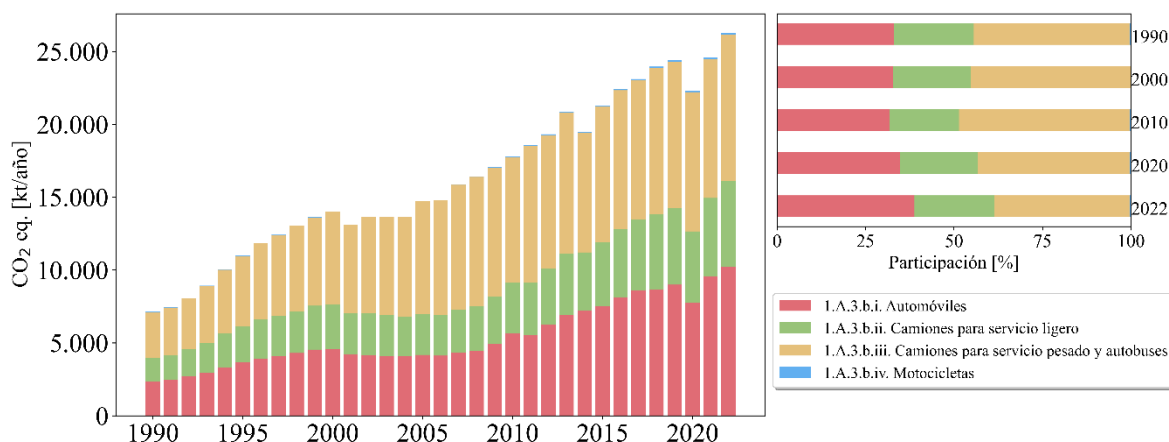


Figura 3-27. 1.A.3.b. Transporte terrestre: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por subcomponente, serie 1990-2022

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

Se observa el cambio en la participación de los catalizadores en los subcomponentes Automóviles (Tabla 3-52 y Figura 3-28) y Camiones para servicio ligero (Tabla 3-53 y Figura 3-29) 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 las tendencias globales de las Figura 3-28 y Figura 3-29, se aprecia que entre los años 2000 y 2006 sus emisiones se mantuvieron estables, debido al recambio vehicular ocurrido en dicho periodo, en donde el recambio tecnológico no solo afecto 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 2019, debido principalmente a un aumento del parque automotriz dado las mejores condiciones económicas en el país junto con una mayor oferta de vehículos económicos provenientes de China desde el año 2007.

En el 2020 hay una caída en las emisiones debido a las restricciones de movilidad asociadas a la pandemia mundial causada por el COVID 19, lo cual impidió el libre desplazamiento durante varios meses tanto en vías áreas como terrestres. Para 2021 y 2022, se observa una reanudación y reactivación generalizada de la actividad de transporte tras el levantamiento de las restricciones de movilidad producto de la pandemia mundial, lo que se traduce en la recuperación de la tendencia al alza de las emisiones previa al 2020 y en un aumento de las emisiones de un 31,8 % para 1.A.3.b.i. automóviles y de un 20,6 % para 1.A.3.b.ii. camiones para servicio ligero entre los años 2020 a 2022.

Tabla 3-52. 1.A.3.b.i. Automóviles: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por tecnología catalítica, serie 1990-2022

Tecnología	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2022
1.A.3.b.i.1. Automóviles de pasajeros con catalizadores tridireccionales	-	295,8	1.820,7	2.709,9	4.979,1	7.149,1	7.576,8	10.052,1
1.A.3.b.i.2. Automóviles de pasajeros sin catalizadores tridireccionales	2.352,2	3.349,9	2.763,7	1.467,0	663,7	347,6	160,6	143,9
Total	2.352,2	3.645,7	4.584,4	4.176,8	5.642,8	7.496,7	7.737,5	10.196,0

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

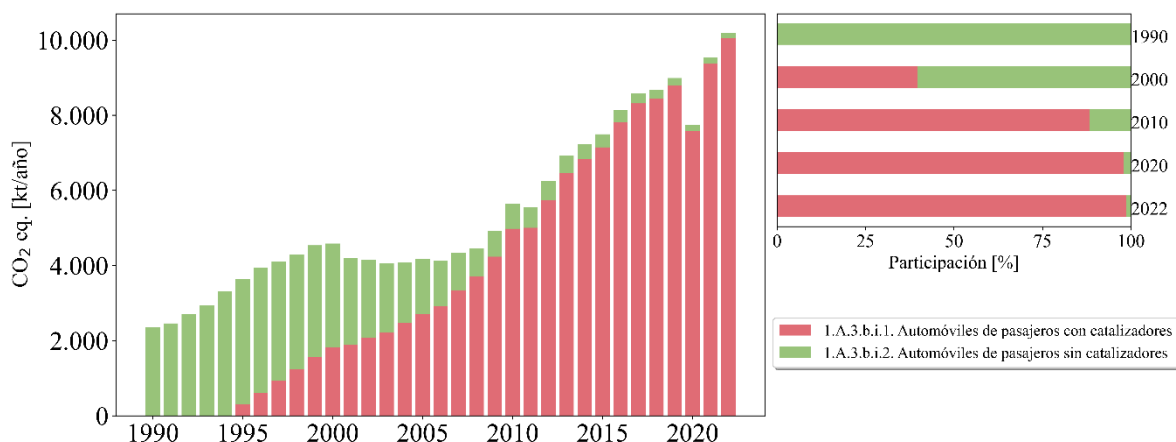


Figura 3-28. 1.A.3.b.i. Automóviles: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por tecnología catalítica, serie 1990-2022

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

Tabla 3-53. 1.A.3.b.ii. Camiones para servicio ligero: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por tecnología catalítica, serie 1990-2022

Tecnología	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2022
1.A.3.b.ii.1. Camiones para servicio ligero con catalizadores tridireccionales	-	160,6	1.096,8	1.813,0	3.041,4	4.109,7	4.729,4	5.737,8
1.A.3.b.ii.2. Camiones para servicio ligero sin catalizadores tridireccionales	1.616,0	2.330,6	1.975,1	1.006,2	452,4	283,2	182,2	183,3
Total	1.616,0	2.491,2	3.071,9	2.819,2	3.493,8	4.392,9	4.911,6	5.921,1

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

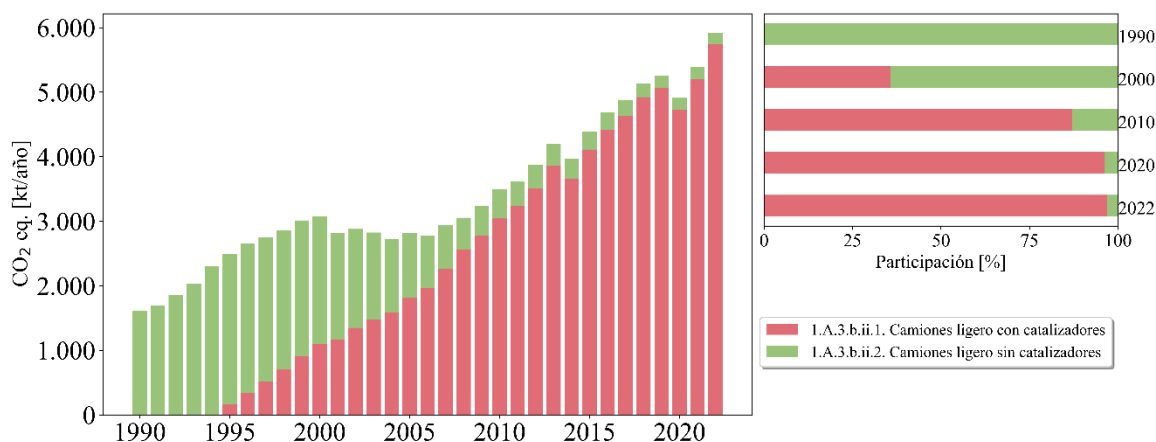


Figura 3-29. 1.A.3.b.ii. Camiones para servicio ligero: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por tecnología catalítica, serie 1990-2022

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 56,8 % en 2022, mientras que Gasolina para motor correspondió a un 42,9 % (Tabla 3-54 y Figura 3-30).

Si bien la tendencia del consumo histórico de combustibles para Transporte terrestre ha sido al alza con sus consiguientes emisiones, se observan períodos de bajas, en específico para los años 2014 y 2020. Para el año 2014, la baja en las emisiones fue provocada por una disminución en el consumo de Diésel, asociado principalmente a la desaceleración económica del periodo junto con el alza de precio del diésel para ese año, mientras que para el año 2020 la baja en las emisiones provino tanto de la disminución del consumo de Diésel como de Gasolina producto de las restricciones de movilización en el contexto de Pandemia COVID 19, las cuales restringieron la movilidad del transporte público como privado.

Tabla 3-54. 1.A.3.b. Transporte terrestre: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por combustible, serie 1990-2022

Componente	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2022
Gas / Diésel oil	2.944,5	4.894,9	6.840,6	8.258,4	9.166,5	11.550,8	13.061,8	14.074,8
Gasolina para motor	3.782,4	5.444,8	6.307,0	5.564,6	7.407,4	8.410,8	7.875,4	10.620,5
Otros	13,9	15,5	19,5	78,2	62,5	157,1	55,4	68,2
Total	6.740,8	10.355,2	13.167,1	13.901,1	16.636,5	20.118,6	20.992,6	24.763,5

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

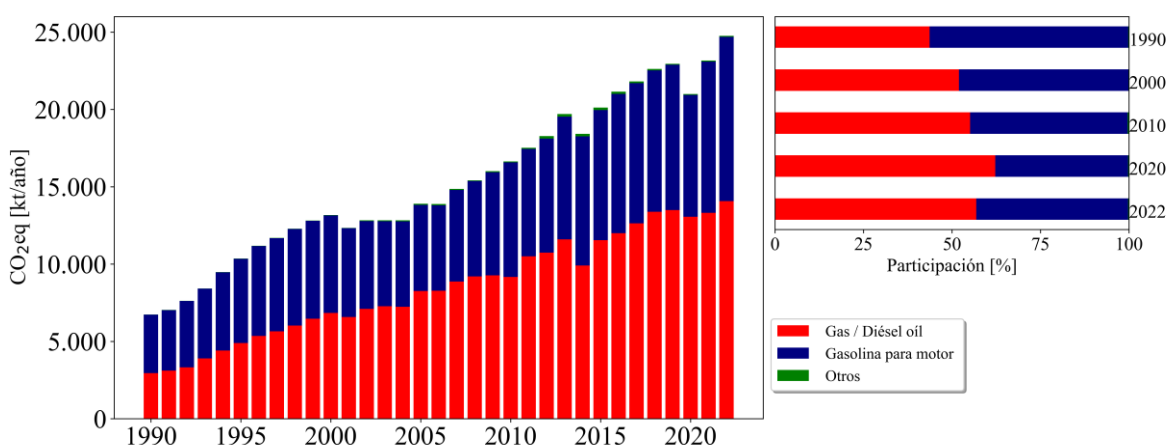


Figura 3-30. 1.A.3.b. Transporte terrestre: emisiones de CO₂ (kt CO₂ eq) por combustible, serie 1990-2022

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 aplicaron los métodos señalados en la sección 3.2.3 usando datos de actividad desde el BNE.

La Tabla 3-55 resume los métodos que se usaron para cada componente de la subcategoría.

En el caso particular del componente Transporte terrestre se aplicaron métodos de nivel 1 y nivel 2 para el CO₂, y el método nivel 2 para el CH₄ y el 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.

Desde la anterior actualización, se estiman las emisiones asociadas al componente Transporte por gasoductos mediante un supuesto agregado por la Agencia Federal de Medio Ambiente (UBA) de Alemania; indicando que, si no se cuentan con los datos asociados a este tipo de transporte, es posible asumir que el 0,005 % de la oferta total de gas natural podría ser utilizado como símil de las emisiones para esta componente.

Tabla 3-55. 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, CS, IE, NE	T1, T2, IE, NE	D, IE, NE	T1, T2, IE, NE	D, IE, NE
1.A.3.a. Aviación civil	T1	D, CS	T1	D	T1	D
1.A.3.a.i. Aviación internacional (tanques internacionales)	T1	D, CS	T1	D	T1	D
1.A.3.a.ii. Aviación de cabotaje	T1	D, CS	T1	D	T1	D
1.A.3.b. Transporte terrestre	T1, NE	D, CS, NE	T2, NE	D, NE	T2, NE	D, NE
1.A.3.b.i. Automóviles	T1	D, CS	T2	D	T2	D
1.A.3.b.i.1. Automóviles de pasajeros con catalizadores tridireccionales	T1	D, CS	T2	D	T2	D
1.A.3.b.i.2. Automóviles de pasajeros sin catalizadores tridireccionales	T1	D, CS	T2	D	T2	D
1.A.3.b.ii. Camiones para servicio ligero	T1	D, CS	T2	D	T2	D
1.A.3.b.ii.1. Camiones para servicio ligero con catalizadores tridireccionales	T1	D, CS	T2	D	T2	D
1.A.3.b.ii.2. Camiones para servicio ligero sin catalizadores tridireccionales	T1	D, CS	T2	D	T2	D
1.A.3.b.iii. Camiones para servicio pesado y autobuses	T1	D, CS	T2	D	T2	D
1.A.3.b.iv. Motocicletas	T1	D, CS	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, CS	T1	D	T1	D
1.A.3.d. Navegación marítima y fluvial	T1	D, CS	T1	D	T1	D
1.A.3.d.i. Navegación internacional (tanques internacionales)	T1	D, CS	T1	D	T1	D
1.A.3.d.ii. Navegación marítima y fluvial nacional	T1	D, CS	T1	D	T1	D
1.A.3.e. Otro tipo de transporte	T1, IE	D, CS, IE	T1, IE	D, IE	T1, IE	D, IE
1.A.3.e.i. Transporte por gasoductos	T1	D, CS	T1	D	T1	D
1.A.3.e.ii. Todo terreno	T1	D, CS	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 el 2022, presentados por tipo de combustible en la Tabla 3-56. En el Anexo 11.2.2 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), de la Cámara Marítima y Portuaria de Chile (2017) y del Servicio Nacional de Aduana.

Tabla 3-56. 1.A.3. Transporte: datos de actividad del consumo de combustible (TJ) por combustible, serie 1990-2022

Años	Gasolina para motor	Gasolina aviación	Queroseno para motor a reacción	Otro queroseno	Gas/Diésel oil	Fuelóleo residual	Gases licuados de petróleo	Otro carbón bituminoso
	TJ	TJ	TJ	TJ	TJ	TJ	TJ	TJ
1990	61.009	190	5.190	-	54.002	1.056	-	4
1991	63.140	254	4.353	-	62.812	806	-	-
1992	69.618	254	6.206	-	64.941	1.687	-	-
1993	73.460	254	7.823	-	73.334	3.191	-	-
1994	82.511	254	6.243	-	81.501	539	-	-
1995	89.268	254	8.874	-	88.485	2.222	-	-
1996	95.613	286	10.224	-	98.946	622	-	-
1997	99.458	286	13.894	-	103.489	1.061	-	-
1998	103.512	317	13.432	-	108.321	4.080	-	-
1999	105.625	254	11.094	-	112.327	2.748	-	-
2000	105.915	222	9.253	-	115.842	3.959	-	-
2001	96.890	222	12.355	-	112.513	351	-	-
2002	96.328	222	10.388	-	120.246	1.616	-	-
2003	93.573	159	8.144	-	121.344	2.279	-	-
2004	94.013	190	9.555	178	123.977	5.633	72	2
2005	93.794	186	11.736	608	140.516	9.806	26	0
2006	92.581	191	12.059	61	137.886	8.472	105	3
2007	99.069	179	13.567	91	147.381	12.250	163	2
2008	102.323	188	17.935	55	153.171	12.002	135	1
2009	111.020	224	12.247	274	152.829	8.991	259	-
2010	122.598	335	9.920	20	143.006	2.819	283	-
2011	114.390	149	10.226	31	160.871	7.242	598	-
2012	121.510	829	14.796	32	163.758	5.556	1.378	-
2013	130.390	775	13.018	197	179.879	7.813	1.551	-
2014	136.485	140	12.789	124	153.534	8.218	1.414	-
2015	137.185	242	18.130	289	178.280	3.558	1.397	-
2016	146.495	231	17.819	238	186.501	5.796	1.292	-
2017	147.410	259	19.002	294	197.467	5.400	1.069	-
2018	147.573	262	25.698	380	208.907	4.706	888	-
2019	150.954	234	28.853	327	210.830	3.962	513	-
2020	124.925	201	17.574	327	207.245	858	582	-
2021	153.851	121	24.754	302	201.928	3.972	738	-
2022	165.864	143	35.610	258	212.838	947	746	-

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGÍA

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, aparejos 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 1990-2022, por lo que los datos fueron proyectados. Para la serie 2008-2022 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 3-57).

Tabla 3-57. Tasa de crecimiento anual por tipo de vehículo

Tipo de vehículo	Tasa de crecimiento anual
Automóviles	2 %
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 3-7. Transporte: proyección del parque vehicular desde 1994 hasta 2008 por tipo de vehículo para separar catalítico y no catalítico.

$$P_{tipo\ veh\acute{u}culo, a\tilde{n}o} = P_{tipo\ veh\acute{u}culo, a\tilde{n}o+1} - \left(\frac{P_{tipo\ veh\acute{u}culo, 2008}}{14} \right)$$

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

Donde:

- $P_{tipo\ veh\acute{u}culo, a\tilde{n}o}$ 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 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 3-8. 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 3-58. 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	1107
CAMION LIGERO	1266	1922
MOTO	238	238
TODO TERRENO	2843	4995
BUSES	6460	11350
CAMIONES	18918	24294
AGRÍCOLA ⁵¹	949	1667

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.

⁵¹ El consumo asociado a la combustión del sector agrícola se presenta en el componente 1.A.4.c.ii

- 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 11.2.3.

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 los expuestos en la sección 3.2.3. La Tabla 3-59 presenta los factores de emisión usados para el CO₂, mientras que la Tabla 3-60 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 3-59. 1.A.3. Transporte: resumen factores de emisión de CO₂

Combustible	kg CO ₂ /TJ							
	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020	2022
Gasolina para motor	69.089	68.944	68.773	68.934	68.951	68.886	69.032	69.032
Gasolina para la aviación	69.300	69.300	69.300	69.300	69.300	69.300	69.300	69.300
Queroseno para motor a reacción	66.958	69.610	69.596	69.683	69.447	69.339	69.686	69.686
Otro queroseno	71.900	71.900	71.900	71.900	71.900	71.900	71.900	71.900
Gas/Diésel oil	72.013	72.301	72.301	70.820	71.012	70.950	71.049	71.049
Fuelóleo residual	79.186	78.879	78.018	78.397	78.496	78.448	78.708	78.708
Gases licuados de petróleo	63.100	63.100	63.100	63.100	63.100	63.100	63.100	63.100
Otro carbón bituminoso	96.100	96.100	96.100	96.100	96.100	96.100	96.100	96.100
Gas natural	56.100	56.100	56.100	56.100	56.100	56.100	56.100	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) y el estudio para la determinación de los FE de CO₂ país específico para los principales combustibles líquidos y coque de petróleo utilizados en Chile.

Tabla 3-60. 1.A.3. Transporte: resumen factores de emisión de CH₄ y el N₂O

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

Combustible	Subcomponente	kg CH ₄ /TJ	kg N ₂ O/TJ
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
Otro carbón bituminoso	Ferrocarriles	2,0	1,5

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 2022, 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 3-61.

Tabla 3-61. 1.A.3. Transporte: resumen de la incertidumbre combinada, 2022

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%
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

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 tanto FE por defecto de las *Directrices del IPCC de 2006*, como los obtenidos del estudio mandato por la Subsecretaría de Medio Ambiente. 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 de los combustibles con FE por defecto es de $\pm 5\%$ (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.

3.2.10.5 Consistencia de la serie temporal

Para esta actualización, se utilizaron los factores de emisión de CO₂ país específico para los principales combustibles líquidos y coque de petróleo utilizados en Chile, los cuales generan algunas diferencias entre los resultados reportados para la anterior actualización con respecto a la actual.

Al analizar las series temporales, se observa que en promedio las emisiones históricas de esta subcategoría tienden a la baja en comparación a la serie INGEI 1990 - 2020 en un -2,1 %. Las principales diferencias entre series de emisiones ocurren para los años 1990 con un -5,3 % y el período 2016 a 2020, en donde las diferencias, en promedio, son cercanas al 2,7 %.

Un dato relevante es el promedio de uso de combustibles líquidos entre los años 1990 a 2022 de esta subcategoría, tal como se señaló al inicio del análisis, estos abarcan un 99,8 % del total de combustibles utilizados, por consiguiente, es esperable que un cambio en los factores de emisión de estos combustibles genere diferencia de emisiones entre series de tiempo reportadas.

Finalmente, la principal fuente de datos para la generación de este informe, 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.

3.2.11 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 3-62 se presentan sus componentes y respectivamente los sectores del BNE que lo comprenden.

Tabla 3-62. 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

Componente	Definiciones IPCC	Sector BNE	Observaciones
			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 2022, las emisiones de GEI de esta subcategoría contabilizaron 8.313,6 kt CO₂ eq (representando el 9,8 % de las emisiones de GEI del sector Energía), incrementándose en un 98,9 % desde 1990 y aumentando un 8,7% desde 2020 (Tabla 3-63 y Figura 3-30

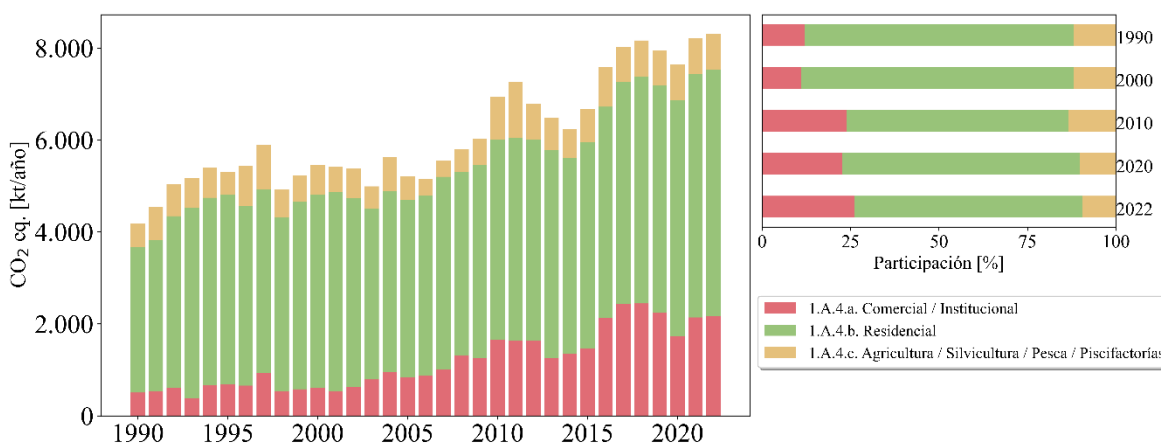


Figura 3-31).

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.

Desde el año 2015 hasta 2018 (Figura 3-31), se observa un alza en las emisiones emitidas por la subcategoría con un promedio de 7,1 %.

En 2020, se registra una disminución interanual en las emisiones de GEI, con una cuantía de -3,9 %, producto de la pandemia global de COVID 19. La mayor incidencia en esta caída de emisiones provino desde el componente Comercial/Institucional, el cual registro una disminución de -23,0 %.

Finalmente, para los años 2021 y 2022, se registró un aumento en las emisiones, con niveles cercanos al período prepandemia, en donde se registraron crecimientos interanuales de GEI en un 7,4 % y 1,2% respectivamente. En 2021, el incremento de las emisiones estuvo incidido por el componente Comercial/Institucional que registro un alza interanual de 23,4 %, producto del

levantamiento de las restricciones de movilidad asociadas a la contención del COVID 19 y por consecuente un aumento de la actividad comercial.

Tabla 3-63. 1.A.4. Otros sectores: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por componente, serie 1990-2022

Componente	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2022
1.A.4.a. Comercial / Institucional	505,4	685,6	609,1	829,1	1.661,4	1.473,4	1.732,5	2.166,2
1.A.4.b. Residencial	3.172,4	4.125,7	4.206,3	3.871,7	4.342,7	4.477,1	5.126,8	5.361,5
1.A.4.c. Agricultura / Silvicultura / Pesca / Piscifactorías	501,8	500,8	650,6	516,2	934,9	717,7	786,4	786,0
Total	4.179,7	5.312,1	5.466,0	5.217,0	6.939,0	6.668,2	7.645,7	8.313,6

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

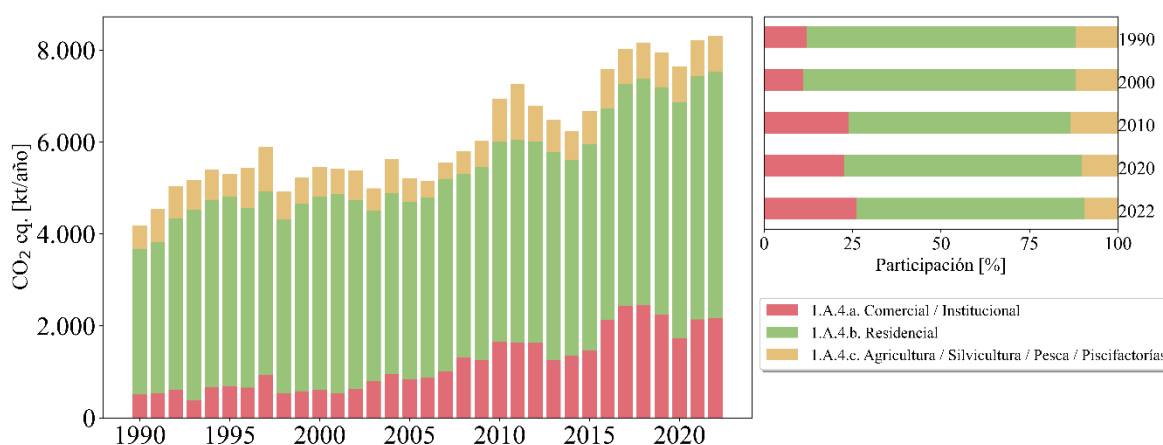


Figura 3-31. 1.A.4. Otros sectores: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por componente, serie 1990-2022

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

En lo que respecta al componente Residencial por tipo de combustible (Tabla 3-64 y Figura 3-32), el Gas licuado de petróleo es el de mayor importancia con un 52,8 %, seguido de un 24,4 % de Gas natural, 12,9 % de Biomasa (incluye solo emisiones de CH₄ y N₂O), 6,5 % de Queroseno, mientras que no se registraron consumos para el componente Otros combustibles.

Tabla 3-64. 1.A.4.b. Residencial: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por combustible, serie 1990-2022.

Componente	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2022
GLP	1.272,3	1.803,9	2.312,7	2.055,1	2.245,2	2.144,0	2.602,3	2.788,2
Biomasa (CH ₄ y N ₂ O)	610,1	630,6	662,4	707,5	777,1	830,2	856,1	863,8
Gas natural	304,9	356,9	570,8	813,4	922,3	1.040,3	1.206,8	1.287,4
Queroseno	355,2	580,2	494,0	179,0	307,2	384,3	385,1	344,8
Otros	585,1	711,1	108,8	54,8	21,9	4,4	0,0	0,0
Total	3.127,7	4.082,7	4.148,7	3.809,7	4.273,6	4.403,1	5.050,4	5.284,3

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

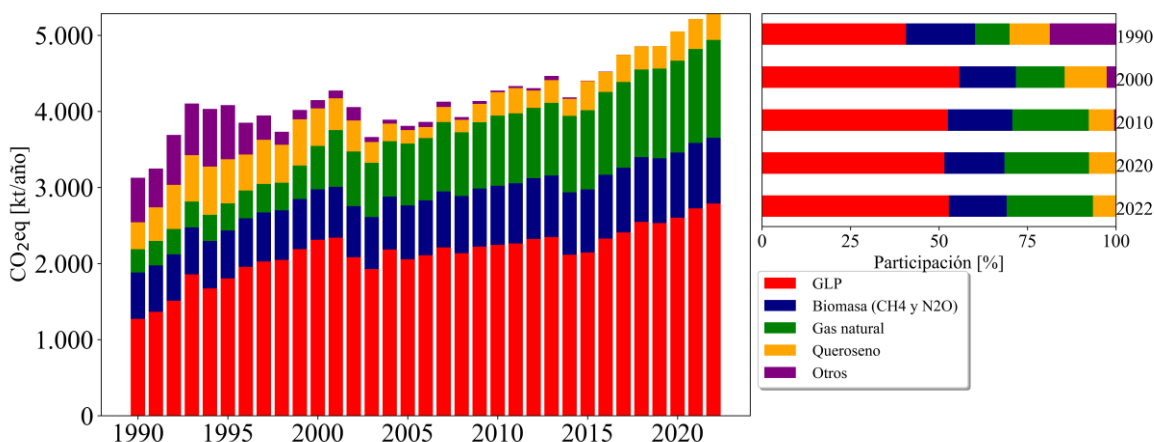


Figura 3-32. 1.A.4.b. Residencial: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por combustible, serie 1990-2022.
Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

3.2.11.3 Aspectos metodológicos de la subcategoría

Para la estimación de las emisiones de GEI de esta subcategoría se aplicaron los métodos señalados en la sección 3.2.3 usando datos de actividad desde el BNE.

La Tabla 3-65 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 3-65. 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, CS, IE	T1, IE	D, IE	T1, IE	D, IE
1.A.4.a. Comercial/Institucional	T1	D, CS	T1	D	T1	D
1.A.4.b. Residencial	T1	D, CS	T1	D	T1	D
1.A.4.c. Agricultura/Silvicultura/Pesca/Piscifactorías	T1, IE	D, CS, 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, CS	T1	D	T1	D
1.A.4.c.iii. Pesca (combustión móvil)	T1	D, CS	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

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 3-66 y Tabla 3-67 presenta los valores correspondientes. En el Anexo 11.2.2 se encuentran los datos desagregados por componente.

Tabla 3-66. 1.A.4. Otros sectores: datos de actividad del consumo de combustible (TJ) por combustible, serie 1990-2022 (1 de 2)

Años	Gasolina para motor	Gasolina para la aviación	Otro queroseno	Gas / Diésel oil	Fuelóleo residual	Gases licuados de petróleo
	TJ	TJ	TJ	TJ	TJ	TJ
1990	208	-	5.708	7.402	3.500	23.381
1991	205	-	7.100	6.792	4.001	25.107
1992	214	-	9.323	8.298	4.526	27.760
1993	215	-	9.785	9.437	4.152	29.376
1994	228	-	10.174	10.159	5.020	30.752
1995	217	-	9.323	8.915	4.713	33.152
1996	204	-	7.589	4.643	6.722	35.959
1997	185	-	8.055	8.132	10.341	36.898
1998	168	-	6.925	4.809	4.097	36.811
1999	143	-	8.464	3.278	5.266	39.716
2000	120	-	6.833	5.659	5.175	40.944
2001	96	-	5.938	4.332	4.212	40.715
2002	81	-	5.668	5.268	4.809	38.088
2003	61	-	3.838	2.704	3.055	38.763
2004	50	-	3.488	9.023	3.414	39.407
2005	44	-	2.533	6.278	2.257	38.256
2006	38	-	2.046	5.835	2.218	37.828
2007	28	-	2.801	6.492	2.816	40.013
2008	24	-	2.295	10.902	4.961	38.617
2009	29	-	3.468	9.182	5.333	40.946
2010	123	-	4.293	19.065	6.840	40.994
2011	25	22	4.676	21.067	8.503	42.048
2012	29	63	3.195	19.641	3.715	43.346
2013	31	65	4.175	18.775	2.346	39.314
2014	26	30	3.165	14.300	2.243	39.018
2015	30	7	5.413	17.430	2.696	39.267
2016	27	4	3.780	26.395	3.392	44.194
2017	12	3	5.103	27.418	3.634	46.589
2018	17	4	4.325	28.724	3.617	48.404
2019	14	0	4.108	25.333	3.119	49.057
2020	15	-	5.360	20.157	2.898	49.226
2021	10	26	5.484	23.404	2.856	52.892
2022	12	11	4.841	22.726	2.788	54.768

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

Tabla 3-67. 1.A.4. Otros sectores: datos de actividad del consumo de combustible (TJ) por combustible, serie 1990-2022 (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	2.069	6.300	80.834	-
1991	3.667	2.133	6.621	81.332	-
1992	3.631	2.348	6.877	81.668	-
1993	2.748	2.419	7.024	83.050	-
1994	2.565	2.513	7.088	84.559	-
1995	1.591	2.574	7.374	86.081	-
1996	3.556	2.690	7.566	87.694	-
1997	2.841	2.672	8.169	74.111	-
1998	1.336	2.849	7.913	74.894	-
1999	1.030	1.794	9.567	75.650	-
2000	529	1.617	12.540	76.227	-
2001	422	1.579	16.380	76.729	-
2002	720	1.225	16.674	77.348	-
2003	326	1.240	17.533	78.587	-
2004	1.259	816	18.254	80.046	-

Años	Otro carbón bituminoso	Gas de fábrica de gas	Gas natural	Madera y desechos de madera	Otro biogás
	TJ	TJ	TJ	TJ	TJ
2005	683	797	19.627	81.392	-
2006	584	1.036	19.910	83.024	-
2007	463	1.150	21.654	84.644	-
2008	463	960	19.754	86.243	-
2009	346	882	21.182	87.831	-
2010	204	569	21.518	89.402	-
2011	101	675	21.244	91.019	-
2012	99	755	21.507	92.077	-
2013	97	674	22.239	93.223	-
2014	132	379	24.633	97.580	3
2015	135	294	24.823	95.994	618
2016	66	168	25.343	97.444	185
2017	71	53	27.074	98.298	350
2018	65	48	26.909	98.376	298
2019	-	-	27.703	98.550	406
2020	69	-	26.774	101.323	510
2021	69	-	28.582	100.944	303
2022	69	-	29.956	101.359	476

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 los expuestos en la sección 3.2.3. La Tabla 3-68 presenta los factores de emisión usados para el CO₂, mientras que la Tabla 3-69 muestra los factores de emisión usados para el CH₄ y el N₂O.

Tabla 3-68. 1.A.4. Otros Sectores: resumen factores de emisión de CO₂

Combustible	kg CO ₂ /TJ							
	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020	2022
Gasolina para motor	69.089	68.944	68.773	68.934	68.951	68.886	69.032	69.032
Gasolina para aviación	69.300	69.300	69.300	69.300	69.300	69.300	69.300	69.300
Otro queroseno	71.900	71.900	71.900	71.900	71.900	71.900	71.900	71.900
Gas/Diésel oil	72.013	72.301	72.301	70.820	71.012	70.950	71.049	71.049
Fuelóleo residual	79.186	78.879	78.018	78.397	78.496	78.448	78.708	78.708
Gases licuados de petróleo	63.100	63.100	63.100	63.100	63.100	63.100	63.100	63.100
Otro carbón bituminoso	94.600	94.600	94.600	94.600	94.600	94.600	94.600	94.600
Gas de fábrica de gas	44.400	44.400	44.400	44.400	44.400	44.400	44.400	44.400
Gas natural	56.100	56.100	56.100	56.100	56.100	56.100	56.100	56.100
Madera y desechos de madera	112.000	112.000	112.000	112.000	112.000	112.000	112.000	112.000
Biogás	54.600	54.600	54.600	54.600	54.600	54.600	54.600	54.600

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) y el estudio para la determinación de los FE de CO₂ país específico para los principales combustibles líquidos y coque de petróleo utilizados en Chile.

Tabla 3-69. 1.A.4. Otros Sectores: resumen factores de emisión de CH₄ y el N₂O

Combustible	kg CH ₄ /TJ	kg N ₂ O/TJ
Gasolina para motor	10	0,6
Gasolina para aviación	10	0,6
Otro queroseno	10	0,6
Gas/Diésel oil	10	0,6
Fuelóleo residual	10	0,6
Gases licuados de petróleo	5	0,1
Otro carbón bituminoso*	300 (10)	1,5

Combustible	kg CH ₄ /TJ	kg N ₂ O/TJ
Gas de fábrica de gas	5	0,1
Gas natural	5	0,1
Madera y desechos de madera	300	4
Biogás	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 3.2.1, 3.4.1, 3.5.2, 3.6.4; Cap. 3; Vol. 2) y (Cuadro 1.4; Cap. 1; Vol. 2) y el estudio para la determinación de los FE de CO₂ país específico para los principales combustibles líquidos y coque de petróleo utilizados en Chile.

3.2.11.4 Incertidumbre

La incertidumbre combinada de esta subcategoría, para el 2022, 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 3-70.

Tabla 3-70. 1.A.4. Otros sectores: resumen de la incertidumbre combinada, 2022

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

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* y del estudio de FE país específico para los principales combustibles líquidos usados en el país y coque de petróleo. 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 la actualización INGEI 2022 (serie 1990-2022), se utilizaron los factores de emisión de CO₂ país específico para los principales combustibles líquidos y coque de petróleo utilizados en Chile, los cuales generan algunas diferencias entre los resultados reportados para la anterior actualización INGEI 2020 (serie 1990-2020) con respecto a la actual.

Al analizar las series temporales, se observa que en promedio las emisiones históricas de esta subcategoría tienden a al alza en comparación a INGEI 2020 en un 3,8 %.

La subcategoría presenta una alta emisión de GEI para la INGEI 2022 derivados del uso de combustibles líquidos, los cuales representan en promedio un 78,4 % del total de combustibles utilizados para el período estudiado. En base a esto, es esperable que un cambio en los factores de emisión de estos combustibles genere diferencia de emisiones entre series de tiempo reportadas.

Finalmente, la principal fuente de datos para la generación de este informe, 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.

3.2.12 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 3-71 se presentan sus componentes y respectivamente los sectores del BNE que lo comprenden.

Tabla 3-71. 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 2020, las emisiones de GEI de esta subcategoría contabilizaron 2,5 kt CO₂ eq disminuyendo en un 86 % desde 2010 y en un 39 % desde 2018 (Tabla 3-72 y Figura 3-33).

Tabla 3-72 1.A.5. No especificado: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por componente, serie 1990-2022

Componente	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2022
1.A.5.a Estacionaria	-	-	-	-	-	-	-	-
1.A.5.b Móvil	-	-	-	-	18,1	111,9	2,5	10,6
Total	-	-	-	-	18,1	111,9	2,5	10,6

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

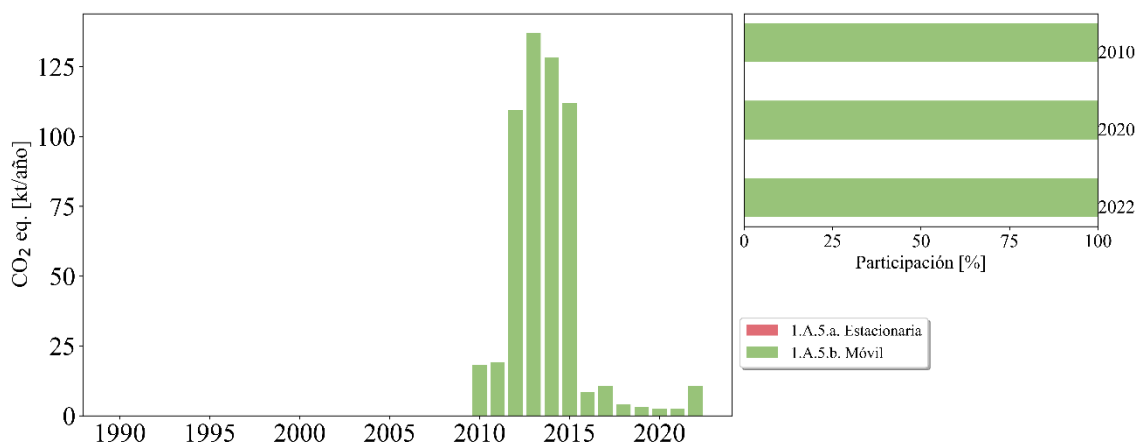


Figura 3-33 1.A.5. No especificado: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por componente, serie 1990-2022
Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

3.2.12.3 Aspectos metodológicos de la subcategoría

Para la estimación de las emisiones de GEI de esta subcategoría se aplicaron los métodos señalados en la sección 3.2.3 usando datos de actividad desde el BNE. La Tabla 3-73 resume los métodos que se aplicaron para cada componente de la subcategoría.

Tabla 3-73. 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, NO	D, CS, NO	T1, NO	D, NO	T1, NO	D, NO
1.A.5.a Estacionaria	NO	NO	NO	NO	NO	NO
1.A.5.b Móvil	T1	D, CS	T1	D	T1	D
1.A.5.b.i Móvil (componente aviación)	T1	D, CS	T1	D	T1	D
1.A.5.b.ii Móvil (componente marítimo y fluvial)	NO	NO	NO	NO	NO	NO
1.A.5.b.iii Móvil (otro)	NO	NO	NO	NO	NO	NO
1.A.5.c Operaciones multilaterales	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.

3.2.12.3.1 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 2022. La Tabla 3-74 presenta los valores correspondientes. En el Anexo 11.2.2 se encuentran los datos desagregados por componente.

Tabla 3-74. 1.A.5. No especificado: datos de actividad del consumo de combustible (TJ) por combustible, serie 1990-2022

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
2011	273
2012	1.573
2013	1.953
2014	1.850
2015	1.604
2016	123
2017	151
2018	58
2019	44
2020	35
2021	36
2022	151

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 los expuestos en la sección 3.2.3. La Tabla 3-75 presenta los factores de emisión usados para el CO₂, mientras que la Tabla 3-76 muestra los factores de emisión usados para el CH₄ y el N₂O.

Tabla 3-75. 1.A.5. No especificado: resumen de factor de emisión de CO₂

Combustible	kg CO ₂ /TJ							
	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020	2022
Queroseno para motor a reacción	66.958	69.610	69.596	69.683	69.447	69.339	69.686	69.686

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA con base en el estudio para la determinación de los FE de CO₂ país específico para los principales combustibles líquidos y coque de petróleo utilizados en Chile.

Tabla 3-76. 1.A.5. No especificado: resumen factores de emisión para el CH₄ y el N₂O.

Combustible	kg CH ₄ /TJ	kg N ₂ O/TJ
Queroseno para motor a reacción	5	20

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)

3.2.12.4 Incertidumbre

La incertidumbre combinada de esta subcategoría, para el 2022, 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 3-77.

Tabla 3-77. 1.A.5. No especificado: resumen de la incertidumbre combinada, 2022

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

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* y del estudio de FE país específico para los principales combustibles líquidos usados en el país y coque de petróleo. 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 la actualización INGEI 2022 (serie 1990-2022), se utilizaron los factores de emisión de CO₂ país específico para los principales combustibles líquidos y coque de petróleo utilizados en Chile, los cuales generan algunas diferencias entre los resultados reportados para la anterior actualización INGEI 2020 (serie 1990-2020) con respecto a la actual.

Al analizar las series temporales, se observa que en promedio las emisiones históricas de esta subcategoría tienden a la baja en comparación a INGEI 2020 en un 3,1 %.

La subcategoría presenta emisión de GEI para INGEI 2022 derivados del uso de queroseno para motor a reacción, el cual es un combustible líquido. Considerando que el factor de emisión de CO₂ cambió en comparación con INGEI 2020, es razonable que un cambio en el factor de emisión de este combustible genere diferencia de emisiones entre series de tiempo reportadas.

Finalmente, la principal fuente de datos para la generación de este informe, 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.

3.3 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 2022, las emisiones de GEI de ambas subcategorías contabilizaron 1.085,3 kt CO₂ eq (el 1,3 % de las emisiones de GEI del sector Energía), disminuyendo en un 61,8 % desde 1990 y aumentando en un 14,3 % desde 2020 (Tabla 3-78 y Figura 3-34). Las principales causantes del aumento en las emisiones es el aumento de la Producción y refinación de gas natural y distribución de este combustible.

Tabla 3-78. 1.B. Emisiones fugitivas de combustibles: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por subcategoría, serie 1990-2022

Subcategoría	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2022
1.B.1. Combustibles sólidos	958,1	324,5	147,7	100,9	79,5	199,5	20,8	8,6
1.B.2. Petróleo y gas natural	1.886,4	1.304,2	1.630,9	1.207,9	1.304,0	944,8	928,8	1.076,7
Total	2.844,6	1.628,7	1.778,6	1.308,7	1.383,5	1.144,3	949,7	1.085,3

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

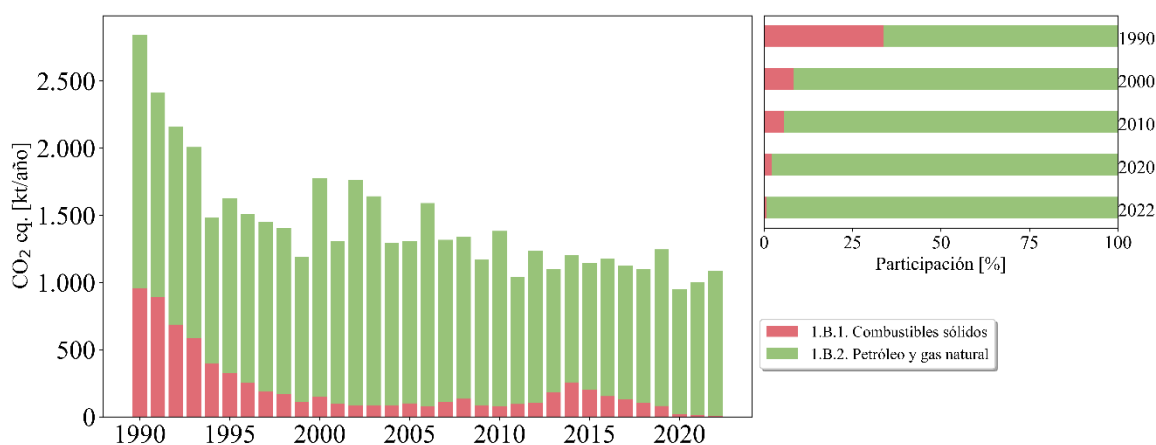


Figura 3-34. 1.B. Emisiones fugitivas de combustibles: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por subcategoría, serie 1990-2022

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

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 3-79 se observa un resumen de los métodos aplicados por subcategoría y por tipo de GEI.

Tabla 3-79. 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

3.3.3 Combustibles sólidos (1.B.1.)

3.3.3.1 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 3-80 se presentan los componentes y su relación con los datos nacionales que lo comprenden.

Tabla 3-80. 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 faja 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 MINENERGÍA

3.3.3.2 Tendencia de las emisiones de GEI

En 2022, las emisiones de GEI de la subcategoría contabilizaron 8,6 kt CO₂ eq, disminuyendo en un 991 % desde 1990 y en un 58,7 % desde 2020 (Tabla 3-81 y Figura 3-35).

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 3-81. 1.B.1. Combustibles sólidos: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por componente, serie 1990-2022

Componente	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2022
1.B.1.a. Minería carbonífera y manejo del carbón	958,1	324,5	147,7	100,9	79,5	199,5	20,8	8,6
Total	958,1	324,5	147,7	100,9	79,5	199,5	20,8	8,6

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGÍA

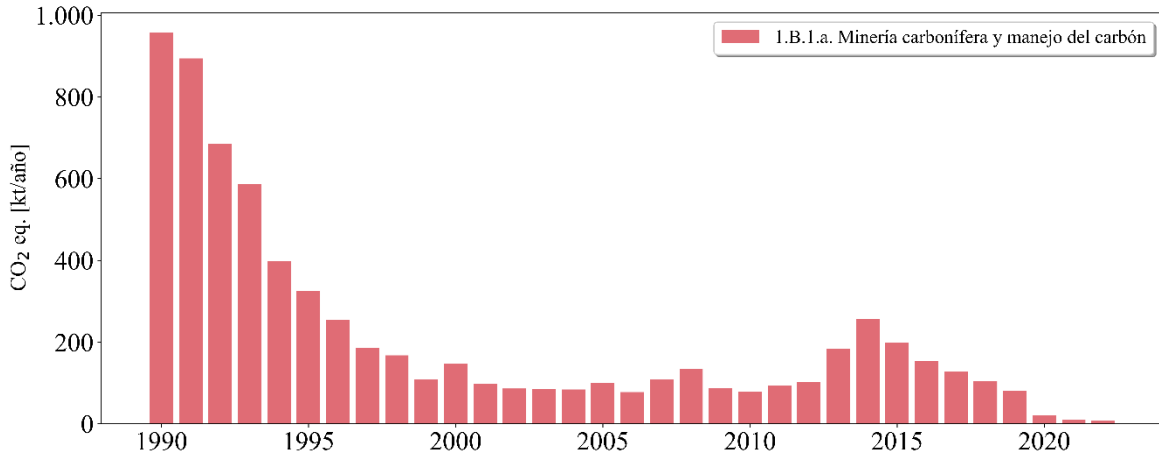


Figura 3-35. 1.B.1. Combustibles sólidos: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por componente, serie 1990-2022

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

3.3.3.3 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 3-9) usando datos de actividad desde la producción de carbón de anuarios de la Comisión Chilena del Cobre (COCHILCO, 2017) y factores de emisión por defecto.

Ecuación 3-9. 1.B.1. Combustibles sólidos: emisiones de gases de efecto invernadero procedentes de las emisiones fugitivas Nivel 1

$$Emisión_{GEI} = Producción\ de\ carbón_{tipo\ de\ mina} \times Factor\ de\ emisión_{GEI}$$

Fuente: Ecuación 4.1.1; Capítulo 4; Volumen 2; *Directrices del IPCC de 2006*

Donde:

- **Emisión_{GEI}** = emisiones de un gas de efecto invernadero (kt).
- **Producción de carbón** = cantidad de carbón producido (t).
- **Factor de emisión** = factor de emisión por defecto para un gas de efecto invernadero (kg/TJ)
- **Poder Calorífico Inferior del carbón** = 27.800 TJ/t⁵²

La Tabla 3-82 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 3-82. 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

⁵² Valor obtenido del Poder calorífico indicado por el BNE, transformado a TJ y traspasado de PCS a PCI.

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. 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		
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 MINENERGÍA

3.3.3.3.1 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 3-83 presenta los valores correspondientes.

Tabla 3-83. 1.B.1. Combustibles sólidos: datos de actividad de producción de carbón (t) por componente, serie 1990-2022

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	1.597.430	1.131.870	1.131.870
1991	1.477.720	1.477.720	1.262.850	1.262.850
1992	1.133.200	1.133.200	974.890	974.890
1993	971.800	971.800	821.270	821.270
1994	629.540	629.540	1.033.420	1.033.420
1995	502.980	502.980	981.940	981.940
1996	377.030	377.030	1.067.050	1.067.050
1997	250.870	250.870	1.162.300	1.162.300
1998	225.880	225.880	1.046.515	1.046.515
1999	167.060	167.060	340.290	340.290
2000	240.600	240.600	262.750	262.750
2001	145.270	145.270	422.820	422.820
2002	129.940	129.940	321.690	321.690
2003	136.500	136.500	210.780	210.780
2004	140.190	140.190	98.120	98.120
2005	138.056	138.056	594.309	594.309
2006	98.673	98.673	575.071	575.071
2007	184.122	184.122	103.871	103.871
2008	212.375	212.375	321.417	321.417
2009	118.305	118.305	517.769	517.769
2010	106.018	106.018	512.775	512.775
2011	131.430	131.430	522.672	522.672

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
2012	141.120	141.120	570.594	570.594
2013	144.313	144.313	2.758.131	2.758.131
2014	194.747	194.747	3.973.438	3.973.438
2015	157.017	157.017	3.004.709	3.004.709
2016	114.887	114.887	2.410.284	2.410.284
2017	70.281	70.281	2.425.109	2.425.109
2018	38.021	38.021	2.256.656	2.256.656
2019	41.385	41.385	1.565.169	1.565.169
2020	25.778	25.778	165.784	165.784
2021	18.541	18.541		
2022	14.950	14.950		

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

3.3.3.3.2 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 3-84 presenta los factores de emisión usados.

Tabla 3-84. 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)

3.3.3.4 Incertidumbre

La incertidumbre combinada de esta subcategoría, para el 2022, se presenta en la Tabla 3-85.

Tabla 3-85. 1.B.1. Combustibles sólidos: resumen de la incertidumbre combinada, 2022

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

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).

3.3.3.5 Consistencia de la serie temporal

Para mantener la consistencia de la serie temporal 1990-2022 se usaron los mismos factores de emisión y la misma fuente de datos de actividad, tanto estadísticos como paramétricos.

3.3.4 Petróleo y gas natural (1.B.2.)

3.3.4.1 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 3-86 se presentan los componentes y su relación con los datos nacionales que lo comprenden.

Tabla 3-86. 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

3.3.4.2 Tendencia de las emisiones de GEI

En 2022, las emisiones de GEI de la subcategoría contabilizaron 1.076,7,6 kt CO₂ eq, disminuyendo en un 42,9 % desde 1990 y aumentando en un 15,9 % desde 2020 (Tabla 3-87 y Figura 3-36).

Tabla 3-87. 1.B.2. Petróleo y gas natural: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por componente, serie 1990-2022

Componente	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2022
1.B.2.a. Petróleo	848,3	430,6	283,2	133,4	215,1	360,6	83,3	113,0
1.B.2.b. Gas natural	1.038,2	873,7	1.347,7	1.074,5	1.088,9	584,2	845,5	963,7
Total	1.886,4	1.304,2	1.630,9	1.207,9	1.304,0	944,8	928,8	1.076,7

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

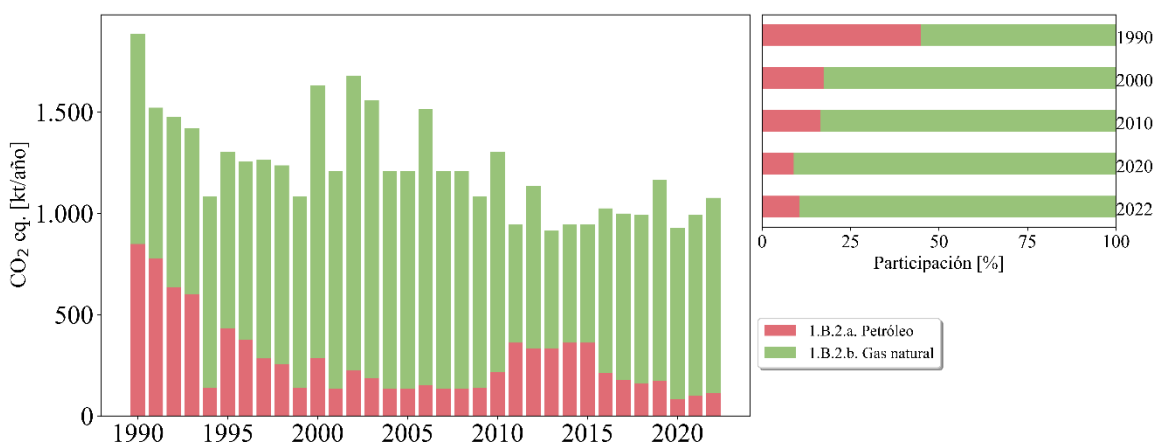


Figura 3-36. 1.B.2. Petróleo y gas natural: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por componente, serie 1990-2022.

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 3-10) usando datos de actividad desde el BNE y factores de emisión por defecto.

Ecuación 3-10. 1.B.2. Petróleo y gas natural: emisiones de gases de efecto invernadero procedentes de las emisiones fugitivas Nivel 1

$$Emisión_{GEI,industria} = actividad_{industria} \times Factor\ de\ emisión_{GEI,industria}$$

Fuente: Ecuación 4.2.1; Capítulo 4; Volumen 2; Directrices del IPCC de 2006

Donde:

- $Emisión_{GEI,industria}$ = emisiones por gas de efecto invernadero y por industria (kt).
- $actividad_{industria}$ = valor de la actividad por industria (unidades de actividad).
- $Factor\ de\ emisión_{GEI,industria}$ = factor de emisión por defecto por gas de efecto invernadero y por industria (kt/unidades de actividad).

La Tabla 3-88 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 3-88. 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	T1, NA, NE	D, 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.

3.3.4.3.1 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 2022, 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 3-89 y Tabla 3-90 presentan los valores correspondientes.

Tabla 3-89. 1.B.2. Petróleo y gas natural: datos de actividad de producción de Petróleo (miles de m³) por componente, serie 1990-2022

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
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
2019	197,03	197,03	197,03	11.132,72	11.132,72
2020	91,06	91,06	91,06	8.713,44	8.713,44
2021	107,85	107,85	107,85	9.388,19	9.388,19
2022	126,50	126,50	126,50	8.440,02	8.440,02

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

Tabla 3-90. 1.B.2. Petróleo y gas natural: datos de actividad de producción de *Gas natural* (millones de m³) por componente, serie 1990-2022

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	Millones m ³	Millones m ³	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
2019	1.526,30	1.526,30	1.526,30	5.995,31	5.995,31	5.995,31
2020	1.168,97	1.168,97	1.168,97	5.739,76	5.739,76	5.739,76
2021	1.191,94	1.191,94	1.191,94	6.280,55	6.280,55	6.280,55
2022	1301,48	1301,48	1301,48	6.688,09	6.688,09	6.688,09

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 y las características socioeconómicas del país (en vías de desarrollo). La Tabla 3-91 y la Tabla 3-92 presentan los factores de emisión utilizado.

Tabla 3-91. 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 3-92. 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)

3.3.4.4 Incertidumbre

La incertidumbre combinada de esta subcategoría, para el 2022, ha sido estimada para cada componente y para cada GEI. Un resumen de los resultados de la incertidumbre combinada se presenta en la Tabla 3-93.

Tabla 3-93. 1.B.2. Petróleo y gas natural: resumen de la incertidumbre combinada, 2022

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

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 ± 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* ± 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.

3.3.4.5 Consistencia de la serie temporal

Para mantener la consistencia de la serie temporal 1990-2020 se usaron los mismos factores de emisión y la misma fuente de datos de actividad, tanto estadísticos como paramétricos.

3.3.5 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 Nuevos cálculos

Los cambios metodológicos y el refinamiento de los datos de actividad son parte esencial de la mejora de la calidad de los INGEI; pero cuando esto ocurre, se requiere recalcularse 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 por cada categoría presente en el sector Energía.

3.5.1 Nuevos cálculos en el sector Energía

En el sector Energía (Figura 3-37), las emisiones de GEI del sector en el INGEI 1BTR presentan una disminución promedio entre 1990 y 2020 de 500,8 kt CO₂ eq en comparación con el INGEI 5IBA.

Si bien no se evidencian mayores cambios en la tendencia, existe una disminución a lo largo de la serie respecto a la versión INGEI 5IBA.

El año que presenta una mayor diferencia corresponde a 1996, en donde se alcanzaron las 1.485,3 kt CO₂ eq. La principal causa de diferencia es la implementación de los nuevos factores de emisión de CO₂ país específico para los principales combustibles líquidos utilizados en el país y coque de petróleo. Las otras modificaciones que afectaron a la serie están relacionadas con la variación de correcciones menores que se hicieron en los diferentes componentes dentro del sector.

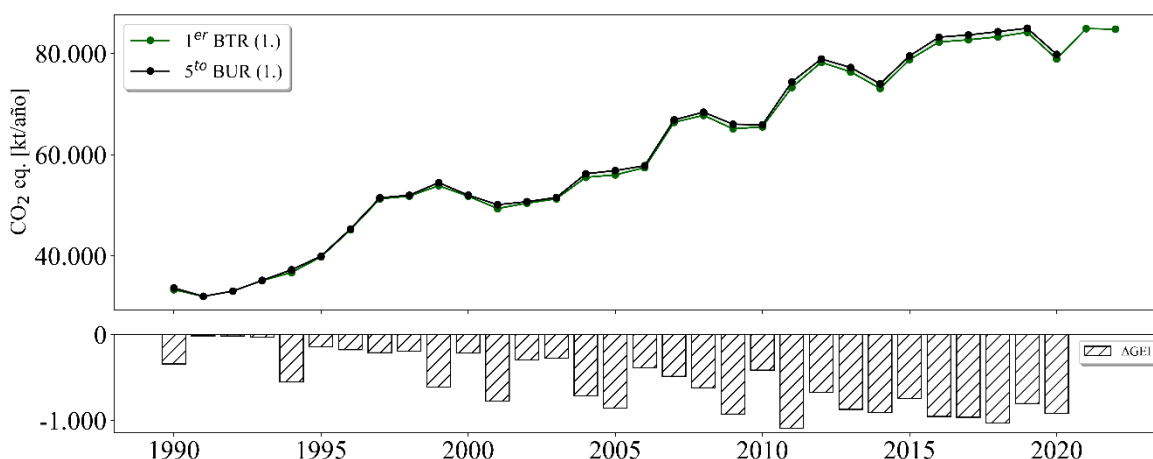


Figura 3-37. Nuevos cálculos: comparación de emisiones de GEI del sector Energía (kt CO₂ eq) del 5IBA (serie 1990-2020) e 1BTR (serie 1990-2022)

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

Tabla 3-94. 1.A: Actividades de quema de combustibles comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI2020 (serie 1990-2020) e INGEI2022 (serie 1990-2022)

INGEI	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2022
5IBA	30.795,7	38.285,4	50.215,4	55.131,2	64.515,3	78.378,1	78.876,1	-
1BTR	30.493,9	38.183,5	50.017,7	54.695,2	64.105,5	77.620,0	77.949,2	83.705,6
Diferencia	-301,8	-101,9	-197,7	-436,1	-409,8	-758,1	-926,9	83.705,6
Diferencia %	-1,0%	-0,3%	-0,4%	-0,8%	-0,6%	-1,0%	-1,2%	

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

3.5.1.1 Nuevos cálculos Industrias de la energía (1.A.1)

3.5.1.1.1 Justificaciones de los nuevos cálculos y mejoras

Para esta subcategoría el principal cambio ocurrido está relacionado con la implementación de los nuevos factores de emisión de CO₂ país específico para los principales combustibles líquidos utilizados en el país y coque de petróleo, a lo largo de toda la serie, lo cual impactó en una leve caída en las emisiones.

3.5.1.1.2 Implicaciones para los niveles de emisión

En la Tabla 3-95 y Figura 3-38 se observa cómo variaron las emisiones de GEI de esta subcategoría respecto del inventario anterior (5 IBA).

Tabla 3-95. 1.A.1. Industrias de la energía: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI2020 (serie 1990-2016) e INGEI2022 (serie 1990-2022)

INGEI	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2022
5IBA	9.037,7	8.311,3	15.259,9	18.924,0	24.830,6	30.854,8	29.841,6	-
1BTR	9.030,0	8.301,0	15.220,2	18.852,0	24.702,3	30.753,0	29.794,7	28.998,3
Diferencia	-7,7	-10,2	-39,7	-72,0	-128,3	-101,9	-47,0	28.998,3
Diferencia %	-0,09%	-0,12%	-0,26%	-0,38%	-0,52%	-0,33%	-0,16%	

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

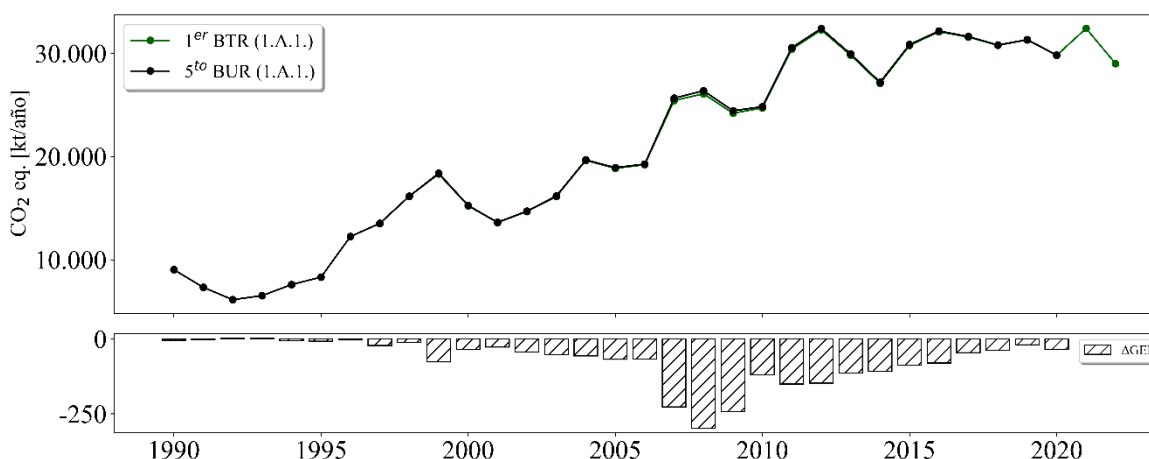


Figura 3-38. 1.A.1. Industrias de la energía: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) 5IBA (serie 1990-2020) e 1BTR (serie 1990-2022)

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

3.5.1.2 Nuevos cálculos Industrias manufactureras y de la construcción (1.A.2)

3.5.1.2.1 Justificaciones de los nuevos cálculos y mejoras

Para esta subcategoría el principal cambio ocurrido está relacionado con la implementación de los nuevos factores de emisión de CO₂ país específico para los principales combustibles líquidos utilizados en el país y coque de petróleo, a lo largo de toda la serie, lo cual impactó en una leve caída en las emisiones.

3.5.1.2.2 Implicaciones para los niveles de emisión

Como se observa en la Tabla 3-96 y Figura 3-39, el nivel de emisiones de esta subcategoría disminuyó en el 1 BTR con respecto al 5 IBA.

Tabla 3-96. 1.A.2. Industrias manufactureras y de la construcción: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del 5 IBA (serie 1990-2020) e 1BTR (serie 1990-2022)

INGEI	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2022
5IBA	8.518,4	10.944,2	12.316,2	12.090,2	12.298,4	16.025,9	15.528,2	-
1BTR	8.528,1	10.893,9	12.274,5	11.965,8	12.140,2	15.629,2	15.144,1	16.398,3
Diferencia	9,7	-50,3	-41,8	-124,4	-158,2	-396,7	-384,1	16.398,3
Diferencia %	0,11%	-0,46%	-0,34%	-1,04%	-1,30%	-2,54%	-2,54%	

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

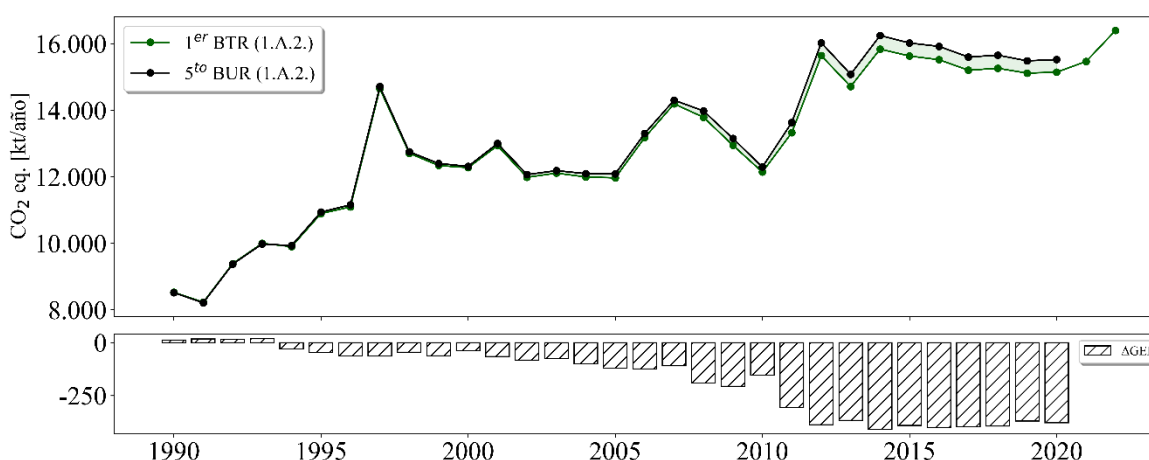


Figura 3-39. 1.A.2. Industrias manufactureras y de la construcción: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del 5IBA (serie 1990-2020) e 1BTR (serie 1990-2022)

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

3.5.1.3 Nuevos cálculos Transporte (1.A.3)

3.5.1.3.1 Justificaciones de los nuevos cálculos y mejoras

Para esta subcategoría el principal cambio ocurrido está relacionado con la implementación de los nuevos factores de emisión de CO₂ país específico para los principales combustibles líquidos utilizados en el país y coque de petróleo, a lo largo de toda la serie, lo cual impactó en una leve caída en las emisiones.

Como se observa en la Tabla 3-97 y Figura 3-40, el nivel de emisiones de esta subcategoría disminuyó en el 1 BTR con respecto al 5 IBA.

Tabla 3-97. 1.A.3. Transporte: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del 5IBA (serie 1990-2020) e 1BTR (serie 1990-2022)

INGEI	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2022
5IBA	9.246,3	13.900,2	17.365,7	19.109,4	20.680,0	24.962,7	26.114,2	-
1BTR	8.756,1	13.676,5	17.057,1	18.660,3	20.305,8	24.457,7	25.362,3	29.984,8
Diferencia	-490,2	-223,6	-308,6	-449,1	-374,2	-505,1	-751,9	29.984,8
Diferencia %	-5,60%	-1,64%	-1,81%	-2,41%	-1,84%	-2,07%	-2,96%	

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

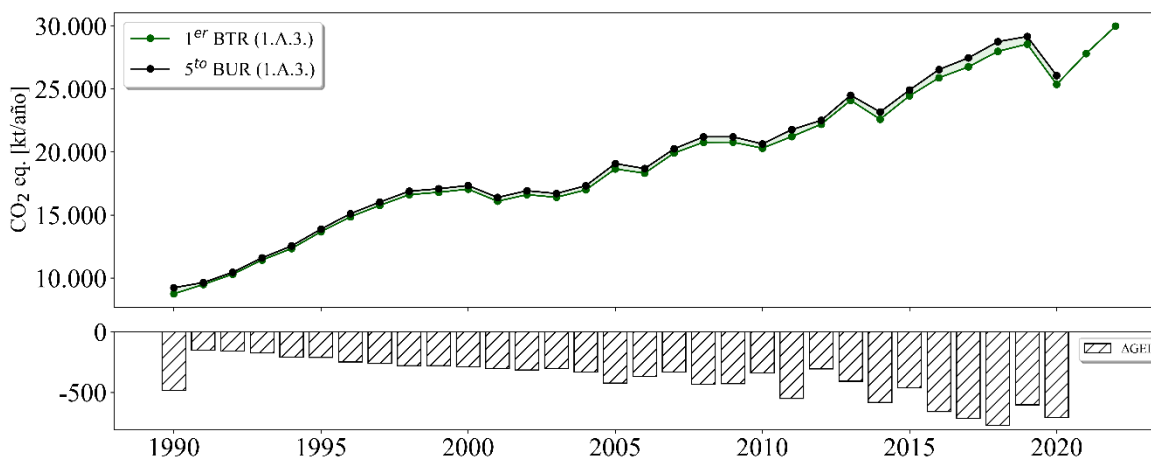


Figura 3-40. 1.A.3. Transporte: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del 5IBA (serie 1990-2020) e 1BTR (serie 1990-2022)

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

3.5.1.4 Nuevos cálculos Otros sectores (1.A.4)

3.5.1.4.1 Justificaciones de los nuevos cálculos y mejoras

Para esta subcategoría el principal cambio ocurrido está relacionado con la implementación de los nuevos factores de emisión de CO₂ país específico para los principales combustibles líquidos utilizados en el país y coque de petróleo, a lo largo de toda la serie, lo cual impactó en un leve aumento en las emisiones.

Como se observa en la Tabla 3-98 y Figura 3-41, el nivel de emisiones de esta subcategoría disminuyó en el 1 BTR con respecto al 5 IBA.

Tabla 3-98. 1.A.4. Otros Sectores: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del 5IBA (serie 1990-2020) e 1BTR (serie 1990-2022)

INGEI	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2022
5IBA	3.993,2	5.129,8	5.273,6	5.007,6	6.687,6	6.418,9	7.389,6	-
1BTR	4.179,7	5.312,1	5.466,0	5.217,0	6.939,0	6.668,2	7.645,7	8.313,6
Diferencia	186,4	182,3	192,4	209,4	251,4	249,3	256,1	8.313,6
Diferencia %	4,5%	3,4%	3,5%	4,0%	3,6%	3,7%	3,4%	

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

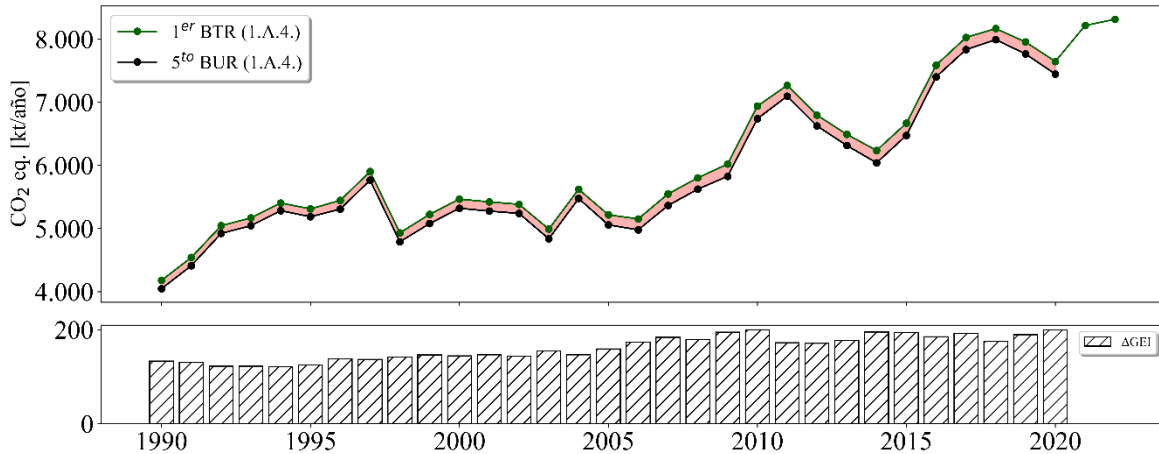


Figura 3-41. 1.A.4. Otros Sectores: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del 5IBA (serie 1990-2020) e 1BTR (serie 1990-2022)

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

3.5.1.5 Nuevos cálculos Otros sectores (1.A.5)

3.5.1.5.1 Justificaciones de los nuevos cálculos y mejoras

Para esta subcategoría el principal cambio ocurrido está relacionado con la implementación de los nuevos factores de emisión de CO₂ país específico para los principales combustibles líquidos utilizados en el país y coque de petróleo, a lo largo de toda la serie, lo cual impactó en una leve caída en las emisiones.

Como se observa en la Tabla 3-99 y Figura 3-42, el nivel de emisiones de esta subcategoría disminuyó en el 1 BTR con respecto al 5 IBA.

Tabla 3-99. 1.A.5. No especificado: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del 5IBA (serie 1990-2020) e 1BTR (serie 1990-2022)

INGEI	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2022
5IBA	-	-	-	-	18,6	115,7	2,5	-
1BTR	-	-	-	-	18,1	111,9	2,5	10,6
Diferencia	-	-	-	-	-0,5	-3,7	-0,1	10,6
Diferencia %	-	-	-	-	-2,8%	-3,3%	-2,7%	

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

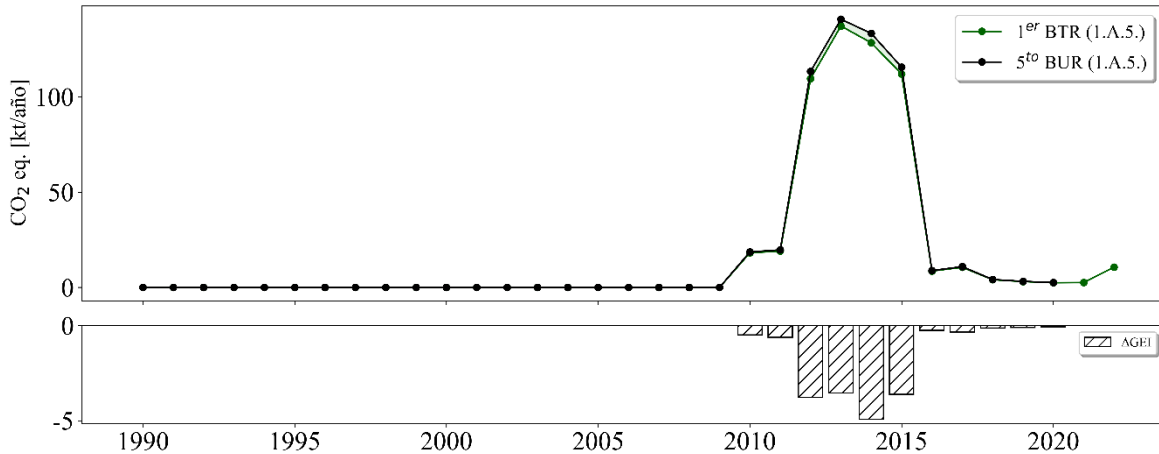


Figura 3-42. 1.A.5. No especificado: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del 5IBA (serie 1990-2020) e 1BTR (serie 1990-2022)

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

3.5.1.6 Nuevos cálculos Combustible sólidos (1.B.1)

En esta subcategoría no hubo cambios respecto al 5 IBA.

3.5.1.7 Nuevos cálculos Petróleo y gas natural (1.B.2)

En esta subcategoría no hubo cambios respecto al 5 IBA.

3.6 Procedimiento de garantía y control de la calidad y verificación

3.6.1 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 *2024_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 nuevos 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
- 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.

3.6.2 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 *2024_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.

3.6.3 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 *2024_SGCC_1ENER*. Un resumen del estado de avance de cada recomendación se encuentra en el Anexo 11.2.4.

3.6.4 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.

3.7 PLAN DE MEJORAMIENTO CONTINUO

3.7.1 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.

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

Una mejora que se encuentra pendiente a realizar es la de separar los consumos del sector Agroindustrial del de industrias varias dentro del BNE, para incluir dichas emisiones donde correspondan. El problema encontrado hasta ahora para realizar dicho paso es que se cuentan con muy pocos datos de dicha separación (desde el 2017) lo que impide una correcta extrapolación para la serie completa.

3.7.3 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:
 - 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-destinos indicados según las Directrices del IPCC 2006.
- Establecer de arreglos institucionales con organismos (INE, Ministerio de Transporte, Aduanas, etc.) que disponen de información que pudiese ser relevante. Evaluar la posibilidad de realizar dichos arreglos con los diferentes organismos según la información solicitada y la disposición de estas.

3.7.4 Otros sectores (1.A.4)

Mejoras específicas para la presente subcategoría no se contemplan en la actualidad.

3.7.5 No especificado (1.A.5)

Mejoras específicas para la presente subcategoría no se contemplan en la actualidad

3.7.6 Combustibles sólidos (1.B.1)

Para esta subcategoría, se pretende obtener antecedentes que permitan determinar las emisiones asociadas a Minas subterráneas abandonadas (1.B.1.a.i.3) y Quema en antorcha de metano drenado o conversión de metano en CO₂ (1.B.1.a.i.4.). Para ello, se pretende consultar sobre dichos antecedentes a Mina invierno (única empresa de carbón activa en Chile) respecto al uso de gas pit, así como averiguar si es que en COCHILCO o Sernageomin tienen antecedentes respecto a las variables necesarias para estimar las emisiones de minas abandonadas

3.7.7 Petróleo y gas natural (1.B.2)

Se considera para futuras actualizaciones evaluar la posibilidad de incorporar las emisiones asociadas al proceso de generación eléctrica mediante energía geotérmica.

3.7.8 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 3-100. Listado de mejoras propuestas para el sector Energía.

Componente	Descripción	Plazo	Observaciones
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 plazo	Se espera avanzar en el mediano plazo el obtener FE específicos para principales combustibles utilizados en el país, tal como se obtuvo para los principales combustibles líquidos en esta actualización.
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"> Variación en los años de parámetros de rendimiento y nivel de actividad. Usar promedio ponderado entre los datos paramétricos entregador por región. 	Corto plazo	-
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-destinos indicados según las Directrices del IPCC 2006.	Mediano plazo.	Dependerá de si es posible obtener los antecedentes necesarios para aplicar esta metodología.
1.A.3 Transporte	Establecer de arreglos institucionales con organismos (INE, Ministerio de Transporte, Aduanas, etc.) que disponen de información que pudiese ser relevante. Evaluar la posibilidad de realizar dichos arreglos con los diferentes organismos	Mediano plazo	

Componente	Descripción	Plazo	Observaciones
	según la información solicitada y la disposición de estas		
1.B.1 Combustibles sólidos	Obtener antecedentes que permitan determinar las emisiones asociadas a Minas subterráneas abandonadas (1.B.1.a.i.3) y Quema en antorcha de metano drenado o conversión de metano en CO2 (1.B.1.a.i.4.).	Corto plazo	
1.B.2 Petróleo y Gas natural	Evaluar la posibilidad de incorporar las emisiones asociadas al proceso de generación eléctrica mediante energía geotérmica	Mediano plazo	Dependerá de los antecedentes necesarios para su determinación según la metodología encontrada para su cálculo.

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

3.8 Referencias

- AIE. (2024). Chile: indicators 1990 - 2022. Recuperado el 2024, de <http://www.iea.org/statistics/statisticssearch/report/?country=Chile&product=indicator>
- Asociación Nacional Automotriz de Chile. (mayo de 2024). [www.anac.cl](https://www.anac.cl/wp-content/uploads/2023/01/12-ANAC-Mercado-Automotor-Diciembre-2022dmb.pdf). Obtenido de <https://www.anac.cl/wp-content/uploads/2023/01/12-ANAC-Mercado-Automotor-Diciembre-2022dmb.pdf>
- Asociación Nacional Automotriz de Chile. (Mayo de 2024). www.anac.cl. Obtenido de <https://www.anac.cl/wp-content/uploads/2022/01/12-ANAC-Mercado-Automotor-Diciembre-2021.pdf>
- Banco Central de Chile . (mayo de 2024). www.bcentral.cl. Obtenido de https://si3.bcentral.cl/estadisticas/principal1/enlaces/informes/anuariosccnn/anuario_cnn_2022.html
- Banco Central de Chile. (mayo de 2024). <https://si3.bcentral.cl/>. Obtenido de https://si3.bcentral.cl/estadisticas/Principal1/enlaces/Informes/AnuariosCCNN/anuario_CCNN_2021.html
- Banco mundial. (2024). Transporte aéreo, pasajeros transportados. Recuperado el 2024, de <http://datos.bancomundial.org/indicador/IS.AIR.PSGR/countries/CL?display=graph>
- Camara 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>
- Catamutun. (1999). Industria Nacional del Carbón. Obtenido de <http://www.catamutun.com/produc/carbon/pais.html>
- COCHILCO. (2017). Anuario. Recuperado el 2018, de <http://www.cochilco.cl/estadisticas/anuario.asp>
- Comisión Nacional para América Latina y el Caribe, CEPAL. (mayo de 2024). www.cepal.org. Obtenido de <https://www.cepal.org/es/publicaciones/48077-estudio-economico-america-latina-caribe-2022-dinamica-desafios-la-inversion>
- Congreso Nacional de Chile (2021). Ley 21.305 Sobre Eficiencia Energética, de Biblioteca Nacional de Chile: <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1155887>.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (2020). Principales condicionantes de las políticas fiscal y monetaria en la era pospandemia de COVID-19. <https://repositorio.cepal.org/entities/publication/faed4e37-c425-4504-b761-e90a18ac5667>.
- Energía Abierta. (Todos los años disponibles). Balance Nacional de Energía 2022. Recuperado el 2016, de <http://energiaabierta.cl/categorias-estadistica/balance-energetico/>
- INE. (2012). Actualización de población y proyecciones 2013-2020. Recuperado el 01 de 09 de 2016, de INE. Demografía y Vitales: http://www.ine.cl/canales/chile_estadistico/familias/demograficas_vitales.php
- INE. (2017). Censo 2017. Recuperado el 18 de 04 de 2018, de INE. Censo 2017: http://www.censo2017.cl/wp-content/uploads/2017/12/Presentacion_Resultados_Definitivos_Censo2017.pdf
- JAC (2018)
- LATAM Airlines Group. (2016). Historia de LAN. Recuperado el Enero de 2016, de http://www.lan.com/es_cl/sitio_personas/experiencia-lan-y-tam/historia/lan/
- Ministerio de Energía, Chile. (2024). [energia.gob.cl](https://energia.gob.cl/panel/plan-de-descarbonizacion). Obtenido de <https://energia.gob.cl/panel/plan-de-descarbonizacion>

- Ministerio del Medio Ambiente - SINIA. (mayo de 2024). buscadorsinia.mma.gob.cl. Obtenido de https://buscadorsinia.mma.gob.cl/category/i_estudios?page=66
- Sistemas Sustentables. (Diciembre de 2009). Sistema Nacional de Información Ambiental. Recuperado el Diciembre de 2015, de http://www.sinia.cl/1292/articles-50188_recurso_3.pdf
- Sistemas Sustentables. (2014). Actualización Metodológica del Modelo de Consumo Energético y Emisiones para el Sector Transporte (STEP). Santiago: Secretaría de Planificación de Transportes –SECTRA.

4 Sector Procesos industriales y uso de productos (2)

4.1 Panorama general

4.1.1 Descripción del sector

El sector Procesos industriales y uso de productos (IPPU, por su sigla en inglés) contabiliza los GEI emitidos tanto por procesos industriales de transformación de materias primas por medios químicos o físicos (a excepción de los procesos de combustión, asignados al sector Energía), como las emisiones GEI asociadas al uso de productos, entre ellos refrigerantes y aislantes eléctricos, o usos no energéticos del carbono contenido en los combustibles. Durante los procesos mencionados pueden emitirse una gran variedad de GEI, incluidos el CO₂, CH₄, N₂O, hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF₆).

En el contexto nacional y de acuerdo con las categorías descritas en las *Directrices del IPCC 2006*, este sector contempla las emisiones producidas en la industria de los minerales (cemento, cal y vidrio), en la industria química (producción de ácido nítrico y petroquímicos), en la industria de los metales (hierro y acero, ferroaleaciones y plomo); y también las emisiones asociadas al uso de productos no energéticos de combustibles y de solventes (lubricantes y ceras de parafina), al uso y consumo de productos sustitutos de 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 a la utilización de otros productos (SF₆ en equipos eléctricos y N₂O en aplicaciones médicas).

Con el transcurso de los años, el levantamiento de información se ha consolidado como un trabajo colaborativo entre diversas instituciones, las fuentes emisoras y el Sistema Nacional de Inventarios de GEI, permitiendo un constante robustecimiento de los procesos de estimación ciclo tras ciclo. Lo anterior se traduce en que un 42% de las subcategorías del sector han sido calculadas con nivel metodológico 2, lo que permite al país cumplir con las exigencias establecidas internacionalmente.

4.1.2 Tendencia de las emisiones de GEI

El sector IPPU representó el 7,3 % de las emisiones de GEI totales (Figura 4-1) y el 4,9 % del balance de GEI del país (Figura 4-2) durante el 2022, manteniendo una contribución similar a lo largo de toda la serie temporal.

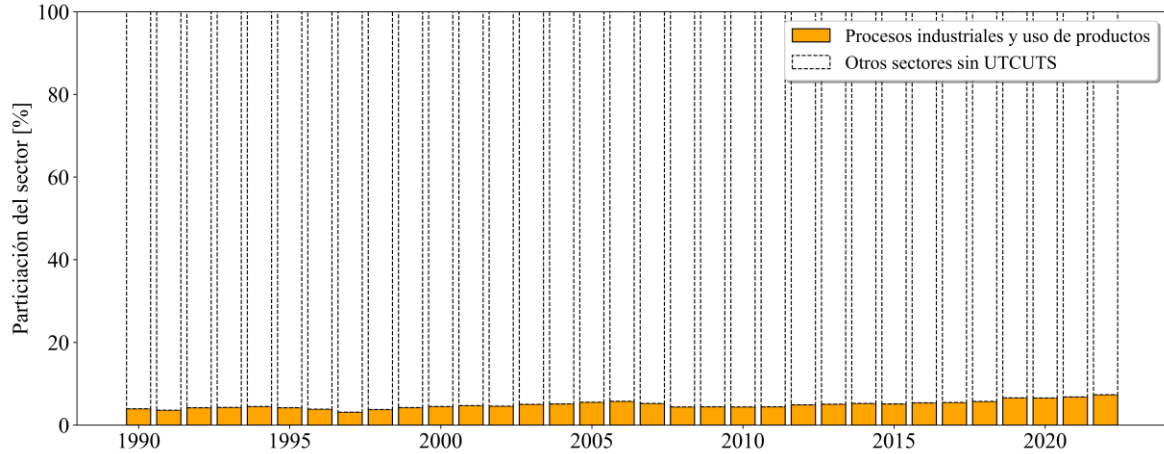


Figura 4-1. Sector IPPU: participación del sector en las emisiones de GEI totales (excluyendo UTCUTS)

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

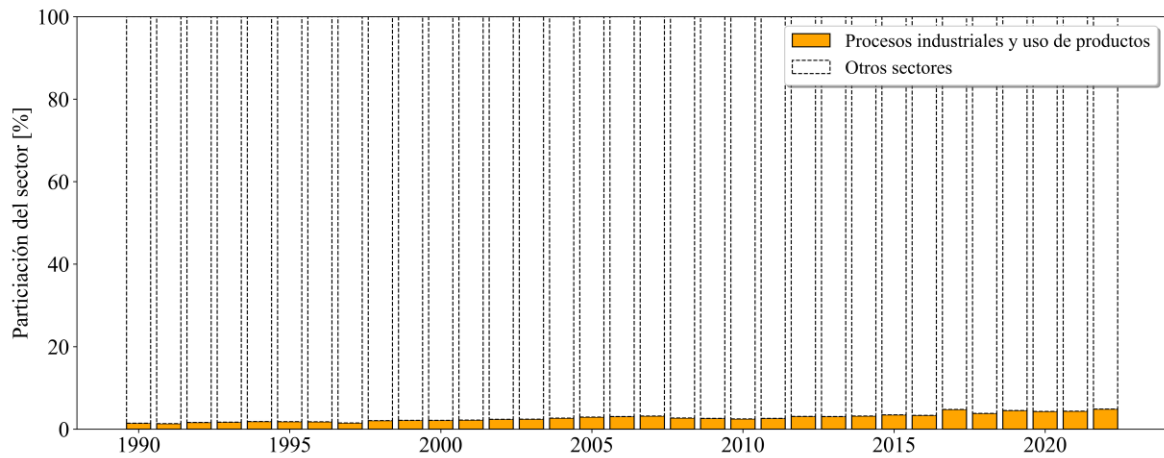


Figura 4-2. Sector IPPU: participación del sector en el balance de GEI (incluyendo UTCUTS)

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

Durante el año 2022, las emisiones de GEI del sector contabilizaron 8.148,6 kt CO₂ eq, siendo las subcategorías impulsoras principalmente el 2.F. Uso de productos sustitutos de SAO (67,8 %) y la 2.A. Industria de los minerales (19,0 %). Las estimaciones para el 2022 significan un incremento de un 337,0 % desde 1990 y en un 20,2 % desde 2020 (Tabla 4-1 y Figura 4-3). La tendencia histórica es el resultado de las variaciones de las distintas categorías que conforman el sector, cuya contribución al total va variando en la serie temporal tanto por condiciones nacionales como por factores externos al país, como son la disponibilidad de tecnología y/o los mercados internacionales que tienen incidencia en los niveles de actividad y en los factores de emisión de las distintas industrias. En la (Tabla 4-1) se muestra el detalle de emisiones para el año 2022.

Tabla 4-1 Sector IPPU: emisiones de GEI (kt) por categoría, año 2022.

Código IPCC	Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero	CO ₂ (kt)	CH ₄ (kt)	N ₂ O (kt)	HFC (kt CO ₂ eq)	PFC (kt CO ₂ eq)	SF ₆ (kt CO ₂ eq)	NOx (kt)	CO (kt)	COVDM (kt)	SO ₂ (kt)	kt CO ₂ eq
2.	Procesos industriales y uso de productos	2.251,0	2,0	0,6	5.526,7	0,5	156,3	6,7	-	0,1	0,0	8.148,6
2.A.	Industria de los minerales	1.545,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.545,0
2.A.1.	Producción de cemento	851,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	851,1
2.A.2.	Producción de cal	515,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	515,4
2.A.3.	Producción de vidrio	151,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	151,3
2.A.4.	Otros usos de carbonatos en los procesos	27,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	27,3
2.A.5.	Otros (sírvase especificar)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.B.	Industria química	78,6	2,0	0,4	-	-	-	6,7	-	-	-	229,8
2.B.1.	Producción de amoníaco	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.B.2.	Producción de ácido nítrico	-	-	0,4	-	-	-	6,7	-	-	-	94,1
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	78,6	2,0	-	-	-	-	-	-	-	-	135,7
2.B.9.	Producción fluoroquímica	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.B.10.	Otros (especificar)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.C.	Industria de los metales	489,2	-	-	-	-	-	-	-	0,1	0,0	489,2
2.C.1.	Producción de hierro y acero	483,4	-	-	-	-	-	-	-	0,1	-	483,4
2.C.2.	Producción de ferroaleaciones	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.C.3.	Producción de aluminio	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.C.4.	Producción de magnesio	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.C.5.	Producción de plomo	5,8	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0	5,8
2.C.6.	Producción de cinc	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.C.7.	Otros (especificar)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.D.	Productos no energéticos de combustibles y uso de solventes	138,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	138,2
2.D.1.	Uso de lubricantes	129,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	129,1
2.D.2.	Uso de la cera de parafina	9,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9,1
2.D.3.	Uso de solventes	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.D.4.	Otros (especificar)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.E.	Industria electrónica	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.E.1.	Circuitos integrados o semiconductores	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.E.2.	Pantalla plana tipo TFT	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.E.3.	Células fotovoltaicas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.E.4.	Fluidos de transferencia térmica	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.E.5.	Otros (especificar)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.F.	Uso de productos sustitutos de las SAO	-	-	-	5.526,7	0,5	-	-	-	-	-	5.527,2
2.F.1.	Refrigeración y aire acondicionado	-	-	-	5.261,8	0,3	-	-	-	-	-	5.262,2
2.F.2.	Agentes espumantes	-	-	-	36,3	-	-	-	-	-	-	36,3
2.F.3.	Protección contra incendios	-	-	-	101,3	-	-	-	-	-	-	101,3
2.F.4.	Aerosoles	-	-	-	123,7	-	-	-	-	-	-	123,7
2.F.5.	Solventes	-	-	-	3,5	0,2	-	-	-	-	-	3,7
2.F.6.	Otras aplicaciones (especificar)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Código IPCC	Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero	CO ₂ (kt)	CH ₄ (kt)	N ₂ O (kt)	HFC (kt CO ₂ eq)	PFC (kt CO ₂ eq)	SF ₆ (kt CO ₂ eq)	NO _x (kt)	CO (kt)	COVDM (kt)	SO ₂ (kt)	kt CO ₂ eq
2.G.	Manufactura y utilización de otros productos	-	-	0,2	-	-	156,3	-	-	-	-	219,2
2.G.1.	Equipos eléctricos	-	-	-	-	-	156,3	-	-	-	-	156,3
2.G.2.	SF ₆ y PFC de otros usos de productos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.G.3.	N ₂ O de usos de productos	-	-	0,2	-	-	-	-	-	-	-	62,9
2.G.4.	Otros (especificar)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.H.	Otros	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.H.1.	Industria de la pulpa y el papel	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.H.2.	Industria de la alimentación y las bebidas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.H.3.	Otros (especificar)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

SAO: Sustancias que agotan la capa de ozono

De acuerdo con las emisiones estimadas para el año 2022, las fuentes de CO₂ son principalmente la industria de los minerales y de los metales, la fuente de CH₄ es únicamente la industria química y la fuente de HFC, principal contribuyente del último año a las emisiones del sector es el uso de productos sustitutos de las SAO. Finalmente, las emisiones de SF₆ están asociadas a la industria de manufactura y utilización de otros productos y las emisiones de N₂O, principalmente a la industria química. Por su parte, los precursores son emitidos casi en su totalidad por la industria química. En la Tabla 4-2 y Figura 4-3 se muestra el resumen de la serie temporal de emisiones por categoría del sector IPPU.

Tabla 4-2. Sector IPPU: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por categoría, serie 1990-2022

Categoría	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2022
2.A. Industria de los minerales	833,7	1.211,7	1.313,6	1.600,1	1.548,4	1.701,4	1.548,7	1.545,0
2.B. Industria química	538,3	491,1	919,5	1.473,7	323,4	259,4	167,1	229,8
2.C. Industria de los metales	433,3	563,3	642,9	561,7	458,4	481,3	442,2	489,2
2.D. Productos no energéticos de combustibles y uso de solventes	42,6	47,6	53,2	63,1	78,9	99,0	126,3	138,2
2.F. Uso de productos como SAO	0,0	11,5	135,0	456,2	1.205,9	2.515,7	4.249,4	5.527,2
2.G. Manufactura y utilización de otros productos	18,0	27,0	45,8	50,5	102,5	102,5	246,7	219,2
Total	1.866,1	2.352,2	3.109,9	4.205,2	3.717,4	5.159,4	6.780,4	8.148,6

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

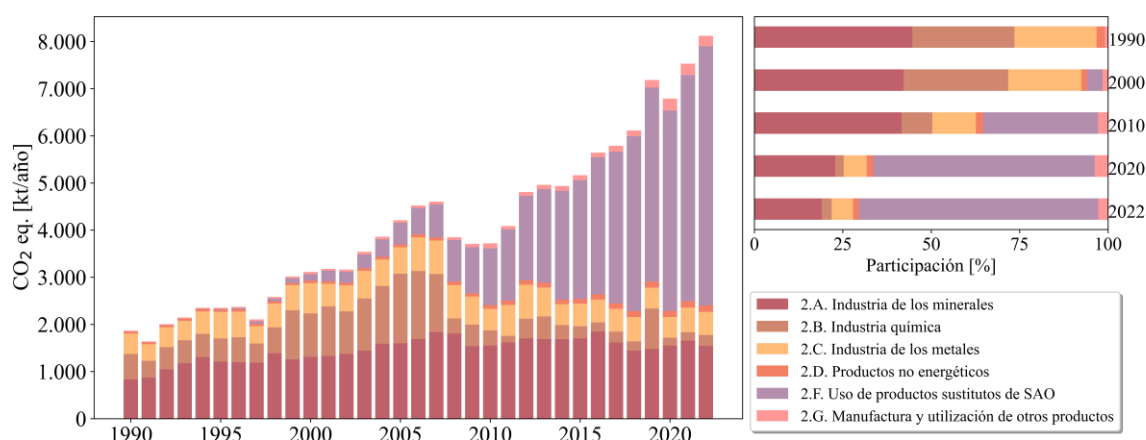


Figura 4-3. Sector IPPU: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por categoría, serie 1990-2022

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

Los principales causantes del incremento en las emisiones del sector entre 1990 y 2006 son el crecimiento sostenido de la producción de metanol, la industria del cemento y la industria del ácido nítrico, mientras que las emisiones de hierro y acero se mantienen relativamente constantes en el tiempo y aparecen tardíamente las emisiones por uso de SAO. Como se observa en la Figura 4-3, a partir del año 2006 se evidencia 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 la producción de cemento, cal y hierro y acero. Esta crisis se mantiene hasta 2010, momento en que se produce una reactivación económica que desacelera durante el año 2013.

Adicionalmente, en este período se hacen más relevantes las emisiones de HFC, que hasta la fecha presentan una tendencia de crecimiento exponencial debido a su principal uso como refrigerante; esto las ha llevado a ser la fuente que más contribuye a las emisiones GEI del sector IPPU durante el año 2022 (Tabla 4-2 y Figura 4-3).

Cabe destacar que desde el año 2014 se desarrolla un decaimiento en las emisiones de GEI asociadas tanto a la producción de cemento como a la producción de ácido nítrico (producto del aumento en las importaciones de clínker y la instalación e implementación de un sistema de abatimiento adicional, respectivamente). Esto se contrarresta con un aumento en la producción de metanol desde el año 2016 por nueva disponibilidad de gas natural, además del crecimiento en la producción de cal que se utiliza principalmente en la minería. También durante el año 2019 se estima un máximo de emisiones que, si bien responde a la tendencia histórica de todas las categorías del sector, se explica en mayor medida por la falla en uno de los sistemas de abatimiento en la producción de ácido nítrico.

Las variaciones entre el año 2020 y 2022 se deben principalmente al Uso de productos sustitutos de SAO, específicamente a la categoría de refrigeración industrial y aire acondicionado fijo, principales contribuyentes del sector, relacionados además con otras políticas climáticas del país como la Enmienda de Kigali. Esto se discute en la sección 4.6 y la participación de las distintas categorías se pueden observar en la Tabla 4-3 y Figura 4-4.

Tabla 4-3. Sector IPPU: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por subcategoría, serie 1990-2022

Subcategoría	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2022
2.A.1. Producción de cemento	676,0	991,8	1.010,4	1.152,0	1.046,5	1.033,2	879,7	851,1
2.A.2. Producción de cal	109,1	156,2	215,5	347,6	385,2	528,6	537,0	515,4
2.A.3. Producción de vidrio	12,0	24,9	52,6	67,7	87,4	108,1	104,1	151,3
2.A.4. Otros usos de carbonatos en los procesos	36,5	38,8	35,1	32,9	29,3	31,6	27,9	27,3
2.B.2. Producción de ácido nítrico	252,2	252,2	437,7	730,6	145,0	246,3	89,8	94,1
2.B.8. Producción petroquímica y de negro de humo	286,2	239,0	481,8	743,1	178,4	13,1	77,3	135,7
2.C.1. Producción de hierro y acero	401,6	524,9	634,4	561,7	457,0	477,9	435,8	483,4
2.C.2. Producción de ferroaleaciones	31,7	38,5	8,5	NO	NO	NO	NO	NO
2.C.5. Producción de plomo	NO	NO	NO	NO	1,4	3,5	6,4	5,8
2.D.1. Uso de lubricantes	35,5	39,3	44,0	51,7	69,6	88,2	115,6	129,1
2.D.2. Uso de la cera de parafina	7,1	8,4	9,1	11,4	9,3	10,7	10,7	9,1
2.F.1. Refrigeración y aire acondicionado	0,0	11,5	130,9	437,8	1.091,5	2.341,5	3.943,6	5.262,2
2.F.2. Agentes espumantes	NO	NO	NO	10,6	58,4	58,4	35,7	36,3
2.F.3. Protección contra incendios	NO	NO	1,6	6,6	18,4	68,1	100,2	101,3
2.F.4. Aerosoles	NO	NO	NO	NO	35,3	32,7	162,4	123,7
2.F.5. Solventes	NO	NO	2,5	1,2	2,3	15,1	7,5	3,7
2.G.1. Equipos eléctricos	18,0	26,9	45,5	49,5	101,6	98,1	194,5	156,3
2.G.3. N ₂ O de usos de productos	0,0	0,1	0,3	1,0	0,9	4,4	52,2	62,9
Total	1.866,1	2.352,2	3.109,9	4.205,2	3.717,4	5.159,4	6.780,4	8.148,6

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

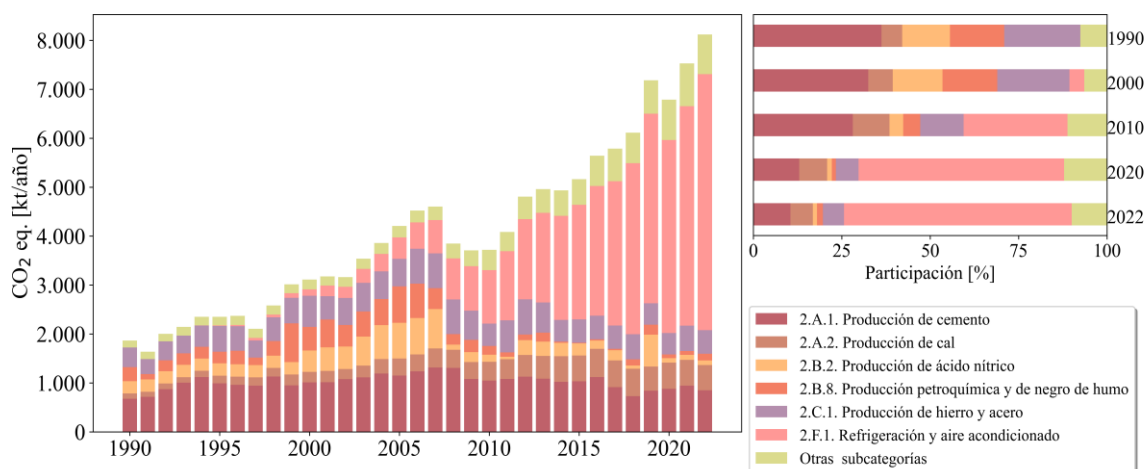


Figura 4-4. Sector IPPU: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por subcategoría, serie 1990-2022

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

Respecto a los GEI emitidos, durante el año 2022 fueron los HFC los que contribuyeron en mayor porcentaje al total de emisiones del sector IPPU (67,8 %), seguido del CO₂ (27,6 %). El SF₆ y el N₂O contribuyeron en 1,9 % cada uno y el CH₄ en un 0,7 %. Las emisiones de los PFC se estimaron, pero son menores al 0,01 % (Tabla 4-4 y Figura 4-5).

Tabla 4-4. Sector IPPU: emisiones por tipo de GEI (kt CO₂ eq), serie 1990-2022

GEI	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2022
CO ₂	1.533,9	2.000,8	2.296,3	2.764,9	2.199,0	2.281,7	2.140,4	2.251,0
CH ₄	61,9	60,8	195,1	203,1	65,1	13,1	54,1	57,1
N ₂ O	252,2	252,3	438,0	731,6	145,8	250,6	142,0	157,0
HFC	0,0	11,5	135,0	455,8	1.205,7	2.515,5	4.248,9	5.526,7
HFC-23	-	-	-	-	-	0,0	1,7	0,4
HFC-32	-	0,0	0,1	2,1	9,5	30,7	71,9	121,1
HFC-125	-	0,1	15,0	94,1	295,2	728,5	1.332,7	1.863,1
HFC-134a	0,0	11,2	91,8	203,1	400,2	701,5	1.139,1	1.368,8
HFC-143a	-	0,1	26,4	149,9	425,1	934,9	1.553,9	2.045,5
HFC-152a	-	-	-	0,0	-	0,0	0,0	0,0
HFC-227ea	-	-	1,6	6,6	31,3	73,1	122,4	100,0
HFC-236fa	-	-	-	0,0	-	0,0	-	0,0
HFC-245fa	-	-	-	0,1	0,2	0,5	0,5	0,4
HFC-365mfc	-	-	-	0,1	44,1	46,4	26,8	27,3
HFC-43-10mee	-	-	0,0	-	-	-	-	0,0
PFC	-	-	-	0,3	0,2	0,2	0,5	0,5
PFC-14	-	-	-	-	-	0,0	0,0	0,0
PFC-116	-	-	-	0,3	0,1	0,1	0,4	0,3
PFC-218	-	-	-	0,1	0,0	0,1	0,0	0,2
SF ₆	18,0	26,9	45,5	49,5	101,6	98,1	194,5	156,3
Total	1.866,1	2.352,2	3.109,9	4.205,2	3.717,4	5.159,4	6.780,4	8.148,6

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

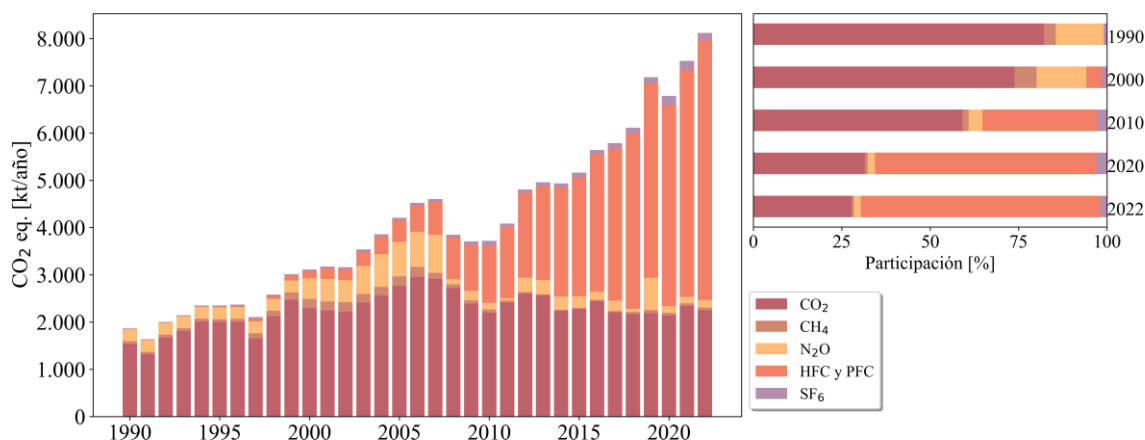


Figura 4-5. Sector IPPU: emisiones por tipo de GEI (kt CO₂ eq), serie 1990-2022

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

Al año 2022, la estimación de emisiones de CO₂ se ha incrementado en un 46,7 % desde 1990 y en un 5,2 % desde 2020, mientras que las emisiones de CH₄ han disminuido un 7,7 % desde 1990 y se han incrementado en un 5,6 % desde el 2020. Las emisiones de N₂O, por su parte, han disminuido en un 37,7 % desde 1990 y han aumentado en un 10,6% desde 2020. HFC y PFC han aumentado en un 30,1 % y en un 5,5 % desde el año 2020 respectivamente. Finalmente, el SF₆ disminuyó en un 19,7 % desde 2020. Respecto a las fluctuaciones de cada GEI en la serie temporal, la contribución porcentual del CO₂ al total de emisiones del sector ha ido decayendo considerablemente, mientras que la contribución de los HFC ha ido al alza, estas son las especies que predominan y son moderadas principalmente por la Industria de los minerales y el Uso de productos sustitutos de SAO, respectivamente.

Dentro del seguimiento de los gases se consideran también los precursores CO, NO_x, COVDM y SO₂ que son especies que contribuyen a la formación tanto de GEI como ozono o partículas de sulfato (gases y partículas que tienen forzamiento climático). Los precursores que dominan las emisiones del sector son los óxidos de nitrógeno, cuya única fuente es la Industria química, específicamente la Producción de ácido nítrico (2.B.2.). Al año 2022 el total de emisiones de precursores estimado se ha incrementado en un 479,9 % respecto al año 1990 y ha disminuido en un 1,1 % entre el 2020 y el 2022. La fuente que más contribuye a estas emisiones a lo largo de la serie histórica es la Producción de ácido nítrico (NO_x), que se ha incrementado en un 511,7 % desde 1990 y ha disminuido en menos de un 1,0 % desde el 2020. La segunda fuente que más contribuye a estas emisiones es la Producción de hierro y acero (COVDM), que se ha incrementado en un 25,8 % desde 1990 al 2022 y ha disminuido en un 12,4 % desde el 2020. Finalmente, las emisiones de SO₂, provenientes de la Producción de plomo, conforman menos del 0,5 % del total de emisiones de esta naturaleza y se han incrementado en un 1.197,2 % desde 1990 y ha disminuido en 10,5 % desde el año 2020. Figura 4-6

Tabla 4-5. Sector IPPU: emisiones por tipo de precursor (kt), serie 1990-2022

Precursores (kt)	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2022
NOx (kt)	1,103	1,103	1,914	3,195	3,609	6,288	6,806	6,745
COVDM (kt)	0,108	0,121	0,158	0,178	0,113	0,116	0,120	0,105
SO ₂ (kt)	-	-	-	-	0,007	0,017	0,032	0,029
Total	1,210	1,223	2,072	3,373	3,728	6,421	6,958	6,879

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

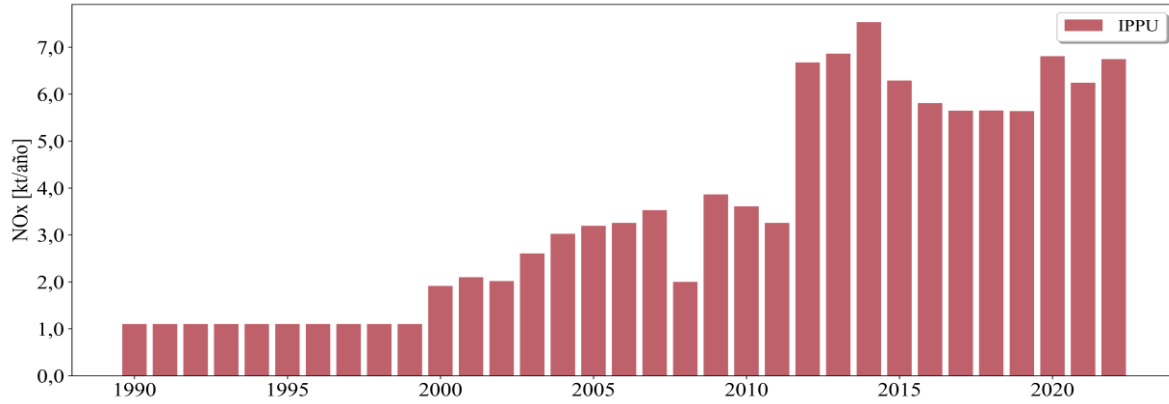


Figura 4-6. Sector IPPU: emisiones de precursor NO_x (kt CO₂ eq), serie 1990-2022

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

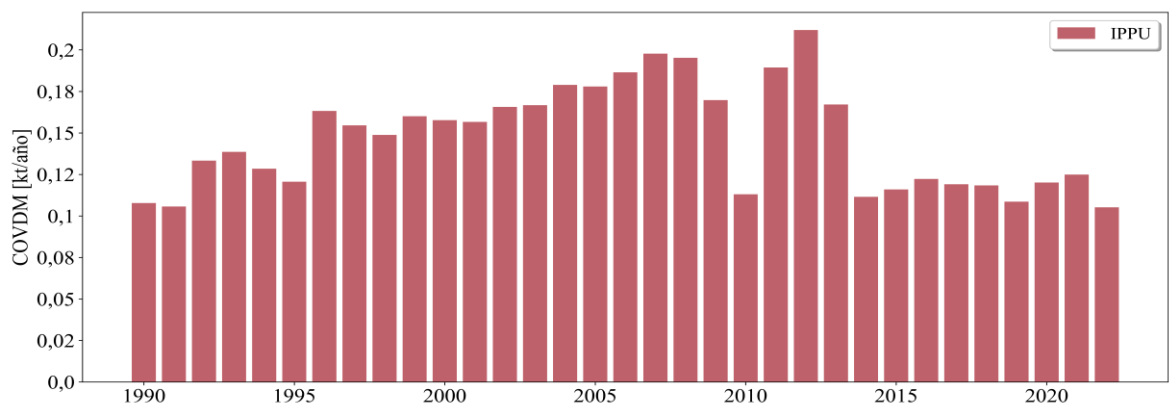


Figura 4-7. Sector IPPU: emisiones de precursor COVDM (kt CO₂ eq), serie 1990-2022

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

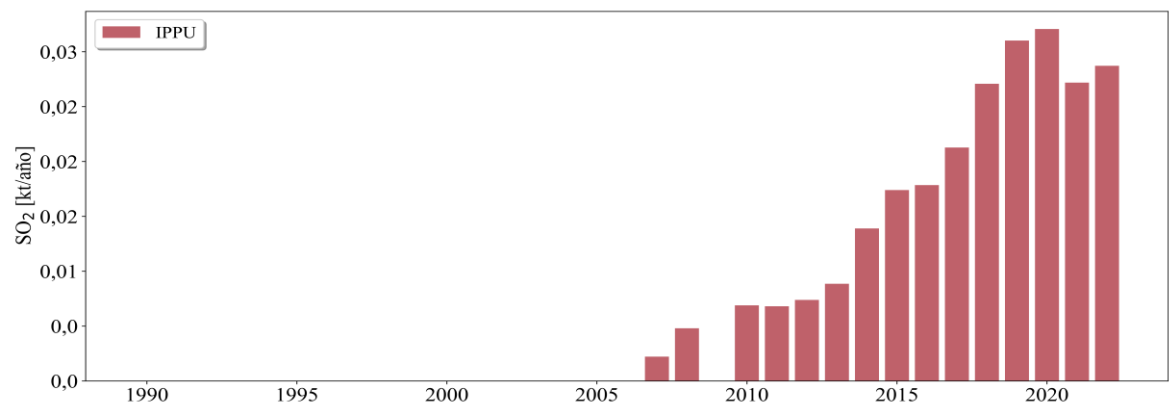


Figura 4-8. Sector IPPU: emisiones de precursor SO₂ (kt CO₂ eq), serie 1990-2022

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 de nivel 3 fue utilizado en la subcategoría Producción de ácido nítrico de la categoría Industria química, mientras los métodos de nivel 2 fueron aplicados en la estimación de CO₂ en las categorías Industria de los minerales, Industria química e Industria de los metales, para las subcategorías: Producción de cemento; Producción de Cal, Producción de vidrio, Producción de hierro y acero, Producción de plomo y Producción petroquímica y de negro de humo. También se aplicó el método de nivel 2 para Uso de productos sustitutos de las sustancias que agotan la capa de ozono, en la subcategoría Refrigeración y aire acondicionado y Agentes espumantes. Por último, las categorías restantes se estimaron con un método de nivel 1. En la Tabla 4-6 se observa un resumen de los métodos aplicados por categoría y por tipo de GEI.

Tabla 4-6. Sector IPPU: métodos aplicados por categoría y tipo de GEI.

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, CS, NE, NO	T1, IE, NO	D, IE, NO	T3, T1, 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	T1, T2, NE, NO	D, NE, NO										
2.B. Industria química	T1, T2, NO	D, NO	T1, NO	D, NO	T3, NO	CS, NO	NO	NO	NO	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

4.1.4 Datos de actividad del sector

Los datos de actividad del sector IPPU son, en su mayoría, la tasa de producción de las diferentes industrias o el uso de productos que en su manipulación emiten GEI. De esta forma, 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.

4.1.5 Factores de emisión del sector

En su mayoría, los factores de emisión del sector IPPU son por defecto según las *Directrices del IPCC 2006*, esto porque no existe suficiente información país específico o bien por la dificultad de levantamiento de esta información. Para el resto de las subcategorías se usan factores de emisión país específico (como es el caso de la producción de ácido nítrico) o simplemente no aplica debido a la metodología de estimación (como es el caso de la Producción de metanol y de la Producción de hierro y acero, cuyo factor de emisión responde a un balance de masas para la estimación de emisiones de CO₂) y es también el caso de la estimación de emisiones de N₂O de otros usos de productos, cuya metodología (nivel 1) directamente no considera un factor de emisión.

4.2 Industria de los minerales (2.A.)

4.2.1 Descripción y tendencia de los GEI 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 de acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006* 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 todas las subcategorías listadas anteriormente.

La Industria de los minerales (2.A.) es la segunda categoría que más contribuye a las emisiones GEI del sector IPPU, ya que representan un 19,0 % del total durante el 2022, lo que corresponde a 1.545,0 kt CO₂ eq. El cambio entre el año 1990 y 2022 significó un incremento de 85,3 %, mientras que entre el año 2020 y 2022 se observó una disminución menor a 1,0 %.

Los principales cambios en las emisiones de la categoría (Tabla 4-7 y Figura 4-9) responden tanto a la situación económica del país como a la naturaleza de las actividades emisoras. Ejemplo de ello es que, durante los años 1990, 1999 y en 2009 el decaimiento en las emisiones coincide con los valores

de PIB más bajos (Banco Central, 2020) y que la mayor parte de las de las emisiones de esta categoría, que están vinculadas a la calcinación de carbonatos para la producción de clínker, han venido a la baja desde el 2010 debido a un incremento considerable en la importación de este producto. Es importante tener en consideración estas relaciones cuando se observa la serie histórica, puesto que un decaimiento en la producción nacional de clínker, si bien puede significar un decaimiento en las emisiones de la categoría, no significa una disminución en producción de cemento.

Respecto de la contribución de cada subcategoría durante el año 2022, la Producción de cemento es la de mayor relevancia, ya que conforma el 55,1 % del total de emisiones de la categoría, seguida de la Producción de cal (33,4 %), la Producción de vidrio (9,8 %) y finalmente, la de menor participación es la subcategoría Otros usos de carbonatos en los procesos, con un 1,8 % (Figura 4-9).

Tabla 4-7. 2.A. Industria de los minerales: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por subcategoría, serie 1990-2022

Subcategoría	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2022
2.A.1. Producción de cemento	676,0	991,8	1.010,4	1.152,0	1.046,5	1.033,2	879,7	851,1
2.A.2. Producción de cal	109,1	156,2	215,5	347,6	385,2	528,6	537,0	515,4
2.A.3. Producción de vidrio	12,0	24,9	52,6	67,7	87,4	108,1	104,1	151,3
2.A.4. Otros usos de carbonatos en los procesos	36,5	38,8	35,1	32,9	29,3	31,6	27,9	27,3
Total	833,7	1.211,7	1.313,6	1.600,1	1.548,4	1.701,4	1.548,7	1.545,0

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

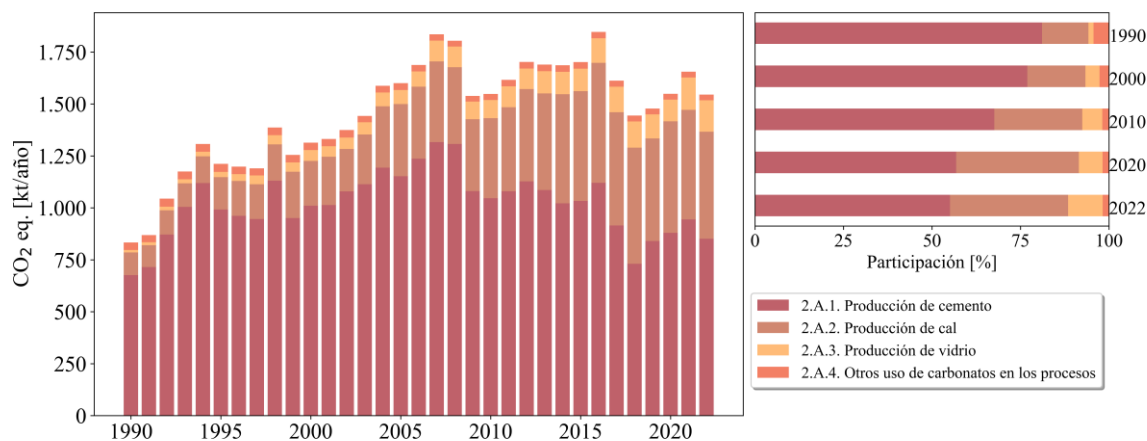


Figura 4-9. 2.A. Industria de los minerales: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por subcategoría, serie 1990-2022

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

Desde 1990 que las emisiones de CO₂ de la Producción de cemento predominan por sobre las otras subcategorías en la Industria de los minerales, sin embargo, a lo largo de la serie temporal se identifica una tendencia a la disminución de su contribución al total de emisiones, al igual que Otros carbonatos. Respecto a la Producción de cal y a la producción de vidrio, se observa una tendencia al alza en la contribución al total de emisiones de la categoría.

Producción de cemento (2.A.1.)

En la fabricación del cemento, las emisiones de CO₂ se generan sólo 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 anhídrido (CaSO₄)), para formar el cemento hidráulico (generalmente, el cemento portland). El proceso de fabricación de clínker considera calentamiento o calcinación de la piedra caliza, compuesta esencialmente de carbonato de calcio (CaCO₃), para producir cal (CaO) y CO₂ como productos derivados.

Si bien existe producción nacional de clínker, las empresas que han liderado históricamente las industrias de cemento en Chile, han ido reemplazando el producto nacional por el clínker importado; esto se aprecia en la contra tendencia de las series históricas de uso de esta materia prima. Ejemplo de ello es que desde el año 2008 a la fecha, la producción de clínker nacional ha presentado tendencia al decaimiento, mientras que el uso de clínker importado comienza a presentar una tendencia al alza. Respecto al factor clínker, que corresponde al contenido de clínker en el cemento, éste presenta una tendencia a la disminución desde el año 2015, lo que podría explicarse por el uso de Puzolana en reemplazo del clínker, práctica que se lleva a cabo en Chile.

Es necesario tomar en consideración que el uso de clínker importado en la fabricación de cemento, permite calificar el proceso productivo como libre de emisiones de CO₂. Esto explica que desde el 2008, año en que el uso de clínker importado incrementa, las emisiones de esta subcategoría presentan una tendencia a la disminución.

Durante el año 2022, las emisiones de GEI de la subcategoría Producción de cemento (2.A.1.) contabilizaron 851,1 kt CO₂ eq, representando el 55,1 % de las emisiones de GEI de la categoría. Industria de los minerales (2.A.). Esto significó el incremento de un 25,9 % entre 1990 y el 2022 y una disminución del 3,3 % desde el año 2020 (Tabla 4-7 y Figura 4-9). Como se mencionó anteriormente, la causa principal de la tendencia y las variaciones interanuales de las emisiones asociadas a esta subcategoría es la producción nacional de clínker, que se relaciona directamente con la importación de este producto y la demanda de cemento por parte del sector de la construcción.

Producción de cal (2.A.2.)

La Producción de cal se realiza en una serie de etapas que incluyen la extracción de las materias primas, la trituración y el calibrado, la calcinación de las materias primas y (si se requiere) la hidratación de la cal para obtener hidróxido de calcio. Durante el proceso de calcinación, que generalmente ocurre en hornos de caña u hornos rotatorios a altas temperaturas, se calienta la piedra caliza para descomponer los carbonatos y producir óxido de calcio (CaO o cal viva) y CO₂ que es liberado a la atmósfera.

La industria productora de cal en Chile ha crecido considerablemente a lo largo de la serie histórica, lo que responde a la creciente demanda para el procesamiento de mineral en la minería. En Chile hay dos empresas cuyo negocio principal es la producción de cal y la mayor parte de su comercialización es con fines de neutralización en los procesos de flotación del cobre, efluentes y procesos de fundición. La demanda del material es cubierta tanto por producción nacional como por importación (Cochilco)⁵³

En 2022 las emisiones de GEI de la subcategoría Producción de cal (2.A.2) contabilizaron 515,4 kt CO₂ eq, (representando el 33,4 % de las emisiones de la categoría Industria de los minerales) incrementándose en un 372,3 % desde 1990 y disminuyendo en un 4,0 % desde 2020 (Tabla 4-7 y Figura 4-9). La principal causa de la tendencia y las variaciones interanuales de emisiones GEI en la serie histórica es, principalmente, la demanda de cal en el sector de la minería y la importación de esta para cubrir parte de la demanda.

Producción de vidrio (2.A.3.)

Las principales materias primas que se utilizan en la fabricación del vidrio son: la piedra caliza (CaCO₃), la dolomita Ca, Mg (CO₃)₂ y la ceniza de sosa (Na₂CO₃). Estos materiales se extraen como carbonatos minerales y en el proceso de fundición representan una fuente de producción primaria de CO₂, por lo que deben incluirse en la estimación de emisiones.

El vidrio producido en el país se usa para fabricar diversos productos como botellas, recipientes, vajillas e instrumentos de laboratorio, iluminación y 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.

En 2022 las emisiones de GEI de la subcategoría Producción de vidrio (2.A.3.), contabilizaron 151,3 kt CO₂ eq (representando el 9,8 % de las emisiones de GEI de la categoría Industria de los minerales), incrementándose en un 1.158,0 % desde 1990 y en un 45,3 % desde 2020 (Tabla 4-7 y Figura 4-9). La causa principal de la tendencia y las variaciones interanuales en la serie histórica es el incremento en la demanda de envases para los mercados nacional y de exportación, que se relaciona, por ejemplo, con el incremento del consumo de alcohol y la preferencia de botellas individuales “one way”⁵⁴. La relación entre la demanda de vidrio tipo recipiente y el crecimiento económico 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.

⁵³Cochilco. Análisis del mercado de insumos críticos en la minería del cobre, varios años

https://www.cochilco.cl/Paginas/Estudios/Mercados%20de%20metales%20e%20insumos%20estrat%C3%A9gicos/insumos_criticos.px

⁵⁴ https://www.cristalchile.cl/Repositorio/178/Cristalchile_memoria_2021_2P.pdf

Otro uso de carbonatos en los procesos (2.A.4.)

El uso de carbonatos como el carbonato de calcio (CaCO_3) o la dolomita ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) tiene una gran variedad de aplicaciones a parte de la producción de cemento, cal y vidrio como se detalla en las otras categorías. Los otros usos de carbonatos pueden ir desde el tratamiento de aguas hasta el abatimiento de gases sulfurados, en donde dependiendo de esto, su uso generará emisiones. La siguiente lista muestra las actividades que no son contabilizadas en otras categorías que podrían estar generando emisiones de GEI.

- Fabricación de cal agrícola.
- Industria del papel y celulosa.
- Tratamiento de gases sulfurados.

Este inventario incluye información sobre las dos primeras, mientras que la tercera se considera como NE por falta de información más detallada.

Las emisiones de la subcategoría Otros usos de carbonatos en los procesos (2.A.4.), contribuyeron en un 1,8 % a las emisiones de la Industria de los minerales (2.A.) durante el año 2022, siendo la subcategoría que menos aporta en la categoría, esto es consistente a lo largo de la serie histórica. Durante el año 2022, las emisiones alcanzaron un valor de 27,3 kt de CO_2 , lo que conforma una disminución de 25,3 % desde 1990 y de un 2,3 % desde el 2020. La tendencia de las emisiones responde principalmente al decaimiento en la producción de cal agrícola.

4.2.2 Aspectos metodológicos de la categoría

La estimación de emisiones de GEI de todas las subcategorías correspondientes Industria de los minerales fueron calculadas utilizando el método nivel 2 de las Directrices del IPCC de 2006, a excepción de la subcategoría Otros usos de carbonatos en los procesos, en donde se aplicó un método de nivel 1.

La subcategoría, Producción de cemento (2.A.1), es considerada categoría principal dentro del inventario de GEI, por lo que su estimación se realiza con un nivel metodológico 2 de acuerdo con los requerimientos de las *Directrices del IPCC de 2006*. Cabe destacar que otras subcategorías como. Producción de cal (2.A.2) y Producción de vidrio (2.A.3), no son categorías principales, pero de igual manera se estimaron con un nivel metodológico 2, que implica el uso de datos de actividad país específico desagregados y factores de emisión por defecto de acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006*. En esta actualización del inventario se estimaron las emisiones de la subcategoría 2.A.4. Otros usos de carbonatos en los procesos, en donde se realizó un catastro de las actividades relacionadas con el uso de caliza en el país resultando en el uso de carbonatos en las industrias del papel y celulosa, las industrias del azúcar e industrias productoras de energía. De estas tres actividades se agregaron las dos primeras, mientras que la última actividad queda como NE por falta de información. En la Tabla 4-8 se observa un resumen de los métodos aplicados por subcategoría y por tipo de GEI.

Tabla 4-8. 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	T1, 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	T1, NE	D, NE										
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

4.2.2.1 Aspectos metodológicos por subcategoría

Producción de cemento (2.A.1.)

Para la estimación de emisiones de la subcategoría Producción de cemento se aplicó el método nivel 2 de las *Directrices del IPCC de 2006*, basado en los datos de actividad de la producción nacional de clínker. La estimación considera lo siguiente:

Ecuación 4-1. 2.A.1. Producción de cemento: emisiones basadas en los datos sobre producción de clínker (nivel 2)

$$Emisiones\ de\ CO_2 = M_{cl} \cdot EF_{cl} \cdot CF_{CKD}$$

Fuente: Ecuación 2.2; Capítulo 2; Volumen 3; *Directrices del IPCC de 2006*

Donde:

- Emisiones de CO₂: emisiones de CO₂ provenientes de la producción, toneladas de CO₂
- M_{cl}: peso del clínker producido, toneladas
- EF_{cl}: factor de emisión para el clínker, toneladas de CO₂/toneladas de clínker
- CF_{CKD}: factor de corrección para las emisiones de polvo de horno de cemento (CKD, por sus siglas en inglés), sin dimensión.

La elección del método de nivel 2 para la estimación de emisiones en esta categoría se debe principalmente a la posibilidad de recopilación directa de información con las principales empresas del país y a la posibilidad de utilizar información relacionada a datos de actividad del Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (RETC⁵⁵) tanto para completar la serie histórica como para verificar los datos ya levantados.

Producción de cal (2.A.2.)

Para la estimación de emisiones de la subcategoría Producción de cal (2.A.2.) se aplicó el método nivel 2 de las *Directrices del IPCC de 2006*, basado en los datos de la producción nacional de cal por tipo. La estimación considera lo siguiente:

Ecuación 4-2. 2.A.2. Producción de cal: emisiones basadas en los datos de producción nacional de cal, por tipos (nivel 2)

$$Emisiones\ de\ CO_2 = \sum_i (EF_{cal,i} \cdot M_{l,i} \cdot CF_{lkd,i} \cdot C_{h,i})$$

Fuente: Ecuación 2.6; Capítulo 2; Volumen 3; *Directrices del IPCC de 2006*

⁵⁵ Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes <https://retc.mma.gob.cl/>

Donde:

- Emisiones de CO₂: emisiones de CO₂ provenientes de la producción de cal, toneladas de CO₂
- EF_{cal,i}: factor de emisión para la cal tipo *i*, toneladas de CO₂/toneladas de cal
- M_{i,i}: producción de cal de tipo *i*, toneladas
- CF_{lkd,i}: factor de corrección para las emisiones del polvo de horno de cal (LKD, por sus siglas en inglés) para la cal de tipo *i*, sin dimensión
- C_{h,i}: factor corrector para la cal hidratada del tipo de cal *i*, sin dimensión.

La elección de este método viene dada principalmente por las fuentes de información que se utilizan en la elaboración de la serie de datos. En este caso las fuentes consultadas fueron las empresas involucradas y la base de datos del RETC, que a su vez también es elaborada en base a las mismas empresas.

Producción de vidrio (2.A.3.)

Para la estimación de emisiones de la subcategoría Producción de vidrio se utilizó el método nivel 2 de las *Directrices del IPCC de 2006*, 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. Lo anterior queda representado por la ecuación siguiente:

Ecuación 4-3. 2.A.3. Producción de vidrio: emisiones basadas en el proceso de fabricación del vidrio (nivel 2)

$$Emisiones\ de\ CO_2 = \sum_i [M_{g,i} \cdot EF_i \cdot (1 - CR_i)]$$

Fuente: Ecuación 2.11; Capítulo 2; Volumen 3; *Directrices del IPCC de 2006*

Donde:

- Emisiones de CO₂: emisiones totales de CO₂ de la producción total nacional de vidrio
- M_{g,i}: masa de vidrio fundido de tipo *i*, toneladas
- EF_i: factor de emisión para la fabricación de vidrio del tipo *i*, toneladas de CO₂/toneladas de producción de vidrio tipo *i*
- CR_i: es la proporción de cullet para la fabricación de vidrio tipo *i*, fracción sin dimensión.

La elección de este método subyace en la calidad de la información recopilada, donde se cuenta con la producción de vidrio y el porcentaje de cullet específico por cada empresa. Para los primeros años de la serie el porcentaje de cullet fue estimado y fue corroborado con cada empresa.

Otro uso de carbonatos en los procesos (2.A.4.)

Al no conocer los detalles de cada proceso en esta categoría se optó por considerar el total de carbonatos dedicados a estas actividades y aplicar un método por defecto de nivel 1, según la Ecuación 4-4.

Ecuación 4-4. 2.A.4. Otros usos de carbonato en los procesos: emisiones basadas producidas por el uso de carbonatos en distintos procesos (nivel 1)

$$Emisiones\ de\ CO_2 = M_{ca} * (0,85 * FE_c)$$

Fuente: Ecuación 2.14; Capítulo 2; Volumen 3; *Directrices del IPCC de 2006*

Donde:

- M_{ca} : Masa de carbonatos consumidos (t).
- FE_c : Factor de emisión para carbonato de calcio.

4.2.2.2 Datos de actividad de la categoría

Producción de cemento (2.A.1.)

Los datos de actividad sobre la producción de cemento fueron entregados directamente por las tres principales empresas vinculadas al rubro en el país. Sin embargo, para completar la serie histórica fue necesario revisar otras fuentes. En primer lugar, para los años 1990-1994 se utilizó información de: Despachos de Cemento de la Cámara Chilena de la Construcción⁵⁶, la producción de caliza nacional según la Comisión Chilena del Cobre⁵⁷ (Cochilco) del Servicio Nacional de Geología y Minería⁵⁸ (Sernageomin), las importaciones de clínker (Aduanas) y un factor clínker de acuerdo con la tendencia 1995-2020. En segundo lugar, para el periodo 1995 – 2012, de forma adicional a la información de Despachos de Cemento y la revisión de importaciones y exportaciones de clínker, se revisó la participación de cada empresa en el mercado del cemento. Para el resto de los años se contó con información de todas las empresas, incluyendo así los datos entregados por ellos mismos y la información obtenida de RETC.

Respecto a los datos obtenidos (Tabla 4-9), es importante mencionar que la relación de consumo de clínker/producción de cemento específico de Chile en la serie histórica 1990 -2022 fue de 62,0 %. El 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 75,0 %. Esta diferencia se da ya que en Chile se ha utilizado históricamente Puzolana para reemplazar parte del clínker en el proceso productivo. Cabe destacar que, en la hoja de ruta de la industria del cemento, se dice que el mínimo factor clínker que ha registrado Chile es de 47,0 % y el máximo de 76,0 %.

Producción de cal (2.A.2.)

Los datos de actividad de la producción de cal fueron entregados por las grandes empresas productoras y el equipo de RETC. 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, debido a la demanda de cal en Chile, solo han comercializado cal importada. En la Tabla 4-9 se presenta el total de la producción nacional para toda la serie.

⁵⁶ <http://www.cchc.cl>

⁵⁷ <https://www.cochilco.cl/>

⁵⁸ <https://www.sernageomin.cl/>

Producción de vidrio (2.A.3.)

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 y, en su defecto a partir del RETC, lo cual también permitió verificar la información obtenida. Adicionalmente se reportó el porcentaje de cullet anual, el cual fue ponderado para obtener el promedio nacional por tipo de vidrio. La Tabla 4-9 presenta el total de la producción nacional y el porcentaje de cullet para toda la serie.

Otro uso de carbonatos en los procesos (2.A.4.)

Para la construcción de la serie 1990 – 2022, tal cual el proceso anterior de actualización, se realizó un pronóstico lineal de la serie histórica, para la cual se tomó como base el balance de carbonatos realizado por el equipo técnico de IPPU, en este se recopiló información sobre los diferentes usos que hay en el país y se cuantificó la cantidad por actividad. En este caso, además del uso del balance en sí, se recopiló información con las empresas de la producción de pulpa y papel y las empresas de fabricación de azúcar, este último particularmente por la venta de cal agrícola. Cabe destacar que, si bien el balance realizado fue exhaustivo en cuanto a la búsqueda de información, quedan algunos potenciales usos que podrían estar siendo excluidos de esta estimación, como el uso de carbonatos en las centrales de producción de energía o en el abatimiento de gases sulfurados en las fundiciones. Por otra parte, al no contar con algún proxy para la estimación de uso de carbonatos en las industrias del papel y celulosa, este valor fue dejado único para toda la serie. Si bien esto no es lo adecuado para la estimación, se consideró que la producción de estas empresas no presenta una gran variación, por lo que un valor fijo obtenido desde las empresas es un buen indicador. Los valores utilizados para la serie histórica se muestran en la Tabla 4-9.

Tabla 4-9. 2.A. Industria de los minerales: Datos de actividad por fuente de GEI, serie 1990-2022

Año	Cemento						Cal	Vidrio				Otros usos
	Producción de clínker (t)	Importaciones (t)	Exportaciones (t)	Consumo clínker (t)	Producción de cemento (t)	Relación Cl/Cm		Producción de cal viva (t)	Recipiente		Flotado	
								Producción (t)	% de cullet	Producción (t)	% de cullet	Producción de cal (t)
1990	1.322.917	21	-	1.322.938	2.626.477	0,50	160.201	55.272	39%	29.474	20%	97.698
1991	1.399.124	-	-	1.399.124	2.977.907	0,47	154.010	72.788	37%	29.474	20%	92.969
1992	1.705.075	59.612	-	1.764.687	3.329.338	0,53	170.820	90.304	36%	29.474	20%	104.839
1993	1.965.904	219.595	-	2.185.499	3.618.607	0,60	165.345	107.820	35%	29.474	20%	99.358
1994	2.190.538	92.068	-	2.282.605	3.595.171	0,63	186.968	125.336	34%	29.474	20%	99.403
1995	1.940.830	103.185	-	2.044.015	3.805.326	0,54	227.582	146.757	35%	29.474	20%	103.862
1996	1.880.936	533.246	-	2.414.182	4.070.387	0,59	244.862	188.852	35%	49.598	30%	95.959
1997	1.851.090	681.114	-	2.532.204	4.156.951	0,61	244.136	211.939	37%	89.468	25%	92.678
1998	2.212.737	369.769	-	2.582.506	4.232.642	0,61	254.582	221.235	35%	88.001	23%	97.654
1999	1.860.632	70.400	-	1.931.032	3.622.946	0,53	324.330	216.340	35%	90.402	20%	97.123
2000	1.977.267	291.925	-	2.269.192	3.877.587	0,59	313.039	257.734	34%	97.347	17%	94.039
2001	1.982.709	422.716	-	2.405.425	3.979.282	0,60	338.450	260.971	33%	87.319	22%	93.136
2002	2.111.742	295.229	-	2.406.971	3.944.157	0,61	296.530	281.391	33%	88.425	16%	95.896
2003	2.178.615	178.050	3	2.356.663	4.061.655	0,58	347.497	318.294	38%	95.308	14%	82.291
2004	2.335.509	244.525	1	2.580.033	4.187.937	0,62	428.916	342.276	33%	98.048	12%	87.012
2005	2.254.223	394.305	-	2.648.528	4.325.043	0,61	505.657	354.179	34%	102.202	13%	88.000
2006	2.419.367	362.626	8.124	2.773.869	4.407.082	0,63	503.189	396.068	35%	103.018	11%	83.981
2007	2.576.090	315.620	28.168	2.863.541	4.629.192	0,62	564.205	535.998	29%	110.095	11%	80.844
2008	2.558.472	369.112	3.002	2.924.582	4.745.137	0,62	537.355	535.516	30%	108.425	11%	75.951
2009	2.114.638	262.207	-	2.376.845	4.279.949	0,56	503.054	490.290	36%	100.726	11%	73.508
2010	2.047.785	532.281	5.760	2.574.306	4.237.098	0,61	558.918	614.292	35%	16.727	9%	78.431
2011	2.113.566	936.806	11.840	3.038.533	4.829.105	0,63	586.770	599.703	32%	90.015	18%	83.239
2012	2.206.324	987.886	20.527	3.173.683	4.716.897	0,67	645.973	588.798	35%	101.959	14%	84.633
2013	2.124.637	928.637	2.920	3.050.354	4.614.981	0,66	675.940	609.290	32%	103.497	11%	84.876
2014	1.999.736	789.246	8	2.788.974	4.190.305	0,67	759.871	614.583	32%	106.265	12%	84.373
2015	2.021.774	898.944	-	2.920.718	4.382.339	0,67	765.463	632.303	33%	104.695	15%	84.555
2016	2.192.282	920.186	3	3.112.465	4.313.188	0,72	835.745	717.193	33%	101.372	16%	82.354
2017	1.790.402	1.087.000	-	2.877.402	3.995.376	0,72	790.331	737.866	33%	105.693	15%	77.367
2018	1.429.377	1.467.209	-	2.896.586	3.992.818	0,73	809.464	755.165	33%	113.142	14%	76.494
2019	1.644.683	1.199.265	-	2.843.948	4.081.896	0,70	713.862	718.020	35%	106.170	17%	75.622
2020	1.721.426	943.505	-	2.664.931	3.796.976	0,70	776.624	698.501	41%	94.578	13%	74.749
2021	1.847.504	978.976	-	2.826.480	4.388.207	0,64	762.621	984.507	35%	113.050	11%	73.877
2022	1.665.395	892.972	-	2.558.367	3.802.114	0,67	744.325	979.655	36%	108.270	14%	73.005

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA con base en información de las empresas

4.2.2.3 Factores de emisión aplicados en la categoría

Producción de cemento (2.A.1.)

El factor de emisión de CO₂ de la producción de clínker depende tanto de su contenido de CaO como de la entrada de fuentes no carbonatadas de CaO. De acuerdo con lo informado por las empresas, el contenido de CaO en el clínker producido fluctúa entre 65,0 y 67,0 % y, ante la falta de información país específica, se asume que éste proviene en un 100 % del CaCO₃. También se asume, de acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006* (Sección 2.2.1.2; Capítulo 2; Volumen 3), que la calcinación en el horno alcanza un 100 %. De esta forma, el factor de emisión (EF_{cl}) sin incluir el factor de corrección del CKD es de 0,51 t CO₂/t clínker.

El factor corrector del CKD (CF_{CKD}) tiene por objeto sumar a las emisiones del clínker, las emisiones de las materias primas carbonatadas calcinadas. Este valor se consultó a las industrias durante el proceso de actualización anterior, en donde se confirmó que este porcentaje variaba entre un 0 % y 0,67 %. Como en este ciclo no fue posible levantar la información directamente desde las empresas, se optó por utilizar los datos de la serie 1990 – 2020, la que consideró un 0,2 % que se traduce en un factor de 1,002.

Producción de cal (2.A.2.)

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, cuyo valor se obtuvo directamente desde las empresas y de las fichas técnicas específicas por planta. De acuerdo con lo anterior, el factor de emisión queda calculado por la ecuación siguiente:

Ecuación 4-5. 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 4-10 detalla los parámetros utilizados para calcular el factor de emisión para la cal viva y estimar las emisiones de la industria, incluyendo el factor corrector para el LKD generado como producto derivado y el factor corrector para la cal viva “apagada” que se transforma en cal hidratada. Ante la falta de información adicional, ambos factores correctores son por defecto y siguen las *Directrices del IPCC 2006*. Adicionalmente, se expone el contenido de CaO en la cal (como un intervalo de valores), levantado de forma directa, como se mencionó anteriormente y la relación estequiométrica entre el CO₂ y la cal.

Producción de vidrio (2.A.3.)

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.

Otro uso de carbonatos en los procesos (2.A.4.)

El factor de emisión de CO₂ por el uso de carbonatos en otros procesos es el que corresponde al uso de carbonato de calcio (CaCO₃), ya que el levantamiento de información arrojó que el único carbonato usado por estas actividades era este mineral. De esta manera, según las *Directrices del IPCC de 2006* el factor utilizado es de 0,43971 toneladas de CO₂ por toneladas de carbonato (Cuadro 2.1; Capítulo 2; Volumen 3).

Tabla 4-10. 2.A. Industria de los minerales: Factores de emisión por fuente de GEI, serie 1990-2022

Fuente de GEI	Factor	Valor	Unidad
2.A.1. Producción de cemento	FE clinker	0,51	t CO ₂ /t clinker
	CKD ^(a)	1,002	-
2.A.2. Producción de cal	FE cal	0,785	t CO ₂ / t cal
	LKD ^(b)	1,02	-
	Factor corrector para la cal hidratada	0,97	-
	Contenido CaO	87,5 – 91,7	%
2.A.3. Producción de vidrio	FE vidrio recipiente y flotado	0,21	kg CO ₂ /kg vidrio
2.A.4. Otros usos de carbonatos en los procesos	FE para cal	0,43971	t CO ₂ /t cal

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA con base en Cuadro 2.4; Capítulo 2; Volumen 3; *Directrices del IPCC de 2006*. (a) Factor corrector de polvo de horno cemento. (b) Factor corrector polvo de horno cal.

4.2.3 Descripción de cualquier flexibilidad aplicada en la categoría

Durante este ciclo de actualización no se aplicaron criterios de flexibilidad en la estimación de emisiones.

4.2.4 Incertidumbre y coherencia de la serie temporal de la categoría

La incertidumbre combinada de las subcategorías correspondientes a la Industria de los minerales, fluctúa entre $\pm 3,60\%$ y $\pm 32,1\%$, considerando las recomendaciones de las *Directrices del IPCC de 2006* (disponible en la sección 2.2.2., 2.3.2., 2.4.2. y 2.5.2.; Capítulo 2; Volumen 3), ya que en general no se cuenta con información nacional de incertidumbre de los datos de actividad y factores de emisión. La mayor incertidumbre para las subcategorías de la Producción de cemento (2.A.1.) y Producción de cal (2.A.2.) está asociada a los datos de actividad que, si bien es información reportada directamente por las empresas, pueden presentar una gran variabilidad.

Respecto a la subcategoría de Producción de vidrio (2.A.3.) la incertidumbre combinada es $\pm 10,2\%$ y está asociada en mayor proporción a los factores de emisión, que son factores por defecto. Finalmente, para Otro uso de carbonatos en los procesos (2.A.4.), la incertidumbre combinada es de $\pm 3,60\%$, siendo baja tanto para los datos de actividad como para el factor de emisión.

Tabla 4-11. 2.A. Industria de los minerales: Incertidumbre combinada por fuente de GEI, serie 1990-2022

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	31,6%	31,6%	5,50%	5,50%	32,1%	32,1%
2.A.2.	Producción de cal	CO ₂	30,0%	30,0%	8,10%	8,10%	31,1%	31,1%
2.A.3.	Producción de vidrio	CO ₂	2,00%	2,00%	10,0%	10,0%	10,2%	10,2%
2.A.4.	Otros usos de carbonatos en los procesos	CO ₂	2,00%	2,00%	3,00%	3,00%	3,60%	3,60%

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

Para mantener la consistencia en la serie 1990-2022, se usaron los mismos factores de emisión y la misma fuente de datos de actividad, tanto estadísticos como paramétricos. Las fuentes de información utilizadas para la elaboración de la serie temporal de datos de actividad se mantuvieron e incluyen empresas, base de datos del RETC, reportes públicos de la Cámara Chilena de la Construcción e información sobre exportaciones e importaciones del Servicio Nacional de Aduanas.

Para el caso de la Producción de cal (2.A.2.), se mantuvo la diferenciación en el factor de CaO según planta de producción de cal (desde fichas técnicas), incluida durante el ciclo pasado. En este mismo parámetro se incrementó el detalle de la información utilizada puesto que una de las fuentes levantó directamente porcentajes de contenido de CaO en la cal producida por año. Para la Producción de vidrio (2.A.3.), se considera la variación del porcentaje de cullet según lo informado por cada empresa y, adicionalmente los valores de la serie fueron revisados, mostrando coherencia temporal y contextual, ya que responden a las fluctuaciones propias del mercado.

4.2.5 Procedimiento de garantía y control de calidad y verificación

Tanto para la subcategoría de la Producción de cemento, como para Producción de vidrio y Otros usos de carbonatos en los procesos, no se realizaron actividades de verificación en este ciclo de actualización. Sin embargo, si se desarrollaron actividades de verificación para la Producción de cal.

Producción de cal (2.A.2.)

Se compararon las emisiones resultantes de la aplicación del método nivel 1 y el método nivel 2 para la categoría (Tabla 4-12), la diferencia porcentual entre ambos métodos no supera el 10,2 %, quedando el nivel 1 por sobre el nivel 2, debido a la utilización del factor de emisión país específico.

Tabla 4-12. 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 1990-2022

Año	Nivel 2	Nivel 1	Diferencia (%)
1990	109,1	120,2	10,1%
1991	104,9	115,5	10,2%
1992	117,0	128,1	9,5%
1993	113,4	124,0	9,3%
1994	128,4	140,2	9,2%
1995	156,2	170,7	9,3%
1996	168,2	183,6	9,2%
1997	167,8	183,1	9,1%
1998	175,1	190,9	9,0%
1999	223,0	243,2	9,1%
2000	215,5	234,8	9,0%
2001	233,0	253,8	9,0%
2002	204,4	222,4	8,8%

Año	Nivel 2	Nivel 1	Diferencia (%)
2003	239,6	260,6	8,8%
2004	295,4	321,7	8,9%
2005	347,6	379,2	9,1%
2006	346,7	377,4	8,8%
2007	388,2	423,2	9,0%
2008	369,8	403,0	9,0%
2009	345,9	377,3	9,1%
2010	385,2	419,2	8,8%
2011	404,2	440,1	8,9%
2012	444,5	484,5	9,0%
2013	465,4	507,0	8,9%
2014	525,1	569,9	8,5%
2015	528,6	574,1	8,6%
2016	577,4	626,8	8,6%
2017	545,4	592,7	8,7%
2018	559,0	607,1	8,6%
2019	493,4	535,4	8,5%
2020	537,0	582,5	8,5%
2021	527,8	572,0	8,4%
2022	515,4	558,2	8,3%

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

4.2.6 Nuevos cálculos

Durante este ciclo de actualización no se realizaron nuevos cálculos para las subcategorías de la 2.A.1. Producción de cemento, 2.A.2. Producción de cal, 2.A.3. Producción de vidrio y 2.A.4. Otros usos de carbonatos en los procesos.

4.2.7 Mejoras planificadas para la categoría

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:

Producción de cemento (2.A.1.)

- Incrementar el detalle de información solicitada para trabajar con factor CKD específico.
- Levantar información acerca del uso de Puzolana en la producción de cemento en la serie histórica, con el objetivo de respaldar el uso de Clinker importado y producido nacionalmente. Chequear datos de actividad con balance de carbonatos.
- Instalar una propuesta de trabajo con el RETC para la recopilación de información más detallada para el método de estimación de nivel 2, como por ejemplo levantar los factores directamente a través de ellos.

Producción de cal (2.A.2.)

Durante este ciclo, para la industria de la Producción de cal, se implementó una mejora en el levantamiento de información respecto al contenido de CaO en la cal producida; si bien se mantuvo la metodología del ciclo 1990 - 2020, donde se usó la información de las fichas técnicas por plantas, una de las fuentes suministró información específica de contenido de CaO en la cal producida por año para el 2021 y 2022.

Entre las mejoras planificadas se encuentra:

- Verificar los niveles de actividad según el balance de carbonatos.
- Levantar un factor corrector para LKD específico o representativo por empresa.

Producción de vidrio (2.A.3.)

No se consideraron mejoras para esta subcategoría.

Otro uso de carbonatos en los procesos (2.A.4.)

- Levantar información sobre el uso de carbonatos en las industrias de la energía y fundiciones de cobre. Adicionalmente se debe actualizar el catastro de las fuentes productoras de este mineral, pues se tiene conocimiento de su producción a través de las conchas de mar durante el año 2023.
- Buscar algún proxy para mejorar la estimación de uso de carbonatos en los procesos de producción de pulpa.

4.3 Industria química (2.B.)

4.3.1 Descripción y tendencia de los GEI de la categoría

La categoría Industria química (2.B.) 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. En el contexto nacional, esta categoría incluye las emisiones de los procesos productivos siguientes:

- 2.B.2. Producción de ácido nítrico
- 2.B.8.a. Producción de metanol, y
- 2.B.8.b. Producción de etileno.

La categoría Industria química fue la cuarta categoría emisora de GEI del sector IPPU (2,8 %) durante el año 2022. Sus emisiones de GEI contabilizaron 229,9 kt CO₂ eq, disminuyendo en un 57,3 % desde 1990 e incrementándose en un 37,6 % desde 2020. La causa principal 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 esta 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, la instalación de nuevos equipos y a la eficiencia de los equipos de abatimiento. Evidencia de esto es que, durante el año 2019, se produjo un alza en las emisiones por producción de ácido nítrico, debido a una falla en los sistemas de abatimiento y control de las emisiones.

Respecto a las subcategorías, durante el año 2022, Producción petroquímica y de negro de humo (2.B.8.) la es la de mayor relevancia, contribuyendo un 59,0 % al total de emisiones GEI de la categoría de la Industria química, seguida de un 41,0 % de la Producción de ácido nítrico (2.B.2.). Los detalles de las emisiones se ven en la Tabla 4-13 y la Figura 4-10.

Tabla 4-13. 2.B. Industria química: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por subcategoría, serie 1990-2022

Subcategoría	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2022
2.B.2. Producción de ácido nítrico	252,2	252,2	437,7	730,6	145,0	246,3	89,8	94,1
2.B.8. Producción petroquímica y de negro de humo	286,2	239,0	481,8	743,1	178,4	13,1	77,3	135,7
Total	538,3	491,1	919,5	1.473,7	323,4	259,4	167,1	229,8

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

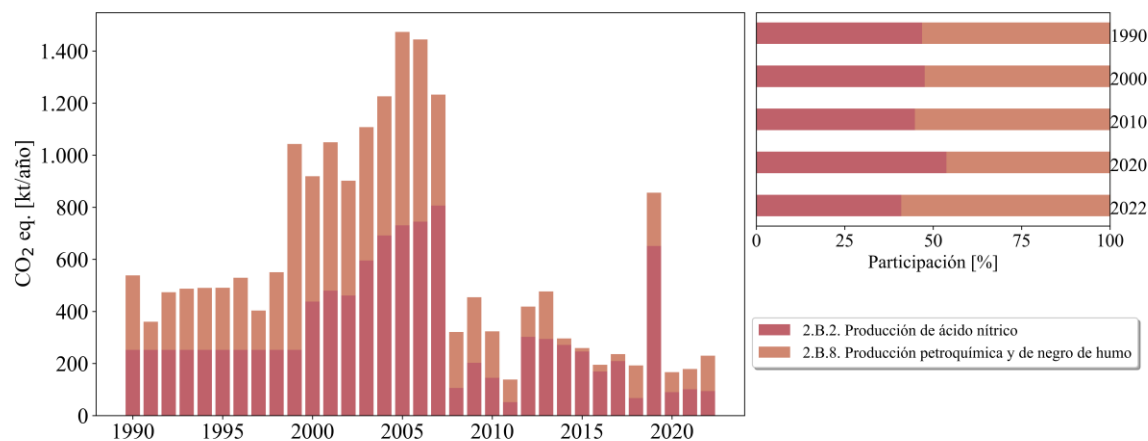


Figura 4-10. 2.B. Industria química: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por subcategoría, serie 1990-2022

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

La contribución de las dos subcategorías que participan ha sido relativamente constante en el tiempo, sin embargo, durante el año 2022, las emisiones asociadas a la Producción petroquímica y de negro de humo aumentaron su porcentaje de contribución, lo que adquiere relevancia si se considera que las emisiones totales del metano del sector IPPU se deben únicamente a este proceso productivo.

Producción de ácido nítrico (2.B.2.)

El ácido nítrico (HNO₃) 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 se genera óxido nitroso (N₂O) como un producto derivado no intencional de la oxidación catalítica a altas temperaturas del amoníaco (NH₃).

Entre 1990 y 2014, la producción de ácido nítrico en Chile presentó mayormente un crecimiento. Desde el 2015 al 2019 la producción decreció continuamente. A partir de esa fecha y hasta el 2022 la tendencia de la producción de HNO₃ ha sido al crecimiento.

La subcategoría Producción ácido nítrico (2.B.2.) contribuyó a las emisiones GEI de la Industria química en un 41,0 % del total durante el año 2022, contabilizando 94,1 kt CO₂ eq, lo que significa un decaimiento de un 62,7 % en sus emisiones desde 1990 y un incremento de 4,8 % desde 2020. La tendencia y las variaciones en la serie histórica responden tanto a las fluctuaciones en la producción como a la incorporación y funcionamiento de sistemas de abatimiento de N₂O a partir de 2008. Su serie histórica se muestra en la Tabla 4-14 y Figura 4-11, donde se aprecia un peak durante el año 2019, que responde a la falla de su sistema de abatimiento.

Tabla 4-14. 2.B.2.Producción de ácido nítrico: emisiones de GEI (kt CO₂ eq), serie 1990-2022

Subcategoría	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2022
2.B.2. Producción de ácido nítrico	252,2	252,2	437,7	730,6	145,0	246,3	89,8	94,1
Total	252,2	252,2	437,7	730,6	145,0	246,3	89,8	94,1

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

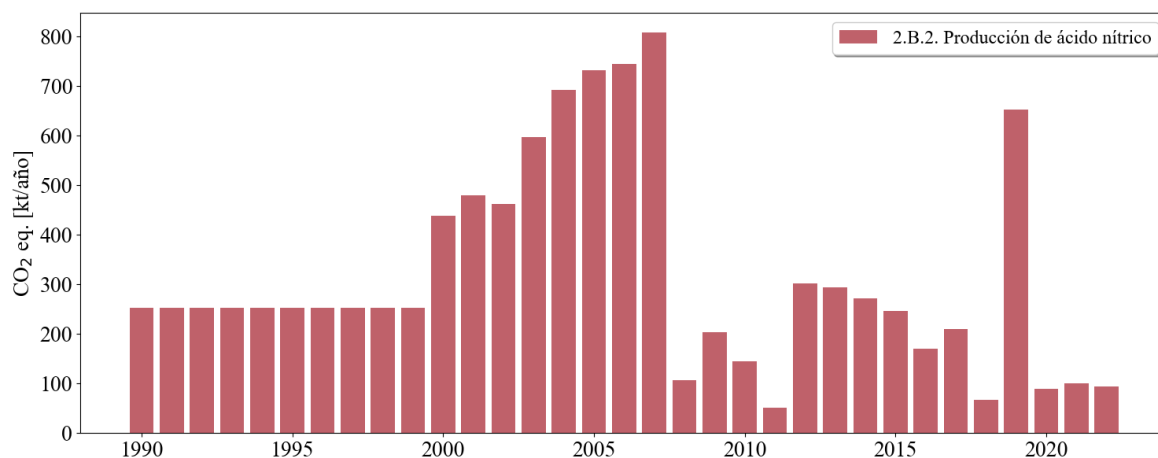


Figura 4-11. 2.B.2.Producción de ácido nítrico: emisiones de GEI (kt CO₂ eq), serie 1990-2022

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

Producción petroquímica y de negro de humo (2.B.8.)

La industria petroquímica utiliza combustibles fósiles o productos de refinerías de petróleo como materia prima en sus procesos, que en Chile incluyen: la producción de metanol y la producción de etileno.

Desde el año 1990 la producción petroquímica presenta en la serie un incremento que se ve interrumpido por una fuerte baja el año 2006. Éste se sostiene hasta el año 2016, donde la tendencia se vuelve al incremento y se desarrolla un peak en el año 2019, donde se alcanzan niveles de producción similares a los máximos históricos (1997 – 2008). Estas fluctuaciones responden particularmente a la oferta de gas natural, principal insumo en la industria de metanol. Respaldo de ello es que la producción de etileno, la otra subcategoría que compone la Producción petroquímica y negro de humo en Chile, se mantuvo constante hasta en 2014, cuando cerró la única planta productora en Chile, a cargo de ENAP (Memoria anual ENAP, 2014).

En 2022, las emisiones de GEI de la Producción petroquímica y negro de humo (2.B.8.) contabilizaron 135,7 kt CO₂ eq (representando el 59,0 % de las emisiones de GEI de la categoría), lo que conforma una disminución de 42,8 % desde 1990 y un incremento de 75,6 % entre el año 2020 y 2022 (Tabla 4-13 y Figura 4-10). La causa principal de la tendencia y las variaciones interanuales es la producción de metanol, que representa el 100 % de las emisiones de la subcategoría al 2022 (Tabla 4-15 y Figura 4-12) y que 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 4-15. 2.B.8. Producción petroquímica y de negro de humo: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por componente, serie 1990-2022

Componente	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2022
2.B.8.a. Metanol	237,4	191,8	426,8	685,2	143,2	13,1	77,3	135,7
2.B.8.b. Etileno	48,8	47,1	54,9	57,9	35,2	-	-	-
Total	286,2	239,0	481,8	743,1	178,4	13,1	77,3	135,7

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

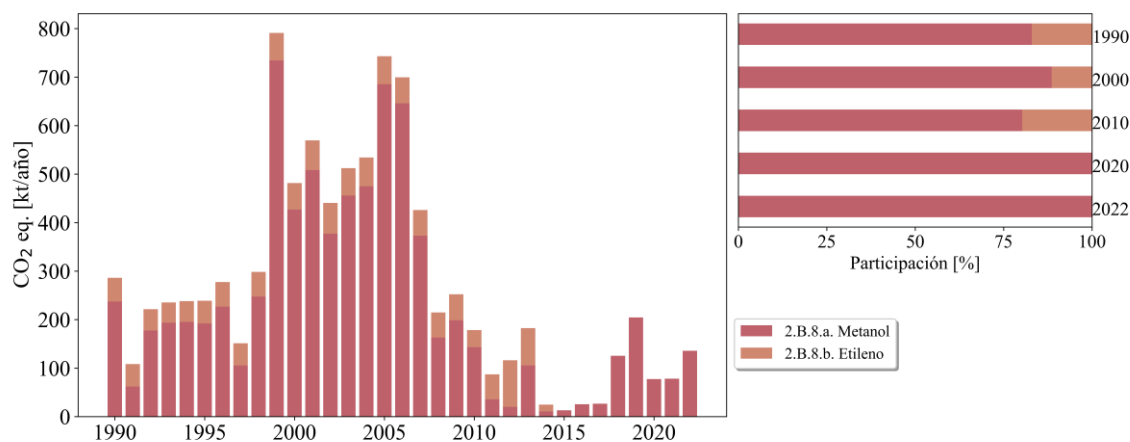


Figura 4-12. 2.B.8. Producción petroquímica y de negro de humo: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por componente, serie 1990-2022

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

4.3.2 Aspectos metodológicos de la categoría

Para la estimación de las emisiones de GEI de la Industria química, se aplicó el método nivel 3 en la subcategoría Producción de ácido nítrico (2.B.2.) gracias al reporte directo de niveles de actividad, factores de emisión, abatimiento y emisión anual de N₂O por parte de Enaex, que, en los procesos anteriores de actualización contaba con reportes al Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL). Para la subcategoría Producción petroquímica y de negro de humo, en la subcategoría 2.B.8.a. Metanol se aplicó el método nivel 2, que considera un balance de carbono entre el uso de gas natural y la producción de metanol. Para la subcategoría 2.B.8.b. Etileno se utilizó un método de nivel 1. De acuerdo con lo reportado por la Asociación Gremial de Industriales Químicos de Chile (ASIQUM A.G.)⁶⁰ no existe producción nacional representativa para el resto de las subcategorías.

⁵⁹ Recuperado de https://www.cmfchile.cl/documentos/hes/hes_2012030037842.pdf

⁶⁰ Recuperado de http://www.asiquim.com/nwebq/guia_quimica2014-16/empreyproduc/empreypro.html

La Producción petroquímica y de negro de humo (2.B.8.) corresponde a una categoría principal dentro del Inventario de GEI de Chile, lo que se debe particularmente a la producción de metanol. Su estimación a través de la aplicación del método nivel 2 permite cumplir la exigencia internacional de estimación para una categoría principal. Respecto a la categoría Producción de ácido nítrico (2.B.2.), ésta se estima con un método de nivel 3 a pesar de no ser categoría principal ya que se cuenta con información específica. En la Tabla 4-16 se observa un resumen de los métodos aplicados por subcategoría y por tipo de GEI

Tabla 4-16. 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, T2, NO	D, NO	T1, NO	D, NO	T3, 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,	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, T2	D	T1	D								
2.B.9. Producción fluoroquímica												
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

4.3.2.1 Aspectos metodológicos por subcategoría

Producción de ácido nítrico (2.B.2.)

Para la estimación de las emisiones de N₂O de la subcategoría Producción de ácido nítrico (2.B.b.) se aplicó el método de estimación 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, disponibles desde el año 2008. Si bien este monitoreo se ha llevado a cabo por los proyectos MDL⁶¹ en los procesos anteriores de actualización, que luego son certificados por la CMNUCC para generar, con las reducciones, bonos de carbono (CERs); para este ciclo no se contó con este reporte, sino sólo con la información directa desde los productores.

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 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. La estimación considera lo siguiente:

Ecuación 4-6. 2.B.2. Producción de ácido nítrico: emisiones de N₂O de la producción de ácido nítrico

$$Emisiones\ de\ N_2O = \sum EF * NAP * (1 - DF * ASUF)$$

Fuente: Basado en Ecuación 3.6; Capítulo 3; Volumen; Directrices del IPCC de 2006,

Donde:

- Emisiones de N₂O: emisiones de la producción de ácido nítrico, kg de N₂O.
- EF: factor de emisión país específico, kg N₂O/toneladas de ácido nítrico producido.
- NAP: producción de ácido nítrico, toneladas.
- DF: factor de destrucción, fracción
- ASUFj: factor de utilización del sistema de reducción, fracción

Producción petroquímica y de negro de humo (2.B.8.)

Para la estimación de emisiones de la subcategoría Producción petroquímica y de negro de humo se aplicó el método nivel 2 y nivel 1 de las *Directrices del IPCC de 2006*, para las componentes Metanol y Etileno respectivamente. En el caso de la industria del metanol, estas estimaciones se calculan a partir de un balance de carbono entre el gas natural utilizado como materia prima y el metanol producido. Para la industria del etileno, la estimación de emisiones considera la aplicación de los datos de la actividad productiva de etileno y el factor de emisión por defecto.

Metanol (2.B.8.a.)

Para la estimación de emisiones de CO₂ debido a la producción de metanol se aplicó el método de nivel 2 de las *Directrices del IPCC de 2006*, la que considera lo siguiente:

⁶¹ Recuperado de: <https://cdm.unfccc.int/Projects/projsearch.html>

Ecuación 4-7. 2.B.8. Producción petroquímica y de negro de humo: cálculo de la emisión de CO₂ de la producción de metanol (nivel 2)

$$Emisiones\ de\ CO_2 = ((GN * CC_{GN}) - [PM * CC_M]) * \frac{44}{12}$$

Fuente: Adaptado de ecuación 3.17; Capítulo 3; Volumen 3; Directrices del IPCC de 2006

Donde:

- Emisiones de CO₂: emisiones de CO₂ de la producción de metanol, toneladas.
- GN: Gas natural para la producción de metanol, en toneladas.
- CC_{GN}: Contenido de carbono en el gas natural para producción, en porcentaje.
- PM: Producción de metanol, en toneladas.
- CC_M: Contenido de carbono del gas natural, en porcentaje.

En este caso tanto el gas natural de entrada como el metanol producido se obtienen del Balance Nacional de Energía⁶² (BNE), que elabora el Ministerio de Energía de Chile. Sin embargo, para la desagregación del uso del gas natural solo se contó con algunos datos para los últimos años de la serie, por lo que la serie histórica se armó considerando la información levantada en la mesa de trabajo formada con la única empresa productora de metanol.

Como se mencionó anteriormente, 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 4-8.

Ecuación 4-8. 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*. La estimación considera lo siguiente:

⁶² Balance Nacional de Energía: <http://energiaabierta.cl/visualizaciones/balance-de-energia/>

Ecuación 4-9. 2.B.8. Producción petroquímica y de negro de humo: estimación de emisiones de CO₂ de la producción de etileno (nivel 1)

$$Emisiones\ de\ CO_2 = FE_{CO_2} \cdot PE \cdot GAF/100$$

Fuente: Ecuación 3.15; Capítulo 3; Volumen 3; *Directrices del IPCC de 2006*

Donde:

- Emisiones de CO₂: emisiones de CO₂ de la producción de etileno, toneladas.
- FE_{CO₂}: factor de emisión de CO₂ para la producción de etileno, toneladas de CO₂/toneladas de etileno producido.
- PE: producción de etileno, toneladas.
- GAF: factor de ajuste geográfico.

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 4-10. 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.

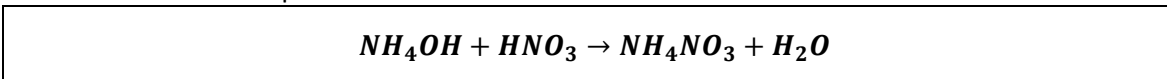
4.3.2.2 Datos de actividad de la categoría

Producción de ácido nítrico (2.B.2.)

Enaex produce ácido nítrico en 3 líneas de producción, dos de las cuales cuentan con abatimiento y sus respectivas emisiones de N₂O 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 1999-2020, con la que se puede estimar la producción de ácido nítrico por estequiometría de acuerdo con la siguiente reacción que se muestra en la Ecuación 4-11. Para los años 1990 – 1998, al no contar con información de producción exacta para estos años se utilizó la capacidad instalada en la única planta que operaba. Esto fue consultado con la empresa productora y validado por ellos mismo.

Para los últimos dos años de actualización (2021 y 2022), la producción no fue entregada de forma desagregada por línea de producción, pero si como un total, al igual que los factores de emisión. Si bien esto considera un menor detalle de la información respecto a años anteriores, su especificidad permite continuar aplicando el método de estimación de emisiones nivel 3. De esta manera, como dato de actividad se utilizó la producción de nitrato de amonio de la empresa, a partir de la cual se estimó la producción de ácido nítrico por estequiometría, sobre el cual se aplicó directamente el abatimiento.

Ecuación 4-11. 2.B.2. Producción de ácido nítrico: estequiometría de la reacción para la producción de nitrato de amonio a partir de ácido nítrico



Producción petroquímica y de negro de humo (2.B.8.)

Los datos de actividad de la producción de metanol y de etileno fueron obtenidos del BNE, también el uso de gas natural para el caso del metanol. Todos los valores mencionados anteriormente se trabajaron unidades energéticas (Tcal) los que fueron llevados a unidades másicas por el equipo técnico del sector IPPU. Los paramétricos utilizados para las transformaciones de unidades se muestran en la Tabla 4-17:

Tabla 4-17. 2.B.8. Producción petroquímica y de negro de humo: Poderes caloríficos del BNE.

Paramétricos	Valor	Unidad
Poder calorífico Metanol	5.413	kcal/kg
Poder calorífico Etileno	12.020	kcal/kg
Densidad gas natural	0,637	kg/m ³
Poder calorífico gas natural	9.341	Kcal/m ³

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA en base al BNE elaborado por el Ministerio de Energía

Cabe destacar que la densidad del gas natural varía según la temperatura y presión a la que este se encuentre, por lo que hay un rango de valores que podrían aplicarse. Para este inventario se consideró el valor utilizado en el Manual de Registro de Caldera y Turbinas para el pago de Impuestos Verdes⁶³, del RETC, donde este valor fue consultado y validado con la única empresa productora de metanol.

Para el caso de metanol fue necesario elaborar una serie temporal que incluyera la cantidad de gas natural utilizado (carbón entrante) en el proceso de producción, lo cual se encuentra en el BNE junto a la producción de metanol. A partir de esta información se puede realizar el balance de carbonos, considerando adicionalmente que los usos del gas natural entrante son la producción de metanol y en procesos energéticos de la misma empresa.

Para asignar la cantidad de gas natural destinado a la producción de metanol se siguieron tres principios. Primero, se consideró un balance del mínimo de gas natural necesario para elaborar metanol, esto considerando un balance estequiométrico entre ambos. Segundo, la cantidad total de metanol utilizado por la empresa en todos sus procesos solo se alimenta de gas natural. Y tercero, el porcentaje de eficiencia máximo de la planta que, según la información levantada con la empresa, alcanza los máximos de eficiencia cuando aumenta la producción.

⁶³Recuperado de: https://vu.mma.gob.cl/manuals/impuestoverde/MANUAL_REGISTRO_DE_CALDERAS_Y_TURBINAS_MMA.pdf

Considerando lo anterior se elaboró una serie de tiempo para los años en que no se contaba con información sobre el destino del gas natural de entrada. La serie considera que, del total del gas natural utilizado por la empresa, el 90 % se utiliza para la producción de metanol, el restante se utiliza en otros procesos que son contabilizados en el sector Energía. Esto aplicó para la serie de datos de 1990 – 2012, para el resto de los años se utilizó la información directa del BNE que desde el año 2013, diferencia los usos de gas natural por la empresa. Cabe destacar que algunos de los porcentajes de uso de gas natural fueron inferiores al mínimo necesario, por lo que para esos años se consideró que el uso de gas natural fue el mínimo necesario para la producción, que se traduce en emisiones nulas para esos años. Los datos de actividad utilizados en la estimación de emisiones asociadas a la Industria química se muestran en la Tabla 4-18.

Tabla 4-18. 2.A. Industria química: Datos de actividad por fuente de GEI, serie 1990-2022

Año	Ácido nítrico	Metanol			Etileno
	HNO ₃ *	Metanol (Tcal)	GN para metanol (Tcal)	GN para otros procesos (Tcal)	Etileno (Tcal)
1990	110.268	4.623	7.561	840	483
1991	110.268	3.751	5.406	601	461
1992	110.268	4.547	7.124	792	438
1993	110.268	4.368	6.972	775	416
1994	110.268	4.731	7.471	830	425
1995	110.268	4.552	7.211	801	467
1996	110.268	4.617	7.493	833	502
1997	110.268	8.850	12.527	874	456
1998	110.268	9.202	13.794	1.533	507
1999	110.268	12.499	20.957	2.329	564
2000	191.393	15.761	23.644	2.627	544
2001	209.902	15.070	23.165	2.574	610
2002	201.711	15.871	23.516	2.613	628
2003	260.546	14.631	22.282	2.476	558
2004	302.527	14.572	22.307	2.479	588
2005	319.461	16.394	25.939	2.882	573
2006	325.683	17.224	26.840	2.982	532
2007	352.777	9.967	15.528	1.725	522
2008	200.109	5.888	8.852	984	514
2009	386.275	5.098	7.985	887	532
2010	360.853	5.064	7.630	848	349
2011	325.741	2.998	4.244	1.183	511
2012	667.395	1.698	2.404	993	952
2013	686.184	1.103	2.076	246	765
2014	753.326	895	1.267	825	140
2015	628.801	1.104	1.563	630	-
2016	580.811	2.136	3.024	1.291	-
2017	564.782	2.241	3.172	1.072	-
2018	564.877	3.311	5.165	1.315	-
2019	563.824	5.684	8.808	1.922	-
2020	680.624	4.547	6.566	1.496	-
2021	624.235	4.370	6.331	1.419	-
2022	674.509	4.802	7.235	1.716	-

Nota: (*) Datos de producción de HNO₃ desde proyectos MDL y reporte directo.

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA.

4.3.2.3 Factores de emisión aplicados en la categoría

Producción de ácido nítrico (2.B.2.)

Hasta el año 2020, Enaex contaba con dos proyectos MDL, “Panna 3” y “Panna 4”, para ambos se reportaban, en períodos definidos de tiempo, toneladas de HNO₃ producido y sus emisiones de N₂O asociadas. Los registros se consolidaron en emisiones anuales y, adicionalmente se estimó 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, que 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.

Durante este ciclo, si bien no se contaba con el reporte MDL con el cual se trabajó en los procesos de actualización pasados, en esta ocasión la empresa informó directamente factores de emisión, abatimiento y producción.

Utilizando la producción de HNO₃ y las emisiones de N₂O se estimaron factores de emisión equivalentes por año, cuyo promedio resultó ser a 1,20 kg N₂O/t HNO₃ sin considerar el año 2019 por la falla en el sistema de abatimiento. El valor obtenido es menor al recomendado por defecto en las *Directrices del IPCC del* (Cuadro 3.3; Capítulo 3; Volumen 3) que es de 2,5 kg N₂O/t HNO₃ para plantas con proceso integrado y destrucción del gas al final del proceso.

Tabla 4-19. 2.B.2. Producción de ácido nítrico: Factor de emisión equivalente (kg N₂O/tHNO₃) 2008-2022.

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
2019	4.36*
2020	0.50
2021	0.56
2022	0.52

Nota: (*) Factor de emisión equivalente obtenido durante el año en que se presentó la falla del sistema de abatimiento.

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

Producción petroquímica y de negro de humo (2.B.8.)

Para estimar las emisiones de CH₄ asociadas a la producción de metanol, se usó un factor de emisión por defecto según las *Directrices del IPCC de 2006*, que tiene un valor de 2,3 kg de CH₄ por tonelada de metanol (Sección 3.9.2.2.; Capítulo 3; Volumen 3; *Directrices del IPCC de 2006*), mientras que para estimar las emisiones de CO₂ no se utilizó factor de emisión, si no que el balance de carbono.

Los factores de emisión asociados a la industria del etileno dependen del tipo de proceso. Para seleccionar los factores se consideró un proceso de escisión al vapor, siendo el etano la materia prima cuando no se cuenta con información adicional, de acuerdo con lo recomendado por las *Directrices del IPCC de 2006* (Cuadro 3.11; Capítulo 3; Volumen 3). En la Tabla 4-20 se muestra un resumen de los factores de emisión utilizados en los cálculos de esta componente.

Tabla 4-20. 2.B. Industria química: Factores de emisión por fuente de GEI, serie 1990-2022

Fuente de GEI	Factor	Valor	Unidad
2.B.2. Producción de ácido nítrico	FE ácido nítrico s/abatimiento (1990 -2008) ^(a)	8,63	kg N ₂ O/t HNO ₃
	FE ácido nítrico c/abatimiento ^(a)	1,20	kg N ₂ O/t HNO ₃
2.B.8.a. Metanol	FE CH ₄ ^(b)	2,3	kg CH ₄ /kg t metanol
2.B.8.b. Etileno	FE CO ₂ ^(c)	0,95	t CO ₂ /t etileno
	FE CH ₄ ^(d)	6	kg CH ₄ /t etileno
	Factor de ajuste geográfico ^(e)	110	%

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA con base en (a) Estimación desde datos suministrados por empresa; (b) Sección 3.9.2.2.; Capítulo 3; Volumen 3; Directrices del IPCC de 2006; (c) Cuadro 3.14; Capítulo 3; Volumen 3; Directrices del IPCC de 2006; (d) Cuadro 3.16; Capítulo 3; Volumen 3; Directrices del IPCC de 2006; (e) Cuadro 3.15; Capítulo 3; Volumen 3; Directrices del IPCC de 2006.

4.3.3 Descripción de cualquier flexibilidad aplicada en la categoría

Durante este ciclo de actualización no se aplicaron criterios de flexibilidad en la estimación de emisiones.

4.3.4 Incertidumbre y coherencia de la serie temporal de la categoría

Producción de ácido nítrico (2.B.2.)

La incertidumbre combinada de las subcategorías correspondientes a la Industria química fluctúa entre $\pm 10,2\%$ y $\pm 42,4\%$, considerando las recomendaciones de las *Directrices del IPCC de 2006* (disponible en la sección 3.3.3, y cuadro 3.27; Capítulo 2; Volumen 3), ya que en general no se cuenta con información nacional de incertidumbre de los datos de actividad y factores de emisión. Destaca que la mayor incertidumbre para la subcategoría de Producción de ácido nítrico (2.B.2) está asociada al factor de emisión, y que, aun cumpliéndose lo anterior, esta es una de las más bajas el inventario, considerando que la producción cuenta con sistemas de abatimiento.

Producción petroquímica y de negro de humo (2.B.8.)

Respecto a la componente de Metanol (2.B.8.a.), la incertidumbre combinada es de $\pm 42,4\%$ y está asociada en igual magnitud a los datos de actividad y factor de emisión tanto para CO₂ como para CH₄. La incertidumbre por la producción de etileno no se presenta, ya que no se cuenta con producción en 2022.

Tabla 4-21. 2.A. Industria química: Incertidumbre combinada por fuente de GEI, serie 1990-2022

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	2,00%	2,00%	10,0%	10,0%	10,2%	10,2%
2.B.8.a.	Metanol	CH ₄	30,0%	30,0%	30,0%	30,0%	42,4%	42,4%
2.B.8.a.	Metanol	CO ₂	30,0%	30,0%	30,0%	30,0%	42,4%	42,4%

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

Para mantener la consistencia en la serie 1990-2022, se usaron los mismos factores de emisión y la misma fuente de datos de actividad, tanto estadísticos como paramétricos. Las fuentes de información utilizadas para la elaboración de la serie temporal de datos de actividad se mantuvieron e incluyen empresas y el Balance Nacional de Energía.

4.3.5 Procedimiento de garantía y control de calidad y verificación

Sólo para la subcategoría 2.B.2. Producción de ácido nítrico, se realizaron actividades de verificación; no así para el componente de 2.B.8.a. Metanol.

Producción de ácido nítrico (2.B.2.)

Las emisiones estimadas mediante los distintos niveles fueron comparadas a partir del año 2008 (monitoreo continuo de emisiones). Como se ilustra en la Figura 4-13, la tendencia es similar para los niveles metodológicos 2 y 3, mientras que para el nivel 1 la estimación es más alta debido a que no considera abatimiento. Cabe destacar el peak de las emisiones en el año 2019, en donde el método de nivel 3 supera las emisiones de nivel 2, debido a la falla del sistema de abatimiento en una de las plantas de producción, por lo que el resultado de las emisiones se parece más a las emisiones resultantes de una estimación de nivel 2.

Considerando que para los últimos dos años de la serie la información provino directamente desde la empresa y no desde el MDL (validado por la CMNUCC), se comprobó que los datos fuesen coherentes con la serie histórica, tanto el factor de emisión, como la producción de HNO_3 y NH_4^+NO_3 y abatimiento. Finalmente se corroboró que las emisiones estimadas con nivel metodológico 3 para N_2O , conversaran con la tendencia de la serie histórica.

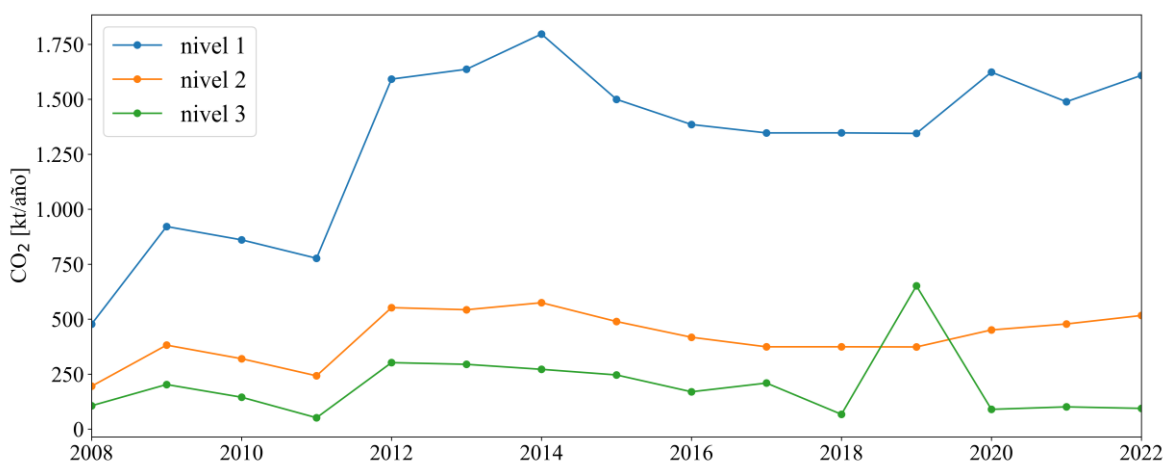


Figura 4-13. 2.B.2. Producción de ácido nítrico: comparación de emisiones de N_2O (t) por nivel metodológico, serie 2008-2022.

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

4.3.6 Nuevos cálculos

Durante este ciclo de actualización no se realizaron nuevos cálculos para las subcategorías de la 2.B.2. Producción de ácido nítrico ni para la 2.B.8. Producción petroquímica y de negro de humo.

Los nuevos cálculos de esta categoría se asocian únicamente con la actualización de los potenciales de calentamiento atmosférico (PCA) de las especies, en este caso el N₂O; el cual disminuye al actualizar la metodología de estimación usando AR5 en lugar del AR4.

4.3.7 Mejoras planificadas para la categoría

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:

Producción de ácido nítrico (2.B.2.)

- En caso de que la empresa migre de MDL a MDS, utilizar esos reportes como fuente de información, para obtener datos desagregados por línea de producción.

Producción petroquímica y de negro de humo (2.B.8.)

- Buscar algún indicador que permita diferenciar los consumos de gas natural para producción de metanol y para otros procesos, esto para evitar problemas de reporte entre las emisiones del sector Energía e IPPU.

4.4 Industria de los metales (2.C.)

4.4.1 Descripción y tendencia de los GEI de la categoría

La categoría Industria de los metales incluye las emisiones de GEI que resultan de la producción de metales.

En el contexto nacional, esta categoría incluye las emisiones de los procesos productivos siguientes:

- 2.C.1. Producción de hierro y acero
- 2.C.2. Producción de ferrosaleaciones
- 2.C.5. Producción de plomo

La Industria de los metales es la tercera categoría que más contribuye a las emisiones de GEI del sector IPPU (6,0 %). Durante el año 2022, sus emisiones contabilizaron 489,2 kt CO₂ eq, incrementándose en un 12,9 % desde 1990 y en un 10,6 % desde 2020. La tendencia y las variaciones interanuales de la serie histórica están dominadas por la producción de hierro y acero, que responden a las fluctuaciones del mercado⁶⁴ y además a la eficacia en el aprovechamiento de los gases generados en los altos hornos. Respecto de dependencia del mercado, esta se evidencia por ejemplo en 2009 y 2010 que afectaron la producción la crisis económica mundial y el terremoto de Chile (Tabla 4-22 y Figura 4-14).

⁶⁴Recuperado de: <https://www.cochilco.cl/web/mercado-de-minerales/>

Respecto a las subcategorías (Figura 4-14), la Producción de hierro y acero (2.C.1.) es la de mayor relevancia, ya que contribuye con un 98,8 % de las emisiones de GEI de la categoría Industria de los metales. El resto corresponde a la Producción de plomo (2.C.5.). A partir de 2002 se dejaron de producir ferroaleaciones en el país por lo que desde ese año las emisiones de esa subcategoría no ocurren.

Tabla 4-22. 2.C. Industria de los metales: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por subcategoría, serie 1990-2022

Subcategoría	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2022
2.C.1. Producción de hierro y acero	401,6	524,9	634,4	561,7	457,0	477,9	435,8	483,4
2.C.2. Producción de ferroaleaciones	31,7	38,5	8,5	NO	NO	NO	NO	NO
2.C.5 Producción de plomo	NO	NO	NO	NO	1,4	3,5	6,4	5,8
Total	433,3	563,3	642,9	561,7	458,4	481,3	442,2	489,2

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

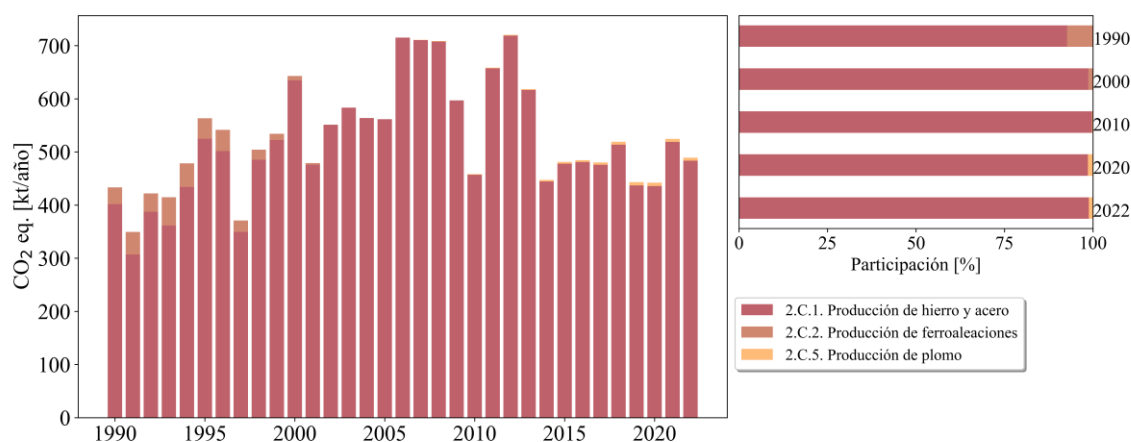


Figura 4-14. 2.C. Industria de los metales: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por subcategoría, serie 1990-2022

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

Desde 1990 que las emisiones de la Industria de los metales se encuentran dominadas por la Producción de hierro y acero (2.C.1.) cuyo principal GEI liberado es el CO₂. Adicionalmente, la totalidad de las emisiones de los precursores COVDM y SO₂ del sector IPPU provienen de la Industria de los metales.

Producción de hierro y acero (2.C.1.)

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 como elemento matriz para alojar otros elementos de aleación, tanto metálicos como no metálicos, que confieren distintas propiedades al material.

Entre 1990 y 2022, la producción de hierro en Chile ha sufrido variaciones interanuales que responden principalmente a 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 2013⁶⁵. 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. Desde el año 2014 a la fecha, la serie temporal de producción de acero se ha mantenido casi constante.

En 2022 las emisiones de GEI de Producción de hierro y acero (2.C.1.) contabilizaron 483,4 kt CO₂ eq (lo que representa el 98,8 % de las emisiones de la categoría) aumentando en un 20,4 % desde 1990 y en un 10,9 % desde 2020 (Tabla 4-22 y Figura 4-14). El principal causante de la tendencia y las variaciones interanuales de la serie histórica, son las emisiones asociadas a la producción de acero de BOF, que contribuye en un 83,6 % al total de las emisiones de la subcategoría en el 2022 (Tabla 4-23 y Figura 4-15).

Es importante mencionar que durante el 2010 se produjo una disminución de las emisiones debido a la crisis internacional y a las dificultades de la industria ubicadas en el sur del país luego del terremoto ocurrido en febrero de ese año. Adicionalmente desde 2013 se detiene la producción de aceros planos, y se enfoca únicamente en aceros largos disminuyendo significativamente la producción⁶⁶.

Tabla 4-23. 2.C.1. Producción de hierro y acero: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por componente, serie 1990-2022

Componente	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2022
Producción de Pellet	48,3	59,8	57,4	48,4	54,6	51,2	13,1	49,6
Producción de Acero BOF	353,3	460,3	560,0	483,1	361,8	404,2	397,8	404,0
Producción de Acero EAF	0,0	4,8	17,0	30,1	40,6	22,4	24,9	29,9
Total	401,6	524,9	634,4	561,7	457,0	477,9	435,8	483,4

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

⁶⁵ Recuperado de:

https://www.cochilco.cl/Mercado%20de%20Metales/Mercado%20internacional%20del%20hierro%20y%20el%20acero_VF.pdf

⁶⁶ Recuperado de:

https://www.cap.cl/cap/site/artic/20180910/asocfile/20180910181440/presentacion_erick_weber_aprimin_5_septiembre_2018_web.pdf

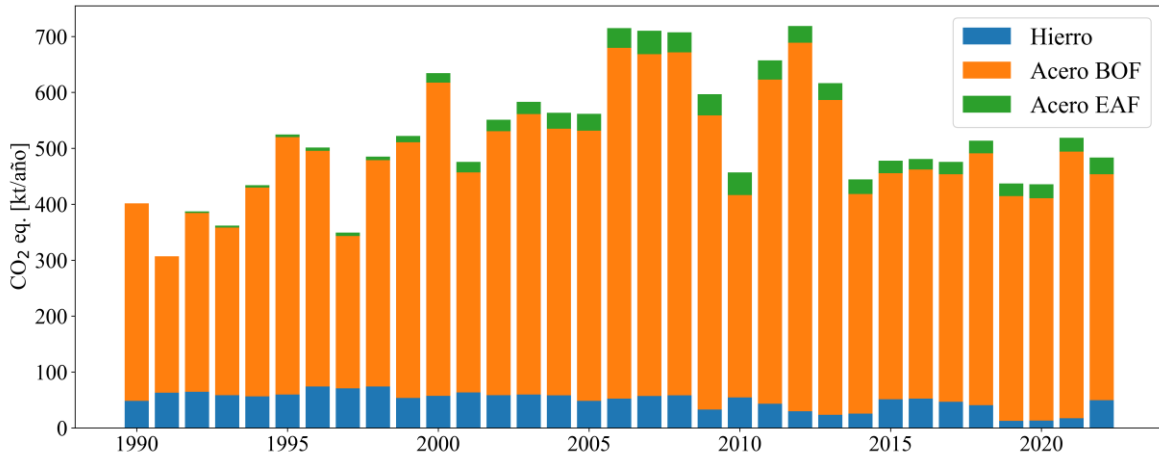


Figura 4-15. 2.C.1. Producción de hierro y acero: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por componente, serie 1990-2022

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

Producción de ferroaleaciones (2.C.2.)

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.

Producción de plomo (2.C.5.)

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 del plomo reciclado proviene de la chatarra de las baterías ácidas, que se trituran con molino de martillo y se introducen en el proceso de fundición con o sin desulfuración, o bien, se funden enteras. Al igual que en el caso de los hornos utilizados para la producción primaria de plomo en bruto, los que se utilizan 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 desde la única 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.

En 2022, las emisiones de GEI de Producción de plomo (2.C.5.) contabilizaron 5,8 kt CO₂ eq, lo que conforma un 1,2 % de las emisiones de la Industria de los metales. Esta variación significó una disminución de 10,5 % desde el 2022 (Tabla 4-24 y Figura 4-16). Las fluctuaciones de las emisiones de esta subcategoría responden esencialmente al aumento en la cantidad de baterías recicladas, en donde se observa una clara tendencia al alza. Cabe destacar que en 2009 no hubo producción, por lo que las emisiones son nulas.

Tabla 4-24. 2.C.5. Producción de plomo: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por componente, serie 1990-2022

Subcategoría	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2022
2.C.5. Producción de plomo	NO	NO	NO	NO	1,4	3,5	6,4	5,8
Total	NO	NO	NO	NO	1,4	3,5	6,4	5,8

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

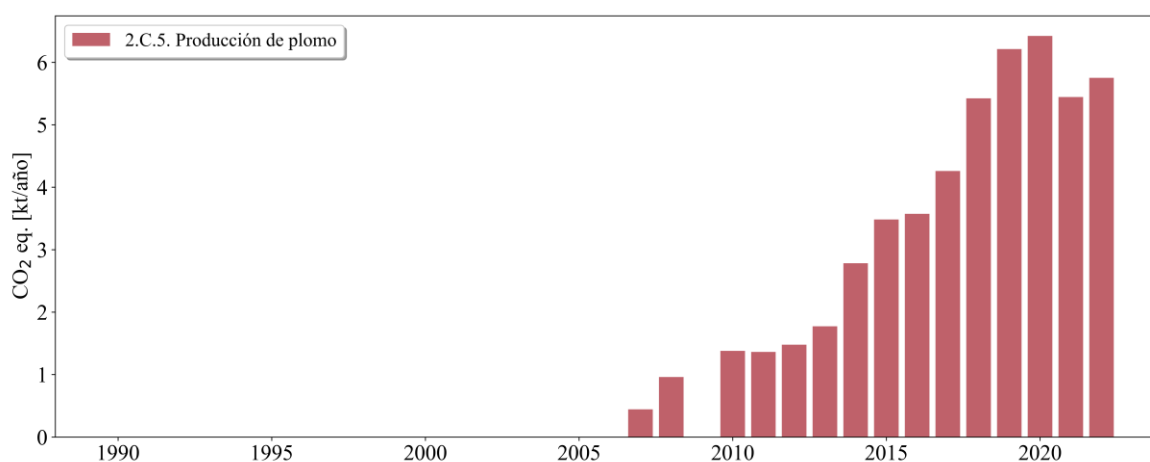


Figura 4-16. 2.C.5. Producción de plomo: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por componente, serie 1990-2022

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

4.4.2 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 metalmecánicas (ASIMET), no se registran actividades para el resto de las subcategorías. A partir del 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 ferrocromo⁶⁷. Adicionalmente desde 2007 se comienzan a reciclar baterías de plomo en el país, por lo que aparecen emisiones en la subcategoría Producción de plomo (2.C.5.).

⁶⁷ Recuperado de: http://www.molymet.cl/en/Inversionistas/Memorias/MO_MEM_2006.pdf

Dentro de la Industria de los metales no se cuenta con categorías principales, sin embargo, tanto la subcategoría Producción de hierro y acero como. Producción de plomo son estimadas con un método nivel 2, debido a la disponibilidad de información para ambas actividades. En la Tabla 4-25 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 la categoría Industrias manufactureras y de la construcción (1.A.2.) del sector Energía, específicamente en la componente Hierro y acero (1.A.2.a.).

Tabla 4-25. 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

4.4.2.1 Aspectos metodológicos por subcategoría

Producción de hierro y acero (2.C.1.)

Para la estimación de emisiones de la subcategoría Producción de hierro y acero (2.C.1.) se aplicó el método nivel 2 de las *Directrices del IPCC de 2006*, 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. La estimación considera lo siguiente:

Ecuación 4-12. 2.C.1. Producción de hierro y acero: estimación de emisiones de CO₂ provenientes de la producción de hierro y acero (nivel 2)

$$E_{CO_2} = \left[PC * C_{PC} + \sum_a (COB_a * C_a) + CI * C_{CI} + L * C_L + D * C_D + CE * C_{CE} + \sum_b (O_b * C_b) + COG * C_{COG} - S * C_S - IP * C_{IP} - BG * C_{BG} \right] * \frac{44}{12}$$

Fuente: Ecuación 4.9; Capítulo 4; Volumen 3; Directrices del IPCC de 2006

Donde:

- E_{CO2}: emisiones totales de CO₂ de la industria del hierro y acero, toneladas.
- PC: cantidad de coque consumido en la producción de hierro y acero (excluida la producción de sinterizado), toneladas
- COB_a: cantidad de producto derivado *a* de horno de coque local consumido en alto horno, toneladas.
- CI: cantidad de carbón inyectado directamente al alto horno, toneladas.
- L: cantidad de piedra caliza consumida en la producción de hierro y acero, toneladas.
- D: cantidad de dolomita consumida en la producción de hierro y acero, toneladas.
- CE: cantidad de electrodos de carbono consumidos en los EAF, toneladas.
- O_b: cantidad de otro carbonáceo y material de proceso *b*, consumido en la producción de hierro y acero, toneladas.
- COG: cantidad de gas de horno de coque transferido fuera de la instalación, Gcal.
- S: cantidad de acero producido, toneladas.
- IP: cantidad de producción de hierro no convertido en acero, toneladas.
- BG: cantidad de gas de alto horno transferido fuera de la instalación, Gcal.
- C_x: contenido de carbono del material de entrada o salida *x*, toneladas de C/unidad del material *x*.

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 (OHR, 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, 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.

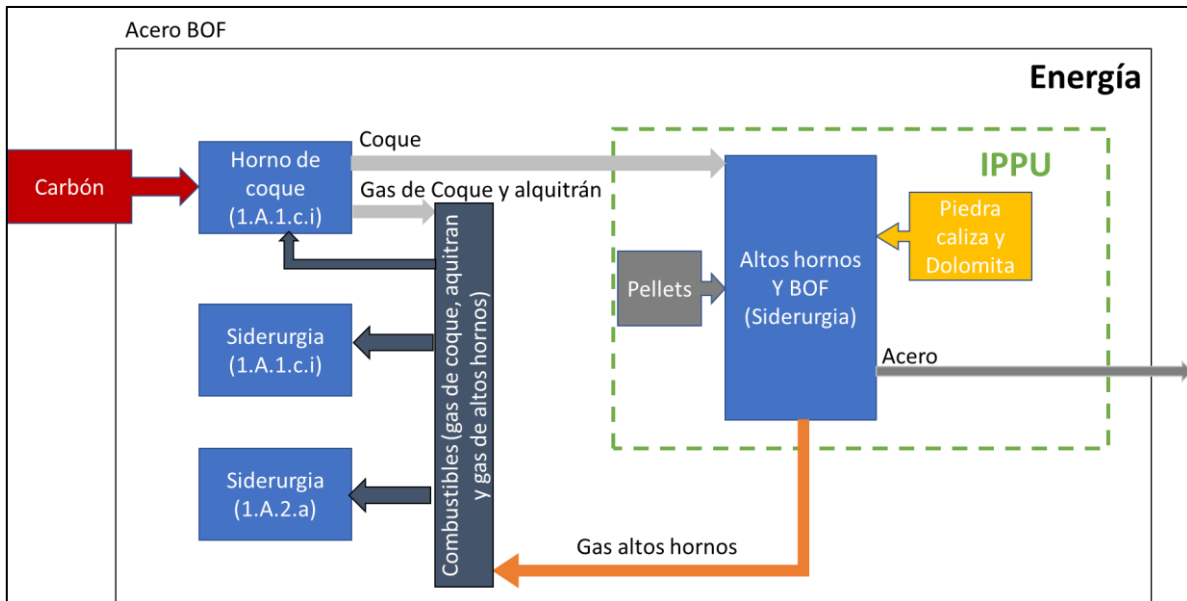


Figura 4-17. 2.C.1. Producción de hierro y acero: Diagrama de flujos para diferenciar emisiones consideradas en el sector IPPU y el sector Energía.

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

Producción de ferroaleaciones (2.C.2.)

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 CH_4 . Lo anterior queda representado por las ecuaciones siguientes:

Ecuación 4-13. 2.C.2. Producción de ferroaleaciones: estimación de emisiones de CO_2 para la producción de ferroaleaciones (nivel 1)

$$Emisiones\ de\ CO_2 = \sum_i MP_i \cdot FE_i$$

Fuente: Ecuación 4.15; Capítulo 4; Volumen 3; Directrices del IPCC de 2006

Ecuación 4-14. 2.C.2. Producción de ferroaleaciones: estimación de emisiones de CH_4 de la producción de ferrosilicon (nivel 1)

$$Emisiones\ de\ CH_4 = MF \cdot FE_{CH_4}$$

Fuente: con base en Ecuación 4.18; Capítulo 4; Volumen 3; Directrices del IPCC de 2006

Donde:

- Emisiones de CO₂: emisiones de CO₂ de la producción nacional de ferroaleaciones, toneladas.
- MP_i: producción de la ferroaleación de tipo *i*, toneladas.
- FE_i: factor de emisión de CO₂ para la ferroaleación *i*, tonelada de CO₂/tonelada de ferroaleación del tipo *i*.
- Emisiones de CH₄: emisiones de CO₂ de la producción nacional de ferroaleaciones, kg.
- MF: producción de ferrosilicon, toneladas.
- FE_{CH₄}: factor de emisión de CH₄ para la producción de ferrosilicon, kg de CH₄/toneladas de ferrosilicon.

Producción de plomo (2.C.5.)

Para la estimación de emisiones de la subcategoría Producción de plomo (2.C.5.) se aplicó un método de estimación nivel 2 de acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006*, en ella se utiliza la materia prima del proceso y la aplicación de contenidos de carbón correspondientes reportados por la misma empresa. Lo anterior queda representado por la siguiente ecuación:

Ecuación 4-15. 2.C.5. Producción de plomo: estimación de emisiones de CO₂ para la producción de ferroaleaciones (nivel 2)

$$Emisiones\ de\ CO_2 = \left[\sum_i AR_i \cdot C_i \right] * 44/12$$

Fuente: basado en Ecuación 4.9; Capítulo 4; Volumen 3; Directrices del IPCC de 2006

Donde:

- Emisiones de CO₂: emisiones de CO₂ de la producción nacional de plomo, toneladas.
- AR_i: cantidad de agente reductor de tipo *i*, toneladas.
- C_i: contenido de carbón de agente reductor tipo *i*, tonelada de C/tonelada de agente reductor del tipo *i*.

4.4.2.2 Datos de actividad de la categoría

Producción de hierro y acero (2.C.1.)

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 a partir de 1995. Dado que se tiene conocimiento de que la producción de acero EAF comenzó en 1992⁶⁸, tanto la producción como los consumos de materias primas para 1992-1994 fueron estimado a partir de una regresión exponencial de los datos de 1995-2007.

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 11.3.1.

⁶⁸ Recuperado de <http://www.cochilco.cl/estudios/info-hierro.asp>

Producción de ferroaleaciones (2.C.2.)

Las estadísticas nacionales de producción de ferroaleaciones se obtuvieron del *U.S. Geological Survey: The Mineral Industry of Chile – 1994 to 2015*⁶⁹ datos que detallan la producción por tipo de ferroaleación (Tabla 4-26). 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 3, 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.

Producción de plomo (2.C.5.)

Los datos de actividad fueron reportados directamente por la empresa productora, entregando niveles de actividad para todas las materias primas utilizadas entre 2007 y 2022. Estas incluyen agentes reductores y neutralizantes de ácido. Por confidencialidad estos datos no serán reportados.

Tabla 4-26. 2.C. Industria de los metales: Datos de actividad por fuente de GEI, serie 1990-2022

Año	Hierro y acero	Ferroaleaciones			
	Hierro y acero	Ferrocromo (t)	Ferromanganeso (t)	Ferrosilicomanganeso (t)	Ferrosilicon 90% Si (t)
1990	Anexo 11.3.1	1.870	3.590	985	4.660
1991		2.509	6.779	1.674	5.516
1992		2.110	7.460	1.564	3.830
1993		680	8.916	1.612	7.550
1994		1.579	9.646	995	5.504
1995		2.730	7.987	1.617	4.279
1996		2.079	8.498	1.599	4.650
1997		2.000	5.517	3.175	1.294
1998		2.000	3.652	3.921	1.159
1999		0	2.833	2.048	1.000
2000		0	4.011	1.800	0
2001		0	2.213	0	0
2002 - 2022		0	0	0	0

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA con base en USGS

4.4.2.3 Factores de emisión aplicados en la categoría

Producción de hierro y acero (2.C.1.)

El método de nivel 2 no considera factores de emisión, puesto que es un balance de masa del contenido de carbono entre las materias primas y los productos de salida. Para ello se utilizan valores por defecto en Directrices del IPCC 2006 o información suministrada por las empresas (se encuentra en el Anexo 11.3.1).

⁶⁹ Recuperado de <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/country/sa.html#ci>

Producción de ferroaleaciones (2.C.2.)

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 4-27.

Tabla 4-27. 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*

Producción de plomo (2.C.5.)

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.

4.4.3 Descripción de cualquier flexibilidad aplicada en la categoría

Durante este ciclo de actualización no se aplicaron criterios de flexibilidad en la estimación de emisiones.

4.4.4 Incertidumbre y coherencia de la serie temporal de la categoría

La incertidumbre combinada de las subcategorías correspondientes a la Industria de los metales fluctúa entre $\pm 14,1\%$ y $\pm 18,0\%$, considerando las recomendaciones de las *Directrices del IPCC de 2006* (disponible en la sección 4.2.3.; Capítulo 4 y en la Tabla 4.23; Capítulo 5, Volumen 3), ya que en general no se cuenta con información nacional de incertidumbre de los datos de actividad y factores de emisión. Para el caso de la Producción de hierro y acero (2.C.1.), la incertidumbre asociada fuentes de información de niveles de actividad y factores de emisión es la misma, sin embargo, la falta de factores específicos en el porcentaje de carbono debería incrementar la incertidumbre asociada a los factores de emisión. Respecto a la Producción de Plomo (2.C.5.), la incertidumbre combinada es de $\pm 18,0\%$; en este caso la mayor incertidumbre se asocia a los factores de emisión, sin embargo, ésta es similar a la asociada a datos de actividad. Para la subcategoría de Producción de ferroaleaciones (2.C.2.), no se calculó incertidumbre, puesto que no hubo producción durante los años 2021 y 2022. Un resumen de los resultados de la incertidumbre combinada se presenta en la Tabla 4-28.

Tabla 4-28. 2.C.1. Industria de los metales: Incertidumbre combinada por fuente de GEI, serie 1990-2022

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	10,0%	10,0%	10,0%	10,0%	14,1%	14,1%
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 con base en Cuadro 4.4; Capítulo 4; Volumen 3; *Directrices del IPCC 2006*

Para mantener la consistencia en la serie 1990-2022, se usó la misma fuente de datos de actividad tanto estadísticos como paramétricos. Adicionalmente, para el caso de la Producción de hierro y acero (2.C.1.), los datos de producción entregados directamente 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 en estos datos fue subsanado por medio de una extrapolación exponencial de los datos de producción EAF con base en los datos de 1995 a 2007.

4.4.5 Procedimiento de garantía y control de calidad y verificación

Tanto para la subcategoría de la Producción de ferroaleaciones (2.C.2.), como para Producción de plomo (2.C.5.), no se realizaron actividades de verificación en este ciclo de actualización. Sin embargo, si se desarrollaron actividades de verificación para la Producción de hierro y acero (2.C.1.).

Producción de hierro y acero (2.C.1.)

Sosteniendo la metodología de levantamiento de información del proceso de actualización INGEI 2020, se solicitó la entrega de datos específicos a cada empresa, considerando la serie temporal completa. En este proceso se compararon las series históricas y se encontraron inconsistencias respecto a los últimos dos años incluidos en el ciclo de actualización anterior (2019 y 2020) para la industria del hierro. En comunicación directa con los involucrados, se validó la información y se hizo la corrección en los parámetros de 1) Cantidad de otros carbonáceo y material de proceso, consumidos en la producción; 2) Cantidad de pellet producido y 3) Cantidad de hierro producido no convertido en acero. Esta modificación no afectó los valores estimados de emisiones al seguir la metodología nivel 2.

4.4.6 Nuevos cálculos

Durante este ciclo de actualización no se realizaron nuevos cálculos para las subcategorías de la Producción de ferroaleaciones (2.C.2.) y la Producción de plomo (2.C.5.). Sin embargo, fue necesario aplicar ajustes a la subcategoría de Producción de hierro y acero (2.C.1.); estas correcciones efectuadas en conformidad a lo verificado con los involucrados no afectan la serie histórica al tratarse de una estimación con nivel metodológico 2 que implica un balance de masas.

4.4.7 Mejoras planificadas para la categoría

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:

Producción de hierro y acero (2.C.1.)

- Incrementar el detalle de información específica de las empresas respecto al contenido de carbono de los productos

Producción de ferroaleaciones (2.C.2.)

No se consideraron mejoras para esta subcategoría.

Producción de plomo (2.C.5.)

- Verificar la existencia de nuevas empresas que reciclen baterías.

4.5 Uso de productos no energéticos de combustibles y de solventes (2.D.)

4.5.1 Descripción y tendencia de los GEI de la categoría

La categoría Uso de productos no energéticos de combustible y de solventes (2.D.) 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. En el contexto nacional, esta categoría incluye las emisiones de los procesos productivos siguientes:

- *2.D.1. Uso de lubricantes.*
- *2.D.2. Uso de cera de parafina.*

La categoría Uso de productos no energéticos de combustible es la de menor contribución a las emisiones GEI del sector IPPU (1,7 %). En 2022, sus emisiones de GEI contabilizaron 138,2 kt CO₂ eq, incrementándose en un 224,3 % desde 1990 y en un 9,4 % desde 2020. El principal causante de la tendencia y las variaciones interanuales de la serie histórica de esta categoría es la demanda de lubricantes y, por consiguiente, la importación y producción de este (Tabla 4-29 y Figura 4-18). Respecto a las subcategorías, el Uso de lubricantes (2.D.1.) es la de mayor relevancia, ya que contribuye con un 93,4 % a las emisiones de la categoría, mientras que Uso de la cera de parafina (2.D.2.) aporta el 6,6 % restante.

Tabla 4-29. 2.D. Uso de productos no energéticos de combustible y solvente: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por subcategoría, serie 1990-2022

Subcategoría	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2022
2.D.1. Uso de lubricantes	35,5	39,3	44,0	51,7	69,6	88,2	115,6	129,1
2.D.2. Uso de la cera de parafina	7,1	8,4	9,1	11,4	9,3	10,7	10,7	9,1
Total	42,6	47,6	53,2	63,1	78,9	99,0	126,3	138,2

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

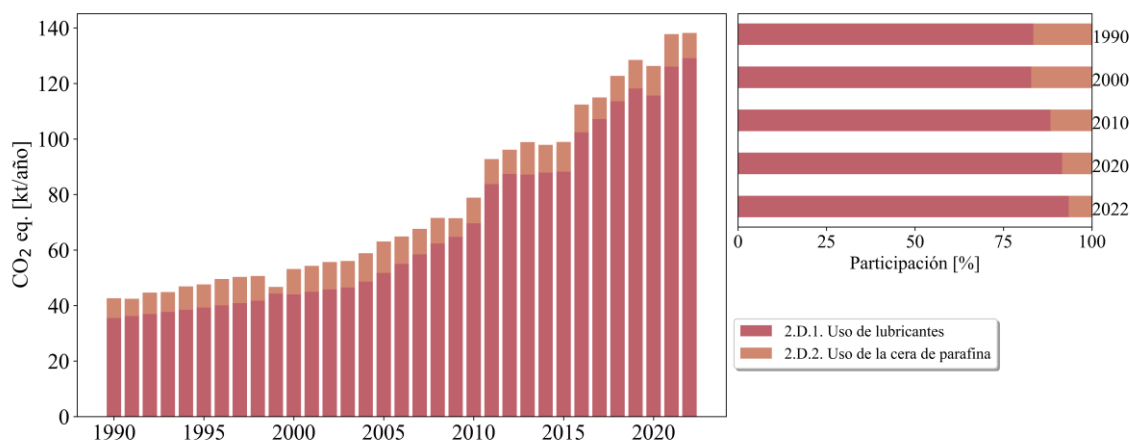


Figura 4-18. 2.D. Uso de productos no energéticos de combustible y solvente: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por subcategoría, serie 1990-2022

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

El principal GEI emitido en esta categoría desde 1990 es el CO₂ y se relaciona directamente con el parque vehicular que modera las emisiones vinculadas a Uso de lubricantes (2.D.1.).

Uso de lubricantes (2.D.1.)

Los lubricantes son producidos 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 2022, ha sido creciente debido al incremento del parque vehicular.

La subcategoría. Uso de lubricantes es la principal subcategoría emisora dentro de Uso de productos no energéticos (2.D.) de combustible y solventes, representando el 93,4 % de sus emisiones de GEI. En 2022, las emisiones de GEI de esta subcategoría contabilizaron 129,1 kt CO₂ eq incrementándose en un 263,3 % desde 1990 y en un 11,7 % desde 2020 (Tabla 4-29 y Figura 4-18). El principal causante de la tendencia y las variaciones interanuales de esta subcategoría es la demanda de lubricantes que en parte está relacionada con el crecimiento del parque vehicular.

Uso de la cera de parafina (2.D.2.)

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 2022, el consumo de las ceras de parafina fue cubierto principalmente por las importaciones, ya que la producción nacional, de acuerdo con la información entregada por el INE, es bastante menor (1,0 %).

En 2022, las emisiones de GEI de Uso de la cera de parafina (2.D.2.) contabilizaron 9,1 kt CO₂ eq (representando el 6,6 % de la categoría), incrementándose en un 28,7 % desde 1990 y disminuyendo en un 14,7 % desde 2020. El principal causante de la tendencia y las variaciones interanuales es la demanda de cera y, por consiguiente, las importaciones de esta.

4.5.2 Aspectos metodológicos de la categoría

Para la estimación de las emisiones de GEI de Uso de productos no energéticos de combustible y de solventes (2.D.) 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*. Como esta categoría representa un bajo porcentaje de las emisiones nacionales, la aplicación de métodos de estimación más altos no se justifica. 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 COVDM y de GEI indirecto relevantes para esta subcategoría. En la Tabla 4-30 se observa un resumen de los métodos aplicados por subcategoría y por tipo de GEI.

Tabla 4-30. 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

4.5.2.1 Aspectos metodológicos por subcategoría

Uso de lubricantes (2.D.1.)

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*, donde se aplica un factor de emisión de CO₂ al uso (cantidad) de lubricantes que se consumen en el país. El factor de emisión se relaciona con el factor de oxidación del lubricante durante el uso (ODU, del inglés *Oxidised During Use*) y su contenido de carbono. La estimación considera lo siguiente:

Ecuación 4-16. 2.D.1. Uso de lubricantes: estimación de emisiones de CO₂ (nivel 1)

$$Emisiones\ de\ CO_2 = LC \cdot CC_{lub} \cdot ODU_{lub} \cdot 44/12$$

Fuente: Ecuación 5.2; Capítulo 5; Volumen 3; Directrices del IPCC de 2006

Donde:

- Emisiones CO₂: emisiones de CO₂ generadas por los lubricantes, toneladas.
- LC: consumo total de lubricantes, TJ.
- CC_{lub}: contenido de carbono de los lubricantes, por defecto, toneladas de C/TJ.
- ODU_{lub}: factor ODU (basado en la composición por defecto de lubricante), fracción.
- 44/12: cociente de masa del CO₂/C.

Uso de la cera de parafina (2.D.2.)

Para la estimación de emisiones de la subcategoría Uso de cera de parafina (2.D.2.) se utilizó un método de nivel 1 de acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006*. 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. Lo anterior se refleja en la ecuación siguiente:

Ecuación 4-17. 2.D.2. Uso de la cera de parafina: estimación de emisiones de CO₂ (nivel 1)

$$Emisiones\ de\ CO_2 = PW \cdot CC_{cera} \cdot ODU_{cera} \cdot 44/12$$

Fuente: Ecuación 5.4; Capítulo 5; Volumen 3; Directrices del IPCC de 2006

Donde:

- Emisiones CO₂: emisiones de CO₂ generadas por las ceras, toneladas.
- PW: consumo total de ceras, TJ.
- CC_{cera}: contenido de carbono de las ceras de para fina, por defecto, toneladas de C/TJ.
- ODU_{cera}: factor ODU de la cera de parafina, fracción.
- 44/12: cociente de masa del CO₂/C.

4.5.2.2 Datos de actividad de la categoría

Uso de lubricantes (2.D.1.)

Los datos de actividad del consumo de lubricantes provienen de un balance entre la fabricación de este producto, sus importaciones y sus exportaciones. El balance para el consumo es el siguiente:

Ecuación 4-18. 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 informado directamente desde Energía. Cabe destacar que el parque de vehículos se obtiene de los permisos de circulación registrados anualmente, por lo que no necesariamente representa los vehículos que realmente están en operación. Es importante tener en cuenta esto, considerando la estimación que se está realizando, además para entender las bajas en el número de vehículos, donde en el 2020 se ve una baja notoria en una tendencia al alza. Esto también se puede explicar con la llegada de la pandemia COVID-19, en donde las cuarentenas hacían dispensable el uso de vehículos y por consiguiente el pago de su permiso de circulación.

Uso de la cera de parafina (2.D.2.)

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 el siguiente:

Ecuación 4-19. 2.D.2. Uso de la cera de parafina: balance de masa para la estimación de consumo de cera de parafina

$$\text{Consumo} = \text{Producción} + \text{Importación} - \text{Exportación}$$

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

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 intermitentes en la serie. Estos vacíos se subsanaron aplicando regresiones lineales y exponenciales según el mejor ajuste con los datos disponibles. Si bien esto permitió generar una serie de tiempo consistente, con datos variables, esto solo representa cambios en la producción nacional que, como se menciona anteriormente es cerca al 1,0 % del consumo nacional, por lo que las emisiones no se ven afectadas. Por otra parte, las importaciones y exportaciones de ceras de parafina fueron entregadas por el Servicio Nacional de Aduanas para toda la serie temporal. La serie construida se puede ver en la Tabla 4-31.

Tabla 4-31. 2.D. Uso de productos no energéticos de combustibles y de solventes: Datos de actividad por fuente de GEI, serie 1990-2022

Año	Uso de lubricantes				Uso de la cera de parafina			
	Producción (TJ)	Imp-Exp (TJ)	Número de vehículos	Consumo (TJ)	Producción (TJ)	Importación (TJ)	Exportación (TJ)	Consumo (TJ)
1990	2.252*	171	1.684.214	2.423**	0,29	482,14	-	483
1991	1.900*	1.810	1.717.508	2.471**	0,36	424,67	1,11	425
1992	1.548*	972	1.751.738	2.521**	0,45	524,99	1,65	524
1993	2.552*	19	1.786.921	2.571**	0,57	490,23	2,16	489
1994	2.462*	161	1.823.075	2.623**	0,71	578,97	5,66	574
1995	2.211*	466	1.860.218	2.677**	0,88	574,05	4,51	570
1996	2.272*	459	1.898.369	2.732**	0,74**	652,09	5,5	647
1997	2.140*	648	1.937.549	2.788**	1,01**	650,96	9,35	643
1998	2.137*	708	1.977.778	2.846**	1,08**	621,56	13,76	609
1999	3.005*	15	2.098.848	3.020**	3,77**	181,76	21,41	164
2000	2.887*	2.444	2.086.003	3.002**	2,69	629,96	14,06	622
2001	2.769*	4.817	2.130.547	3.066**	3,36	634,64	5,42	636
2002	2.533*	591	2.171.472	3.125**	4,19	686,7	20,61	673
2003	2.172*	996	2.201.996	3.168**	5,24	684,64	36,02	655
2004	1.797*	1.520	2.304.640	3.316**	6,55	720,67	30,11	697
2005	1.701*	1.826	2.450.901	3.527**	8,18	797,23	29,1	775
2006	2.475*	1.275	2.606.247	3.750**	10,22	699,6	31,61	674
2007	2.601*	1.383	2.768.543	3.984**	9,13**	643,68	23,62	629
2008	2.639*	1.613	2.955.295	4.252**	8,32	643,7	22,48	628
2009	2.941*	1.474	3.068.201	4.415**	7,51	475,54	24,3	458
2010	3.273*	1.475	3.299.432	4.748**	6,7	660,81	35,51	632
2011	3.861	1.851	3.571.218	5.712	5,89	636,57	28,14	615
2012	3.969	1.989	3.885.581	5.959	5,08	600,19	10,2	596
2013	4.043	1.902	4.168.980	5.945	4,27	805,1	12,18	799
2014	4.192	1.800	4.468.450	5.992	3,47	685,21	6,17	682
2015	3.960	2.056	4.647.062	6.016	2,66**	735,97	8,15	730
2016	5.002*	1.982	4.853.413	6.984	2,66	683,99	5,61	681
2017	5.295*	2.015	5.079.718	7.309	2,66	534,39	7,92	529
2018	5.420*	2.325	5.382.604	7.745	2,66	624,86	3,54	624
2019	4.959*	3.099	5.599.733	8.057	2,66	707,37	6,1	704
2020	5.854*	2.030	5.479.286	7.884	2,66	773,32	48	728
2021	5.898*	2.699	5.974.906	8.597	2,66	802,24	6,3	799
2022	6.339*	2.464	6.118.181	8.803	2,66	624,83	6,36	621

Nota: (*) valores estimados; (**) valores obtenidos del INE.

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA con base en INE.

4.5.2.3 Factores de emisión aplicados en la categoría

Uso de lubricantes (2.D.1.)

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 4-32.

Uso de la cera de parafina (2.D.2.)

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 4-32.

Tabla 4-32. 2.D. Uso de productos no energéticos de combustibles y de solventes: Factores de emisión por fuente de GEI, serie 1990-2022

Fuente de GEI	Factor	Valor	Unidad
2.D.1. Uso de lubricantes	Contenido de carbono ^(a)	20	(t C/TJ)
	Factor ODU ^(b)	20	%
2.D.1. Uso de la cera de parafina	Contenido de carbono ^(a)	20	(t C/TJ)
	Factor ODU ^(c)	20	%

Fuente: (a) Cuadro 1.3; Capítulo 1; Volumen 2; Directrices del IPCC de 2006; (b) Cuadro 5.2; Capítulo 5; Volumen 3 de las Directrices del IPCC de 2006; (c) Sección 5.3.2.2.; Capítulo 5; Volumen 3; Directrices del IPCC de 2006.

4.5.3 Descripción de cualquier flexibilidad aplicada en la categoría

Durante este ciclo de actualización no se aplicaron criterios de flexibilidad en la estimación de emisiones.

4.5.4 Incertidumbre y coherencia de la serie temporal de la categoría

La incertidumbre combinada de las subcategorías correspondientes al Uso de productos no energéticos de combustibles y de solventes, fluctúa entre $\pm 53,9\%$ y $\pm 102,0\%$, considerando las recomendaciones de las *Directrices del IPCC de 2006* (disponible en la sección 5.2.3 y 5.3.3.; Capítulo 5; Volumen 3), ya que en general no se cuenta con información nacional de incertidumbre de los datos de actividad y factores de emisión. La mayor incertidumbre de la subcategoría Uso de lubricantes (2.D.1.), está asociada al factor de emisión, al igual que para el Uso de la cera de parafina (2.D.2.), esto porque, al usar factores por defecto, la variabilidad de los contenidos de carbono podría ser muy alta.

Tabla 4-33. 2.D. Uso de productos no energéticos de combustibles y de solventes: Incertidumbre combinada por fuente de GEI, serie 1990-2022

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%	50,0%	50,0%	53,9%	53,9%
2.D.2.	Uso de la cera de parafina	CO ₂	20,0%	20,0%	100%	100%	102%	102%

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

Para mantener la consistencia en la serie 1990-2022 en la subcategoría de Uso de lubricantes (2.D.1.), 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 describió anteriormente. Respecto a la subcategoría de Uso de la cera de parafina (2.D.2.), se usaron los mismos factores de emisión y la misma fuente de datos de actividad, tanto estadísticos como paramétricos, sin embargo, los datos de actividad debieron ser tratados dado que la información de INE contiene vacío de datos.

4.5.5 Procedimiento de garantía y control de calidad y verificación

Tanto para la subcategoría de 2.D.1. Uso de lubricantes como para 2.D.2. Uso de la cera de parafina, se desarrollaron actividades de verificación.

Uso de lubricantes (2.D.1.)

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 2022 ya que los datos anteriores de Aduana tienen un cambio metodológico y presentan valores que salen de la tendencia. Sin embargo, se corrigen estos datos con una interpolación entre los años continuos y es posible construir la serie completa. Cuando se realiza la estimación de producción nacional de lubricantes, la serie (calculada como consumo vehicular – balance importación - exportación) es consistente y estable en el tiempo.

Uso de la cera de parafina (2.D.2.)

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. Adicionalmente se revisó la serie de datos completa suministrada por Aduana y se comparó con la serie histórica con la cual se estaba trabajando para agregar los dos últimos años. Aquí se comprobó que para el último ciclo de actualización se había utilizado una aproximación en el valor de exportación en la construcción del dato de actividad, identificando la posibilidad de utilizar directamente los datos de Aduana.

4.5.6 Nuevos cálculos

Durante este ciclo de actualización no se realizaron nuevos cálculos para la subcategoría de la Uso de lubricantes (2.D.1.), pero si para Uso de la cera de parafina (2.D.2.). Para esta actualización se corrigieron los datos de exportación para los años 2019 y 2020 utilizados en el levantamiento de los datos de actividad del ciclo pasado. Esta mejora consideró el uso directo de la información de Aduana para reemplazar el uso del promedio.

4.5.6.1 Implicaciones para los niveles de emisión

En la Tabla 4-34 y Figura 4-19 2.D.2. Uso de la cera de parafina: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI 5IBA (serie 1990-2020) y 1 IBT (serie 1990-2022) se observa cómo variaron las emisiones de GEI de la subcategoría respecto al inventario anterior (INGEI IBA5). El cambio en los datos de actividad para los años 2019 y 2020 generó una baja en las emisiones de la subcategoría que, si bien es pequeña (1,0 % y 6,1 % respectivamente), se ajusta más a la realidad del país.

Tabla 4-34. 2.D.2. Uso de la cera de parafina: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI 5IBA (serie 1990-2020) y 1 IBT (serie 1990-2022)

INGEI	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2022
INGEI IBA5	7,08	8,37	9,13	11,36	9,27	10,71	11,33	
INGEI 1IBT	7,08	8,37	9,13	11,36	9,27	10,71	10,68	9,11
Diferencia	-	-	-	-	-	-	-0,65	9,11
Diferencia %	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	-6,1%	

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

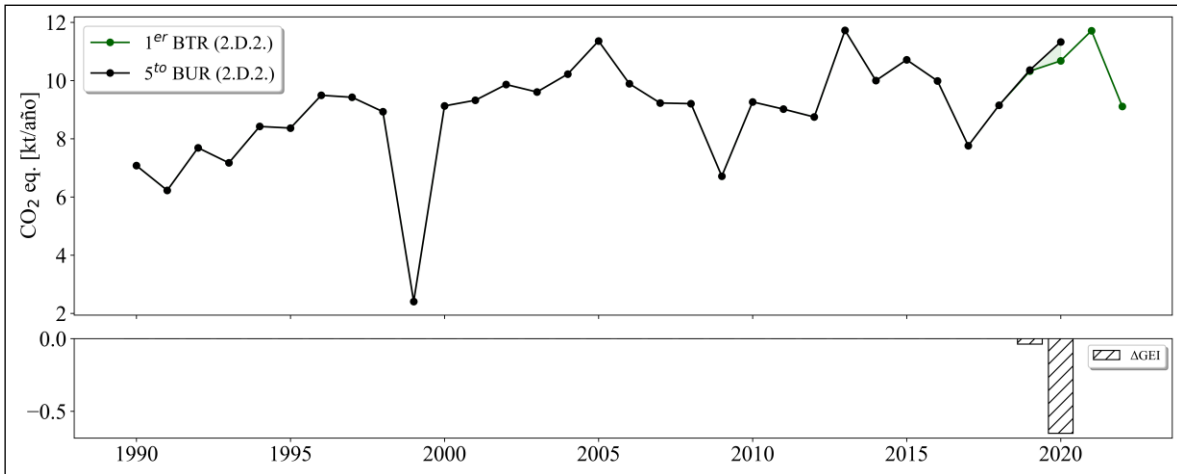


Figura 4-19. 2.D.2. Uso de la cera de parafina: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI SIBA (serie 1990-2020) y 1 IBT (serie 1990-2022)

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

El resto de los nuevos cálculos de esta categoría se asocian únicamente con la actualización de los potenciales de calentamiento global (PCG) de las especies, usando AR5 en lugar del AR4.

4.5.7 Mejoras planificadas para la categoría

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:

Uso de lubricantes (2.D.1.)

- 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

Uso de la cera de parafina (2.D.2.)

- Conformación de mesas de trabajo con el INE para mejorar los datos de producción de cera de parafina.

4.6 Uso de productos sustitutos de las sustancias que agotan la capa de ozono (2.F.)

4.6.1 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). 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 e incorporaron otras aplicaciones. La categoría incluye las emisiones de los usos y aplicaciones siguientes:

- 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.

Con respecto al inventario anterior, se mantiene el nivel de desagregación de Refrigeración y aire acondicionado por usuario. Trabajo coordinado entre el SNICHILE y la unidad de Ozono de la División 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.

La categoría Uso de productos sustitutos de las sustancias que agotan la capa de ozono (2.F.) es la principal categoría emisora de GEI, contribuyendo al total de emisiones del sector IPPU con un 67,8 %. En 2022, sus emisiones de GEI contabilizaron 5.527,2 kt CO₂ eq, incrementándose en un 3.995 % desde 2000 y en un 30,1 % desde 2020. El principal causante de la tendencia y las variaciones interanuales es el consumo de HFC como refrigerante en equipos de refrigeración y aire acondicionado (2.F.1.). 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 4-35 y Figura 4-20).

Respecto a las subcategorías, en 2022, la Refrigeración y aire acondicionado (2.F.1.) es la de mayor relevancia con un 95,2 % de las emisiones totales de la categoría. La segunda subcategoría de mayor relevancia es Aerosoles (2.F.4.) con un 2,2 %, la tercera Protección contra incendios (2.F.3.) con un 1,8 %, cuarta Agentes espumantes (2.F.2.) con un 0,7 % y finalmente Solventes (2.F.5.) con un 0,1%.

Tabla 4-35. 2.F. Uso de productos sustitutos que las sustancias que agotan la capa de ozono: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por subcategoría, serie 1990-2022

Subcategoría	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021
2.F.1. Refrigeración y aire acondicionado	0,04	11,46	130,88	437,77	1.091,45	2.341,52	3.943,63	5.262,16
2.F.2. Agentes espumantes	-	-	-	10,59	58,37	58,36	35,67	36,33
2.F.3. Protección contra incendios	-	-	1,62	6,65	18,44	68,14	100,17	101,35
2.F.4. Aerosoles	-	-	-	-	35,27	32,68	162,42	123,69
2.F.5. Solventes	-	-	2,47	1,15	2,32	15,05	7,52	3,68
2.F.6. Otras aplicaciones (especificar)	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	0,04	11,46	134,97	456,16	1.205,86	2.515,75	4.249,41	5.527,21

NO = No ocurre

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

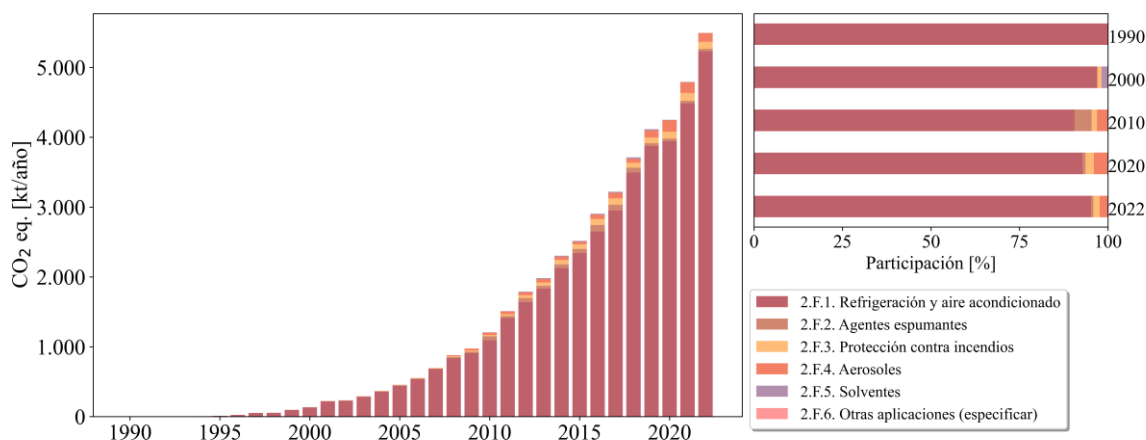


Figura 4-20. 2.F. Uso de productos sustitutos que las sustancias que agotan la capa de ozono: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por subcategoría, serie 1990-2022.

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

Refrigeración y aire acondicionado (2.F.1.)

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, en mantenciones cuando los equipos se vuelven a llenar y también 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 4-36.

Tabla 4-36. 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 Otras Alternativas: R-744, R-290, R-600a, HFO-1234yf, HFO-1234ze
	Industrial	HFC: R-404A, R-407C, R-507A HCFC: HCFC-22 Otras Alternativas: R-744 transcrito, R-744, R-717
	Transporte	HFC: HFC-134a, R-404a 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 4-37. 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.

La subcategoría Refrigeración y aire acondicionado (2.F.1.) es la principal subcategoría emisora dentro de la categoría Uso de productos sustitutos de las sustancias que agotan la capa de ozono, representando el 95,2 % de sus emisiones de GEI. En 2022, las emisiones de GEI de esta subcategoría contabilizaron 5.262,2 kt CO₂ eq, incrementándose en un 3.920 % desde 2000 y en un 33,4 % desde 2020 (Tabla 4-35 y Figura 4-20). Respecto de las aplicaciones específicas de Refrigeración y aire

acondicionado (2.F.1.), Refrigeración industrial (2.F.1.c.) fue la principal fuente emisora en 2022 representando un 52,0 % de la subcategoría. Le sigue Aire acondicionado móvil (2.F.1.f.) con 15,9 %, luego Refrigeración comercial (2.F.1.a.) con 14,3 %, Aire acondicionado fijo (2.F.1.e.) con 14,3 %, y en menor medida Refrigeración doméstica (2.F.1.b. con 2,3 %) y Transporte refrigerado (2.F.1.d. con 0,7 %) (Tabla 4-38 y Figura 4-21).

Esta proporción se ha mantenido en el tiempo, y aunque para el ciclo de actualización pasado se observó un estancamiento en Refrigeración comercial (debido a una disminución en las nuevas superficies de supermercados construidas y al aumento en la utilización de R-507A para aplicaciones industriales de la agroindustria), para este ciclo todas las subcategorías presentaron tendencia de crecimiento exponencial. De todas maneras, se debe tener en consideración otra variable que influye fuertemente en las fluctuaciones de la serie histórica, que 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 4-38. 2.F.1. Refrigeración y aire acondicionado: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por subcategoría, serie 1990-2022

Subcategoría	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2022
2.F.1.a. Refrigeración comercial	0,04	1,30	8,59	31,32	185,28	418,82	588,98	777,83
2.F.1.b. Refrigeración doméstica	-	0,63	7,69	16,01	30,15	73,86	112,16	123,41
2.F.1.c. Refrigeración industrial	-	-	40,38	225,91	530,83	1.158,43	2.013,58	2.734,21
2.F.1.d. Transporte refrigerado	-	-	0,14	2,03	12,45	24,73	32,34	37,30
2.F.1.e. Aire acondicionado fijo	-	0,03	0,50	15,13	74,55	208,21	479,81	751,52
2.F.1.f. Aire acondicionado móvil	-	9,50	73,58	147,37	258,20	457,46	716,77	837,90
Total	0,04	11,46	130,88	437,77	1.091,45	2.341,52	3.943,63	5.262,16

Nota: Valores en 0 representan valores inferiores a 0,1

NO = No ocurre

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

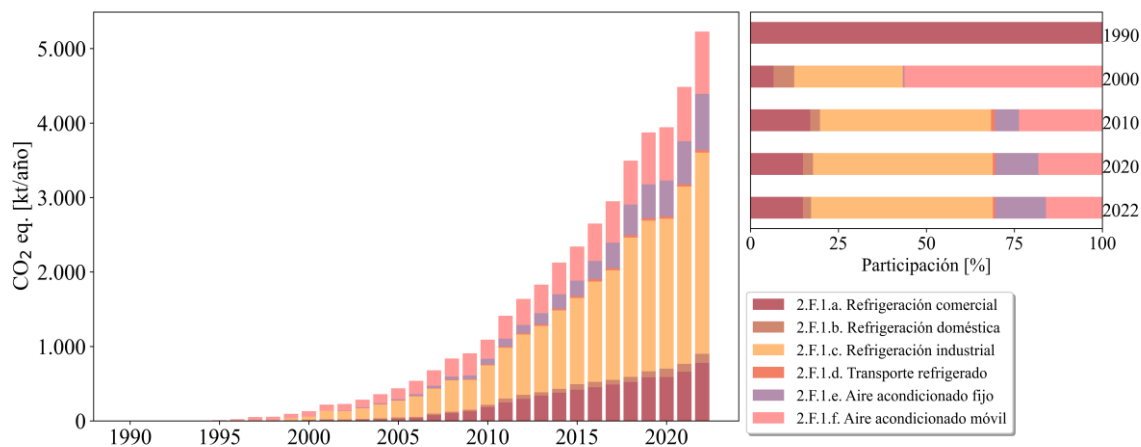


Figura 4-21. 2.F.1. Refrigeración y aire acondicionado: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por subcategoría, serie 1990-2022

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

Por tipo de emisión, la principal fuente para el año 2022 es la mantención (resultado de fugas por malos sellos, fallas o roturas) con un 73,1 %; a la que le siguen los contenedores (12,9 %), el fin de vida útil (12,4 %) y finalmente la instalación (1,6 %) (Figura 4-22).

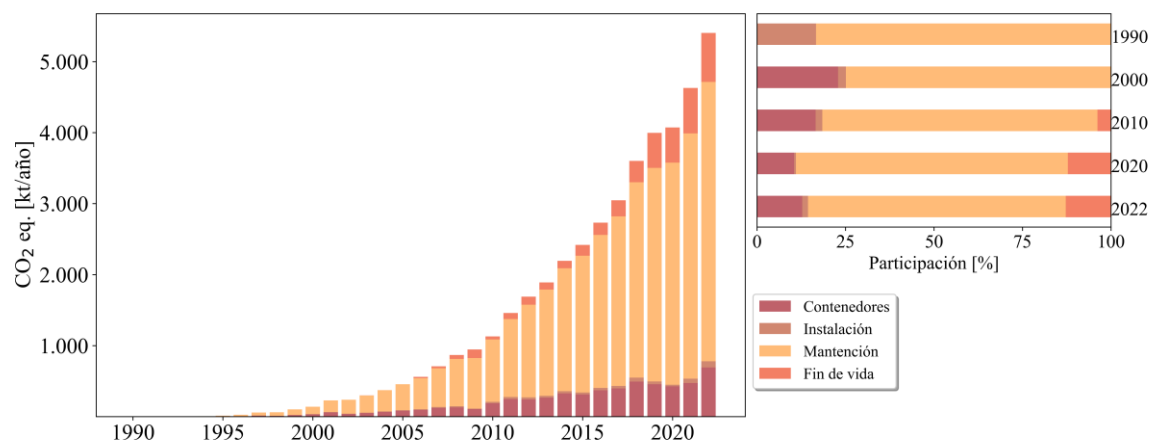


Figura 4-22. Refrigeración y aire acondicionado: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por tipo de emisión, serie 1990-2022.

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

Agentes espumantes (2.F.2.)

En Chile, los HFC se están empleando cada vez más para reemplazar los CFC y HCFC en espumas (rígidas de poliuretano, por ejemplo) y aislantes; entre los compuestos que se usan se encuentran HFC-245fa, HFC-365mfc, HFC-227ea, HFC-134a y HFC-152a. El primer gas utilizado fue 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 es una alternativa en reemplazo del HCFC-141b, el cual es el agente espumante que tradicionalmente se ha utilizado en el país.

En 2022, las emisiones de GEI de Agentes espumantes contabilizaron 36,3 kt CO₂ eq (representando un 0,7 % de las emisiones de GEI de la categoría), disminuyendo un 10,7 % desde 2013 (Tabla 4-35 y Figura 4-20). La causa principal de las fluctuaciones interanuales de la serie histórica y de la tendencia es la importación de polioles con HFC-365mfc y HFC-227ea.

Protección contra incendios (2.F.3.)

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.

En 2022, las emisiones de GEI de Protección contra incendios (2.F.3.) contabilizaron 101,3 kt CO₂ eq (representando un 1,8 % de las emisiones de GEI de la categoría), incrementándose en un 6.150 % desde 2000 y en un 1,2 % desde 2020 (Tabla 4-35 y Figura 4-20). El principal causante de la tendencia y las variaciones interanuales son las importaciones que se ven afectadas por el mercado.

Aerosoles (2.F.4.)

En el sector de los aerosoles los HFC son utilizados como propelentes en diferentes subaplicaciones:

- Higiene Personal: productos para el pelo, desodorantes, cremas de afeitado, 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.

En 2022, las emisiones de GEI de Aerosoles contabilizaron 123,7 kt CO₂ eq (representando el 2,2 % de las emisiones de GEI de la categoría), lo que significó una disminución de 23,8 % desde 2020 (Tabla 4-35 y Figura 4-20). El principal causante de la tendencia es el uso para MDI y el uso de HFC-134a como reemplazo de otras sustancias.

Solventes (2.F.5.)

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.

En 2022, las emisiones de GEI de Solventes contabilizaron 3,7 kt CO₂ eq (representando el 0,1 % de las emisiones de GEI de la categoría), disminuyendo en un 51,1 % desde 2020 (Tabla 4-35 y Figura 4-20). El principal causante de la tendencia es el consumo variable de HFC-134a.

4.6.2 Aspectos metodológicos de la categoría

En cuanto a los aspectos metodológicos, se aplicó el método de nivel 2a para la subcategoría Refrigeración y aire acondicionado (2.F.1), 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. Esta subcategoría es la mayor emisora del sector y a su vez una categoría principal; por este motivo, la estimación de emisiones se realizó con un método nivel 2. Por otra parte, al no ser categorías principales y por falta de información, se aplicaron métodos de nivel 1 para todas las demás subcategorías, usando tanto factores de emisión país específico como por defecto, de acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006* (Tabla 4-39).

Tabla 4-39. 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

Es importante mencionar que los datos de actividad necesarios para estimar las emisiones de todas las subcategorías presentadas en esta categoría fueron obtenidos de las bases de datos del Servicio de Aduanas y la estimación y desagregación a partir del informe DICTUC, 2023 solicitado por la Unidad de Ozono del MMA, en el marco de la actualización del inventario con el objetivo de asignar tipos de HFC a su uso. Con el apoyo directo de la Unidad de Ozono del Ministerio, se procesó la información para los años 2021 y 2022.

4.6.2.1 Aspectos metodológicos por subcategoría

Refrigeración y aire acondicionado (2.F.1.)

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 4-20. 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 siguientes ecuaciones.

Ecuación 4-21. 2.F.1. Refrigeración y aire acondicionado: cálculo de las emisiones de contenedores

$$E_{contenedores,t} = RM_t * \frac{c}{100}$$

Fuente: con base en Ecuación 7.11; Capítulo 7; Volumen 3; Directrices del IPCC de 2006

Donde:

- $E_{contenedores,t}$: emisiones de todos los contenedores de HFC, año t, kg.
- RM_t : mercado o consumo anual de los HFC para los equipos nuevos y el mantenimiento de todas las aplicaciones de refrigeración en el año t, kg.
- c : factor de emisión de la gestión de los contenedores de HFC del mercado actual de los refrigerantes, porcentaje.

Ecuación 4-22. 2.F.1. Refrigeración y aire acondicionado: cálculo de las emisiones de instalación

$$E_{instalación,t} = M_t * \frac{k}{100}$$

Fuente: con base en Ecuación 7.12; Capítulo 7; Volumen 3; Directrices del IPCC de 2006

Donde:

- $E_{instalación,t}$: emisiones producidas en el ensamblado de nuevos sistemas, año t, kg.
- M_t : cantidad de HFC cargado en los equipos nuevos en el año t (por subaplicación), kg.
- k : factor de emisión de las pérdidas de HFC cargado en los equipos nuevos durante el ensamblado (por sub-aplicación), porcentaje.

Ecuación 4-23. 2.F.1. Refrigeración y aire acondicionado: cálculo de las emisiones de operación.

$$E_{operación,t} = B_t * \frac{x}{100}$$

Fuente: con base en Ecuación 7.13; Capítulo 7; Volumen 3; Directrices del IPCC de 2006

Donde:

- $E_{operación,t}$: cantidad de HFC emitido durante la operación del sistema en el año t, kg.
- B_t : cantidad de HFC confinado en bancos de equipos existentes en el año t (por subaplicación), kg.
- x : índice de emisión anual (es decir, factor de emisión) de HFC de cada banco de subaplicación durante el tiempo de operación que da cuenta de fugas y emisiones anuales promedio durante el mantenimiento, porcentaje

Ecuación 4-24. 2.F.1. Refrigeración y aire acondicionado: cálculo de las emisiones de fin de vida útil.

$$E_{fin\ de\ vida\ útil,t} = M_{t-d} * \frac{p}{100} * (1 - \frac{\eta_{rec,d}}{100})$$

Fuente: con base en Ecuación 7.14; Capítulo 7; Volumen 3; Directrices del IPCC de 2006

Donde:

- $E_{fin\ de\ vida\ útil,t}$: cantidad de HFC emitido en el momento de la eliminación del sistema en el año t, kg.
- M_{t-d} : cantidad de HFC cargada inicialmente en los sistemas nuevos instalados en el año (t-d), kg.
- p : carga residual de HFC en el equipo que se está eliminando, expresada en porcentaje de la carga total, porcentaje
- $\eta_{rec,d}$: eficiencia de recuperación en el momento de la eliminación, que corresponde al cociente entre el HFC recuperado y el HFC confinado en el sistema, porcentaje

Agentes espumantes (2.F.2.)

Para la estimación de emisiones de la subcategoría Agentes espumantes se utilizó el método de nivel 2a de las *Directrices del IPCC de 2006*, 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:

Ecuación 4-25. 2.F.2. Agentes espumantes estimación de emisiones de gases fluorados (nivel 1a)

$$Emisiones_t = \sum_{i,t} (Consumo\ Neto_{i,t} \cdot EF_{i,t} + Banco_i \cdot EF_{B,i,t})$$

Fuente: con base en Ecuación 7.7; Capítulo 7; Volumen 3; *Directrices del IPCC de 2006*

Donde:

- Emisiones: emisiones totales de cada gas fluorado utilizado en la fabricación de espumas de celdas cerradas en el año t , toneladas.
- Consumo Neto _{i} : consumo neto del gas fluorado i en el año t , toneladas.
- EF _{i,t} : factor de emisión para las pérdidas del gas fluorado i en el año t , fracción.
- Banco _{i} : banco total del gas fluorado i .
- EF_{CN, i} : factor de emisión para el gas fluorado i en banco en el año t , fracción.

Protección contra incendios (2.F.3.)

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*, basado en la multiplicación del consumo neto por aplicación, multiplicado 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:

Ecuación 4-26. 2.F.3. Protección contra incendios: estimación de emisiones de gases fluorados (nivel 1)

$$Emisiones = Banco_{t,i} \cdot EF + RRL_{t,i}$$

Fuente: Equipo Técnico de IPPU 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 .
- EF _{i} : factor de emisión para el gas fluorado i en banco.
- RRL _{i} : Recuperación liberación o pérdida, toneladas de gas en el año t .

Aerosoles (2.F.4.)

Para la estimación de emisiones de la subcategoría Aerosoles se aplicó el método nivel 1 de las *Directrices del IPCC de 2006* basado en el supuesto que considera que las emisiones ocurren generalmente poco después de la producción, en promedio seis meses después de la venta. La estimación considera lo siguiente:

Ecuación 4-27. 2.F.4. Aerosoles: estimación de emisiones para los usos de los aerosoles (nivel 1)

$$Emisiones_t = S_t \cdot EF + S_{t-1} \cdot (1 - EF)$$

Fuente: Ecuación 7.6; Capítulo 7; Volumen 3; *Directrices del IPCC de 2006*

Donde:

- $Emisiones_t$: emisiones año t, toneladas.
- S_t : cantidad de HFC confinada en los productos con aerosol vendidos en el año t, toneladas.
- S_{t-1} : cantidad de HFC confinada en los productos con aerosol vendidos en el año t-1, toneladas.
- EF: factor de emisión como fracción de la sustancia química emitida durante el primer año, fracción.

Solventes (2.F.5.)

Para la estimación de emisiones de la subcategoría Solventes se aplicó el método nivel 1 de las *Directrices del IPCC de 2006* basado en el supuesto que considera que las emisiones ocurren generalmente poco después de la producción, en promedio seis meses después de la venta. La estimación considera lo siguiente:

Ecuación 4-28. 2.F.5. Solventes: estimación de emisiones para los usos de los solventes (nivel 1)

$$Emisiones_t = S_t \cdot EF + S_{t-1} \cdot (1 - EF)$$

Fuente: Ecuación 7.5; Capítulo 7; Volumen 3; *Directrices del IPCC de 2006*

Donde:

- $Emisiones_t$: emisiones año t, toneladas.
- S_t : cantidad de HFC y PFC confinada en los productos con aerosol vendidos en el año t, toneladas.
- S_{t-1} : cantidad de HFC y PFC confinada en los productos con aerosol vendidos en el año t-1, toneladas.
- EF: factor de emisión como fracción de la sustancia química emitida durante el primer año, fracción.

4.6.2.2 Datos de actividad de la categoría

Refrigeración y aire acondicionado (2.F.1.)

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)”⁷⁰ solicitado por el MMA y ejecutado por DICTUC en 2017, el cual agregó los datos entre 1990 y 1999. Adicionalmente se utiliza información de las distintas subaplicaciones para desagregar los consumos de HFC y estimar los bancos a partir de la información fue levantada por el estudio “Actualización de importaciones netas de HFC y PFC contenido en equipos y productos para el periodo 2021-2022” también solicitados por el MMA y ejecutado por DICTUC el 2023.

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: a) HFC en equipos nuevos por año, b) banco de HFC en equipos cada año, c) consumo de sustancias para mantención del banco y carga de equipos nuevos y d) el HFC en equipos que cumplen su vida útil. Mayores detalles sobre estas estimaciones se pueden encontrar en los estudios mencionados de DICTUC 2017 y DICTUC 2023.

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 11.3.2. 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 4-29. 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 11.3.2:

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 aduanas 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.

⁷⁰ Recuperado de: <https://www.greenlab.uc.cl/wp-content/uploads/2017/08/HFC-Informe%20Final.pdf>

- 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 4-40). 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”⁷¹ 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 4-41).

Tabla 4-40. 2.F.1. Refrigeración y aire acondicionado: Nueva superficie construida de supermercados (m²) de acuerdo con datos del INE, serie 2003 - 2022

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
2019	77.449	3.806.793
2020	250.934	4.057.727
2021	7.193	4.064.920
2022	96.153	4.161.073

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

Tabla 4-41. 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

⁷¹ Recuperado de: https://ozono.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2022/03/5.-Inventario-HFC-SM-AAM-TR_ATS-2020.pdf

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 los años 2016 a 2022 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 potencial 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. 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 4-42).

Tabla 4-42 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: Informe Dictuc 2019 en base a modelos según partida arancelaria.

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 para determinados códigos arancelarios de acuerdo con la clasificación dispuesta en DICTUC el 2023. 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 2022 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: Para la estimación de las emisiones se utilizó la base de datos levantadas en el inventario anterior (1990 – 2020). Para los años 2021 y 2022 se utilizaron los datos levantados de la base de datos del Servicio Nacional de Aduanas, diferenciando por importaciones y exportaciones. Se revisaron las partidas arancelarias relacionadas a vehículos, utilizando como referencia la información disponible en el estudio de “Actualización de importaciones netas de HFC y PFC contenido en equipos y productos para el periodo 2021-2022”, en donde sólo se presenta la sustancia HFC-134a como refrigerante para sistemas de aire acondicionado móvil.

La identificación de los productos y equipos con HFC se basó en una revisión de antecedentes complementarios, tales como fichas técnicas, etiquetas, manuales de usuario o detalle de contenidos.

Para estimar el banco para cada sustancia en cada subaplicación se utiliza la siguiente ecuación general.

Ecuación 4-30. 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 + recambio⁷² 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 4-43 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.

⁷² 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.

Tabla 4-43 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)” (Unidad de Ozono, Ministerio del Medio Ambiente, 2017). 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 pruebas, cargándose a equipos existentes y liberándose a la atmósfera por pérdidas en la etapa de operación.

Agentes espumantes (2.F.2.)

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 DICTUC, 2023, desarrollado por la Unidad de Ozono. El balance final utilizado en la estimación responde a la siguiente ecuación:

Ecuación 4-31. 2.F.2. Agentes espumantes: balance de masa para la estimación de consumo de HFC

$$\text{Consumo} = \text{Importación} - \text{Exportación}$$

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.

Protección contra incendios (2.F.3.)

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 en DICTUC, 2023, desarrollado por la Unidad de Ozono. El balance para el consumo es el siguiente:

Ecuación 4-32. 2.F.3. Protección contra incendios: balance de masa para la estimación de consumo de HFC y PFC

$$\text{Banco}_t = \sum_{i=t_0}^t (\text{Importación}_i - \text{Exportación}_i - \text{Emisiones}_{i-1}) - \text{RRL}_t$$

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 aplicaron 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.

Aerosoles (2.F.4.)

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 es el siguiente:

Ecuación 4-33. 2.F.4. Aerosoles: balance de masa para la estimación de consumo de HFC y PFC

$$\text{Consumo} = \text{Importación} - \text{Exportación}$$

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

Se aplicaron 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.

Solventes (2.F.5.)

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 es el siguiente:

Ecuación 4-34. 2.F.5.Solventes: balance de masa para la estimación de consumo de HFC y PFC

$$\text{Consumo} = \text{Importación} - \text{Exportación}$$

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

Los resultados obtenidos para datos de actividad para 2.F.2., 2.F.3., 2.F.4. y 2.F.5. se muestran en la Tabla 4-44.

Tabla 4-44. 2.F.2. – 2.F.5. Uso de productos sustitutos de las SAO: Consumo neto de gases fluorados (kg de HFC/año), serie 1998 - 2022.

Año	2.F.2. Agentes espumantes					2.F.3. Protección contra incendios				2.F.4. Aerosoles		2.F.5. Solventes						
	HFC-134a	HFC-227ea	HFC-365mfc	HFC227ea poliol	HFC365mfc poliol	HFC-125	HFC-227ea	HFC-23	HFC-236fa	HFC134a	HFC227ea	HFC134a	HFC152a	HFC227ea	HFC245fa	HFC365mfc	HFC43-10mee	PFC-218
1997						-	599	-	-									
1998						-	2.905	-	-			269	-	-	-	-	-	-
1999						-	3.892	-	-			1.606	-	-	-	-	-	-
2000						-	7.731	-	-			2.151	-	-	-	-	39	-
2001						-	10.804	-	-			2.253	-	-	-	-	-	-
2002						-	12.342	-	81			1.564	441	-	301	301	-	-
2003	41	NO	NO	NO	NO	-	7.431	-	-			585	-	-	5	5	-	-
2004	19.440	NO	NO	NO	NO	896	6.758	-	-			809	145	-	-	-	-	-
2005	56.700	NO	NO	NO	NO	-	8.636	-	-			695	-	10	180	180	-	-
2006	38.184	NO	NO	NO	NO	1.292	11.984	-	-			1.126	-	-	238	277	-	-
2007	11340	1	22	954	13.221	3.676	11.736	-	-			284	468	-	158	245	-	-
2008	NO	NO	975	6820	94507	3.712	14.814	-	-	21139	200	549	11	-	247	376	-	-
2009	NO	NO	960	8624	119499	6.029	21.649	-	-	24295	-	379	-	-	54	56	-	-
2010	NO	NO	960	26825	371714	2.367	22.335	-	-	25656	1676	2.358	-	-	465	746	-	-
2011	NO	NO	1920	10049	139247	3.273	46.970	-	-	26043	1382	3.842	226	-	768	882	-	-
2012	NO	NO	NO	25006	346.508	3.030	42.780	-	-	34350	90	8.896	13	-	906	906	-	-
2013	NO	NO	40320	12.033	166.746	1.100	20.115	-	-	34123	1499	11.886	-	-	428	428	-	-
2014	NO	NO	19200	18736	259622	4.414	28.356	-	27	29027	1206	9.587	6	-	241	354	-	4
2015	NO	1344	94656	15220	210907	6.075	35.616	99	-	15456	1040	11.940	-	-	900	931	-	6
2016	NO	672	125568	29674	411202	6.004	50.292	-	-	37262	14541	10.160	4	-	-	145	-	10
2017	NO	2268	31092	26738	370511	2.208	31.659	-	-	38336	2654	13.995	23	-	379	411	10	17
2018	NO	638	8482	19323	267.764	885	31.278	-	-	38060	1288	17.239	38	-	480	538	-	10
2019	NO	1210	16070	3.180	42.250	2.983	39.111	278	-	80449	11796	10.191	10	-	483	483	-	5
2020	NO	NO	NO	2614	34733	4.288	41.086	651	-	111247	10784	597	-	-	99	99	-	3
2021	NO	1966	26114	639	8495	2.768	35.645	(54)	-	100287	-	2.544	63	-	254	381	-	10
2022	NO	1572	20892	407	5403	720	33.500	19	3	90005	-	2.151	40	-	165	248	39	17

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

4.6.2.3 Factores de emisión aplicados en la categoría

Refrigeración y aire acondicionado (2.F.1.)

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 DICTUC, 2023.

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 4-45.

Tabla 4-45. 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	15%	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.

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.

Agentes espumantes (2.F.2.)

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 4-46. 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)

Protección contra incendios (2.F.3.)

Los factores de emisión considerados son 3,2 % para anegación y 4,0 % 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 DICTUC, 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.

Aerosoles (2.F.4.)

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).

Solventes (2.F.5.)

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).

4.6.3 Descripción de cualquier flexibilidad aplicada en la categoría

Durante este ciclo de actualización no se aplicaron criterios de flexibilidad en la estimación de emisiones.

4.6.4 Incertidumbre y coherencia de la serie temporal de la categoría

La incertidumbre combinada de las subcategorías correspondientes al Uso de productos sustitutos de las sustancias que agotan la capa de ozono (2.F.), fluctúa entre $\pm 53,1\%$ y $\pm 316,2\%$, considerando las recomendaciones de las *Directrices del IPCC de 2006*, ya que en general no se cuenta con información nacional de incertidumbre de los datos de actividad y factores de emisión.

Para el caso de Refrigeración y aire acondicionado (2.F.1.), la incertidumbre se calculó para cada subaplicación de manera agrupada ya que todas utilizan la misma fuente de factores de emisión y comparten la principal fuente de datos de actividad. Adicionalmente las estimaciones de algunas subaplicaciones dependen de la estimación de las otras. Para el cálculo de la incertidumbre combinada, 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).

Para Agentes espumantes (2.F.2.) tampoco se contó 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 50,0 %, 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 (2.F.3.) combinada con la incertidumbre del fin de vida útil.

Con respecto a la Protección contra incendios (2.F.3.), 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 $\pm 50,0$ %, 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 -60,0 % y +100 %, de acuerdo con lo recomendado por las Directrices del IPCC de 2006 (Sección 7.6.2.2; Capítulo 7; Volumen 3).

Para la subcategoría Aerosoles (2.F.4.), 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 -30,0 % y +300,0 %, 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 %, 7.2.3. Evaluación de incertidumbre, del volumen 3 de *las Directrices del IPCC 2006*.

Para la subcategoría de Solventes (2.F.5.), 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 -30,0 % y +300,0 %, 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*. El resumen de la incertidumbre por subcategoría se muestra en la Tabla 4-47.

Tabla 4-47. 2.F. Uso de productos sustitutos de sustancias que agotan la capa de ozono: Incertidumbre combinada por fuente de GEI, serie 1990-2022

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%	37,9%	19,4%	62,8%	53,6%
2.F.1.	Refrigeración y aire acondicionado	PFC	50,0%	50,0%	37,9%	19,4%	62,8%	53,6%
2.F.2.	Agentes espumantes	HFC	50,0%	50,0%	72,1%	180%	87,7%	187%
2.F.3.	Protección contra incendios	HFC	50,0%	50,0%	60,0%	100%	78,1%	112%
2.F.4.	Aerosoles	HFC	30,0%	30,0%	90,0%	100%	94,9%	316%
2.F.5.	Solventes	HFC	30,0%	30,0%	90,0%	100%	94,9%	316%
2.F.5.	Solventes	PFC	30,0%	30,0%	90,0%	100%	94,9%	316%

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

Para mantener la consistencia de la serie 1990-2022 se usaron los mismos factores de emisión y la misma fuente de datos de actividad, tanto estadísticos como paramétricos.

4.6.5 Procedimiento de garantía y control de calidad y verificación

Para ninguna subcategoría de Uso de productos sustitutos de las sustancias que agotan la capa de ozono (2.F.) se realizaron actividades de verificación en este ciclo de actualización.

4.6.6 Nuevos cálculos

Durante este ciclo de actualización no se realizaron nuevos cálculos para la subcategoría de la Refrigeración y aire acondicionado (2.F.1.), Agentes espumantes (2.F.2.), Protección contra incendios (2.F.3.), Aerosoles (2.F.4.) y Solventes (2.F.5.).

4.6.7 Mejoras planificadas para la categoría

No se esperan mejoras para ninguna de las subcategorías de 2.F. Uso de productos sustitutos de las sustancias que agotan la capa de ozono, salvo para 2.F.1. Refrigeración y aire acondicionado.

Refrigeración y aire acondicionado (2.F.1.)

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 pérdidas 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.
- Mejorar información sobre bancos y sobre factores de emisión con información país específico, con la Unidad de Ozono del Ministerio del Medio Ambiente.
- Se agregaron a la componente “Refrigeración equipos”, un nuevo código arancelario que considera las máquinas expendedoras.

4.7 Manufactura y utilización de otros productos (2.G.)

4.7.1 Descripción y tendencia de los GEI de la categoría

La categoría Manufactura y utilización de otros productos (2.G.) 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. En el contexto nacional se registra la actividad relacionada con equipos eléctricos y con el uso de N₂O en diferentes actividades que se agrupan en las siguientes categorías.

- 2.G.1. Equipos eléctricos.
- 2.G.3. N₂O de usos de productos.

La categoría Manufactura y utilización de otros productos es la quinta categoría emisora de GEI del sector *IPPU* representando el 2,7 % de las emisiones del sector. En 2022, sus emisiones de GEI contabilizaron 219,2 kt CO₂ eq, incrementándose en un 1.116 % desde 1990 y disminuyendo en un 11,2 % desde 2020. El principal causante de la tendencia y las variaciones interanuales de esta categoría, es la creciente instalación de interruptores de alta tensión y subestaciones eléctricas, y la mantención de éstas. También cabe destacar el creciente uso de N₂O en los últimos años de la serie. A lo largo de la serie, las emisiones de esta categoría corresponden casi en su totalidad a las emisiones de la subcategoría Equipos eléctricos (2.G.1.), sin embargo, en los últimos años el uso de N₂O se ha incrementado de forma sustancial, llegando a tener un 28,7 % de las emisiones en 2022, el restante corresponde a la otra categoría en cuestión (Tabla 4-48 y Figura 4-23).

Tabla 4-48. 2.G. Manufactura y utilización de otros productos: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por subcategoría, serie 1990-2022

Subcategoría	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2022
2.G.1. Equipos eléctricos	18,00	26,86	45,46	49,47	101,6	98,1	194,5	156,3
2.G.3 N ₂ O de usos de productos	0,03	0,10	0,29	1,00	0,87	4,35	52,21	62,89
Total	18,03	26,96	45,76	50,47	102,5	102,5	246,7	219,2

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

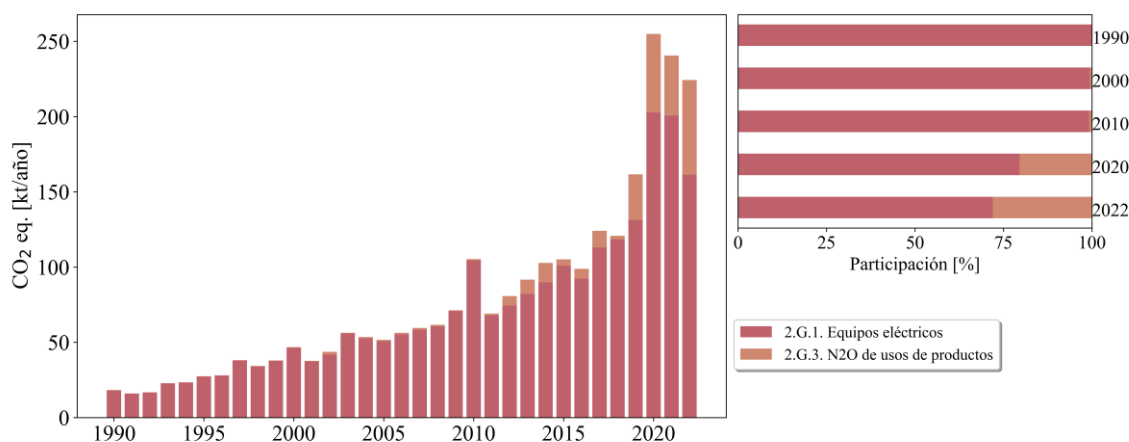


Figura 4-23. 2.G. Manufactura y utilización de otros productos: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por subcategoría, serie 1990-2022

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

Equipos eléctricos (2.G.1.)

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. El uso de GIS en estaciones eléctricas viene dado principalmente para la reducción de espacio de las estaciones, este se utiliza para reducir el espacio a utilizar de la estación y abaratar los costos de compra o arriendo del lugar de instalación, siendo este el caso de las estaciones que se ubican en medio de la ciudad.

La subcategoría Equipos eléctricos (2.G.1.) es la principal subcategoría emisora estimada dentro de la categoría Manufactura y utilización de otros productos (2.G.), representando un 71,3 % de la categoría. En 2022, las emisiones de GEI contabilizaron 156,3 kt CO₂ eq, incrementándose en un 786,0 % desde 1990 y disminuyendo en un 19,7 % desde 2020 (Tabla 4-49 y Figura 4-24).

Tabla 4-49. 2.G.1. Equipos eléctricos: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por componente, serie 1990-2022

Componente	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2022
2.G.1.a. Manufactura de equipos eléctricos	4,2	5,3	6,8	8,9	14,7	12,6	33,6	23,7
2.G.1.b. Uso de equipos eléctricos	13,8	19,3	30,8	40,5	55,4	72,1	104,7	120,2
2.G.1.c. Eliminación de equipos eléctricos	-	2,2	7,8	-	31,5	13,4	56,2	12,4
Total	18,0	26,9	45,5	49,5	101,6	98,1	194,5	156,3

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

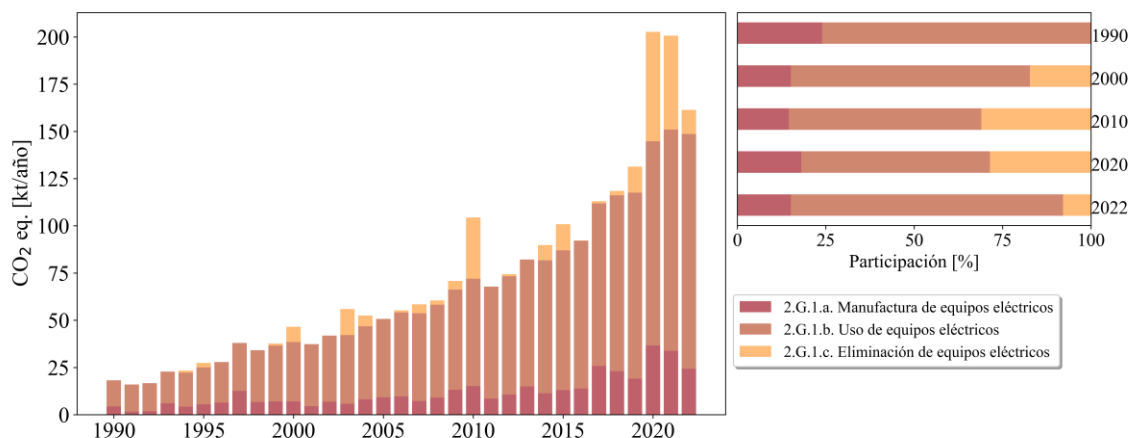


Figura 4-24. 2.G.1. Equipos eléctricos: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por componente, serie 1990-2022

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

N₂O de otros usos de productos (2.G.3.)

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.);
- 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 la información recopilada por el equipo técnico, se contabilizan las diferentes actividades anteriores en una sola categoría, siendo esta Otros (2.G.3.c.).

En 2022, las emisiones de GEI de esta subcategoría contabilizaron 62,9 kt CO₂ eq, lo que representa el 28,7 % de las emisiones de GEI de la categoría. Este máximo histórico se traduce en un aumento de las emisiones en un 21.388 % desde 2000 y un 20,5 % desde 2020 (Tabla 4-48 y Figura 4-24). Esta tendencia al alza se debe al incremento exponencial de las importaciones de N₂O y por consecuencia su uso.

4.7.2 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, ambas subcategorías representan un bajo porcentaje de emisiones a nivel nacional, por lo que no fue necesario aplicar un método de estimación mayor. En la Tabla 4-50 se observa un resumen de los métodos aplicados por subcategoría y por tipo de GEI.

Tabla 4-50. 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

4.7.2.1 Aspectos metodológicos por subcategoría

Equipos eléctricos (2.G.1.)

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*, 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). La estimación considera lo siguiente:

Ecuación 4-35. 2.G.1. Equipos eléctricos: método del factor de emisión por defecto (nivel 1)

$$Emisión_{Total} = E_{Manufactura} + E_{Instalación} + E_{Uso} + E_{Disposición}$$

Fuente: Ecuación 8.1; Capítulo 8; Volumen 3; Directrices del IPCC 2006.

Donde:

- $E_{Manufactura} = \text{Factor Emisión}_{Manufactura} \cdot \text{Total SF}_6 \text{ consumido Manufactura}$,
- $E_{Instalación} = \text{Factor Emisión}_{Instalación} \cdot \text{Capacidad total de equipo nuevo llenado en sitio (y no en la fabrica)}$,
- $E_{Uso} = \text{Factor Emisión}_{Uso} \cdot \text{Capacidad total de equipos instalados}$, y
- $E_{Disposición} = \text{Fracción SF}_6 \text{ remanente} \cdot \text{Capacidad total equipos retirados}$.

Es importante mencionar que en el caso nacional no existe manufactura de estos equipos.

N2O de otros usos de productos (2.G.3.)

Para la estimación de emisiones de la subcategoría Aplicaciones médicas (2.G.3.a.) se aplicó el método nivel 1 de las *Directrices del IPCC de 2006* basado en el supuesto que considera que las emisiones ocurren generalmente poco después del suministro de la sustancia, dentro del año. La estimación considera lo siguiente:

Ecuación 4-36. 2.G.3 Aplicaciones médicas: estimación de emisiones para N₂O de otros usos de productos (nivel 1)

$$Emisiones_t = A_t$$

Fuente: basado en Ecuación 8.24; Capítulo 7; Volumen 3; Directrices del IPCC de 2006

Donde:

- Emisiones_t: emisiones año t, toneladas.
- A_t: cantidad total de N₂O suministrada en el año t, en toneladas

4.7.2.2 Datos de actividad de la categoría

Equipos eléctricos (2.G.1.)

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 DESSAU, 2013 solicitado por la Comisión nacional de energía. 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 kV⁷³.

N₂O de otros usos de productos (2.G.3.)

La serie de datos de actividad se armó en base a los datos entregados por el Servicio de Aduanas, no se encontró registros de producción de N₂O nacional, por lo que el consumo nacional viene dado netamente por el balance entre importación y exportación.

Respecto de los datos de aduanas, solo se cuenta con información para los años 2002 – 2022, en donde solo se encontró registro de importaciones de N₂O, dejando el balance solo como la entrada de nitroso importado. Para completar la serie de datos se utilizó un ajuste exponencial, el cual representaba de mejor manera la serie histórica de datos. Al no contar con datos de producción y de exportación, se asume que todo el consumo nacional viene por los datos de importaciones, sin embargo, no se cuenta con el detalle del uso, por lo que se reporta en la categoría Otros (2.G.3.c.), que presenta usos varios de N₂O. La Tabla 4-51 muestra la serie de datos construida.

⁷³ http://studiecd.dk/cahiers_techniques/SF6_properties.pdf

Tabla 4-51. 2.G. Manufactura y utilización de otros productos: Datos de actividad por fuente de GEI, serie 1990-2022

Año	Equipos eléctricos						N ₂ O de otros usos de productos
	HV (kg) para las diferentes etapas del ciclo de vida			MV (kg) para las diferentes etapas del ciclo de vida			Consumo de N ₂ O (kg)
	Capacidad instalada (kg)	Sistemas en operación (kg)	Remanente en equipos retirados (kg)	Capacidad instalada (kg)	Sistemas en operación (kg)	Remanente en equipos retirados (kg)	
1990	2.100	21.950	-	26	173	-	123
1991	750	22.700	-	46	219	-	153
1992	900	23.600	-	4	223	-	191
1993	2.900	26.500	-	44	266	-	237
1994	2.050	28.500	50	17	284	-	296
1995	2.650	31.050	100	18	302	-	368
1996	3.100	34.150	-	8	310	-	459
1997	6.100	40.250	-	17	326	-	572
1998	3.250	43.500	-	14	340	-	712
1999	3.400	46.850	50	18	358	-	887
2000	3.400	49.900	350	19	377	-	1.105
2001	2.200	52.100	-	11	389	-	1.376
2002	3.350	55.450	-	10	398	-	1.714
2003	2.800	57.650	600	19	418	-	2.134
2004	3.950	61.350	250	4	421	1	2.659
2005	4.450	65.800	-	22	443	-	3.311
2006	4.700	70.450	50	12	455	-	4.125
2007	3.500	73.750	200	11	461	5	5.138
2008	4.400	78.050	100	1	461	1	6.399
2009	6.350	84.200	200	26	485	2	7.971
2010	7.350	90.150	1.400	34	510	9	9.928
2011	4.100	94.250	-	8	518	-	12.367
2012	5.150	99.350	50	34	551	1	15.403
2013	7.250	106.600	-	22	573	-	19.186
2014	5.500	111.750	350	18	591	-	23.898
2015	6.300	117.450	600	26	617	-	29.767
2016	6.700	124.150	-	40	650	7	37.077
2017	12.500	136.600	50	33	683	1	46.182
2018	11.150	147.650	100	57	740	-	57.524
2019	9.200	156.250	600	57	797	-	71.650
2020	17.700	171.450	2.500	108	887	18	89.246
2021	16.300	185.600	2.150	145	7.020	12	111.163
2022	11.700	196.750	550	165	1.178	7	138.462

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

4.7.2.3 Factores de emisión aplicados en la categoría

Equipos eléctricos (2.G.1.)

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 4-52.

Tabla 4-52. 2.G.1. Equipos eléctricos: factores de emisión (fracción) para cada etapa, por tipo de equipo.

Etapa	equipos HV (*)	equipos MV (**)
Instalación	0,085	0,07
Uso	0,026	0,002
Disposición	0,95	0,93

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

N₂O de otros usos de productos (2.G.3.)

No se utiliza factor de emisión

4.7.3 Descripción de cualquier flexibilidad aplicada en la categoría

Durante este ciclo de actualización no se aplicaron criterios de flexibilidad en la estimación de emisiones.

4.7.4 Incertidumbre y coherencia de la serie temporal de la categoría

La incertidumbre combinada de las subcategorías correspondientes a la Manufactura y utilización de otros productos (2.G.) fluctúan entre -36,1 % +100,0 %, considerando las recomendaciones de las *Directrices del IPCC de 2006* (disponible en el cuadro 8.5 y en el numeral 8.43.1; del Capítulo 8; Volumen 3), ya que en general no se cuenta con información nacional de incertidumbre de los datos de actividad y factores de emisión. Para el caso de la componente Otros (2.G.3.c), la incertidumbre combinada se atribuye completamente a los datos de actividad. La Tabla 4-53 muestra un resumen para la incertidumbre de la subcategoría en 2022.

Tabla 4-53. 2.G. Manufactura y utilización de otros productos: Incertidumbre combinada por fuente de GEI, serie 1990-2022

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%	40,0%	30,0%	30,0%	36,1%	50,0%
2.G.1.b.	Uso de equipos eléctricos	SF ₆	20,0%	40,0%	30,0%	30,0%	36,1%	50,0%
2.G.1.c.	Eliminación de equipos eléctricos	SF ₆	20,0%	40,0%	30,0%	30,0%	36,1%	50,0%
2.G.3.c	Otros	N ₂ O	100%	100%	0,00%	0,00%	100%	100%

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

Para mantener la consistencia en la serie 1990-2022 se usaron los mismos factores de emisión y la misma fuente de datos de actividad, tanto estadísticos como paramétricos.

4.7.5 Procedimiento de garantía y control de calidad y verificación

Para la subcategoría de Equipos eléctricos (2.G.1.), no se realizaron actividades de verificación en este ciclo de actualización. Sin embargo, para la N₂O de otros usos de productos (2.G.3.), se verificó que los datos de aduanas fueran mayores a los reportados solo por usos médicos. De esta forma se tiene que los usos médicos se pueden abastecer solo de las importaciones.

4.7.6 Nuevos cálculos

Durante este ciclo de actualización no se realizaron nuevos cálculos para las subcategorías de la Equipos eléctricos (2.G.1.), sin embargo, para N₂O de otros usos de productos (2.G.3.), se actualizó el ajuste exponencial que permite completar la serie histórica entre 1990 y 2001, agregando los dos últimos años de información de Aduana. Esto significó un cambio en las emisiones previo a los registros oficiales de importación.

4.7.6.1 Implicaciones para los niveles de emisión

En la Tabla 4-54 y la Figura 4-25 se observa cómo variaron las emisiones de GEI de la subcategoría respecto al inventario anterior (INGEI IBA5). La nueva serie de tiempo presenta una baja en las emisiones en los primeros años de la serie (1990 – 2001), llegando a tener diferencias que no superan 0,1 kt de CO₂ eq.

Tabla 4-54. 2.G.3. N₂O de otros usos de productos (kt CO₂ eq) del INGEI IBA5 (serie 1990-2020) e INGEI 1IBT (serie 1990-2022)

INGEI	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2022
INGEI IBA5	0,05	0,14	0,38	1,13	0,98	4,35	52,21	-
INGEI 1IBT	0,03	0,10	0,29	1,00	0,87	4,35	52,21	62,89
Diferencia	-0,02	-0,04	-0,09	-0,12	-0,11	-	-	62,89
Diferencia %	-61%	-45%	-31%	-12%	-12%	0%	0%	

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

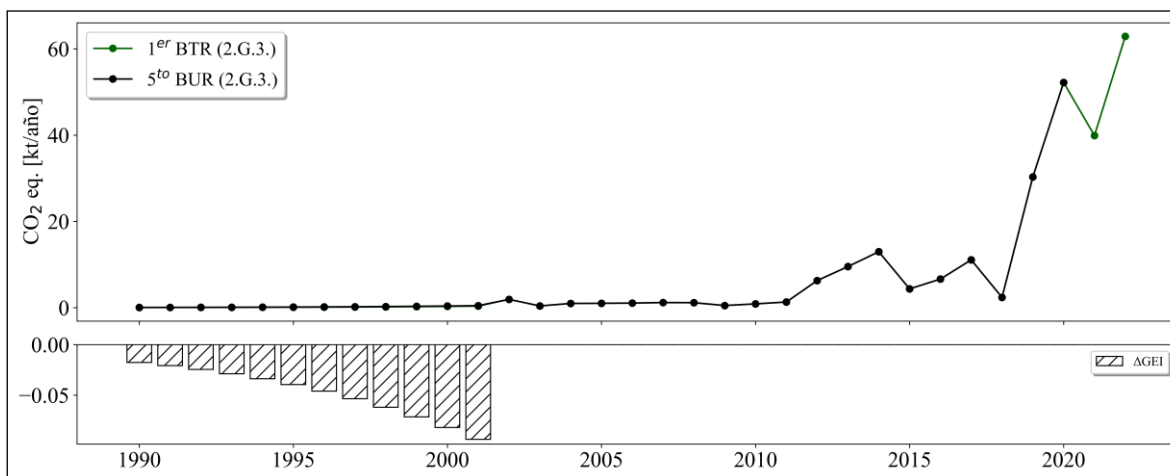


Figura 4-25. 2.G.3. N₂O de otros usos de productos: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI IBA5 (serie 1990-2020) e INGEI 1IBT (serie 1990-2022)

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

4.7.7 Mejoras planificadas para la categoría

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:

Equipos eléctricos (2.G.1.)

- Verificar otros posibles usos de SF₆ en el país, considerando el balance realizado en el inventario anterior.

N₂O de otros usos de productos (2.G.3.)

- Verificar producción de N₂O en el país.
- Verificar la disponibilidad de información para los años pre-2002.

4.8 Referencias

Banco Central. (2020). Cuentas Nacionales de Chile 1990 – 2018. <https://www.bcentral.cl/web/banco-central/areas/estadisticas/cuentas-nacionales-anuales>.

ENAP (2014). Memoria anual <https://www.enap.cl/files/get/1090>

DICTUC. (2019) Elaboración de inventario nacional individualizado de hidrofluorocarbonos (HFC). http://catalogador.mma.gob.cl:8080/geonetwork/srv/spa/resources.get?uuid=72b6d6d1-68bd-4d34-975c-3e070baf4144&fname=HFC2-Informe_final_16.12.2019.pdf&access=public.

DICTUC. (2023). Actualización de importaciones netas de HFC y PFC contenido en equipos y productos para el periodo 2021-2022.

DESSAU CHILE INGENIERÍA S.A. (2013). “Revisión de la tecnología y valorización de proyectos de instalación y operación de subestaciones GIS” de 2013. https://comisionenergia-my.sharepoint.com/personal/infoestadistica_cne_cl/_layouts/15/onedrive.aspx?id=%2Fpersonal%2Finfoestadistica%5Fcne%5Fcl%2FDocuments%2Fenergia%5Fabierta%2FCentro%5Fde%5Finformaci%C3%B3n%2Festudios%2FCNE%2FInforme%20DT2215%2DDTG003%20Rev%20A%2Epdf&parent=%2Fpersonal%2Finfoestadistica%5Fcne%5Fcl%2FDocuments%2Fenergia%5Fabierta%2FCentro%5Fde%5Finformaci%C3%B3n%2Festudios%2FCNE&ga=1

Chilealimentos. (2017). Introduction of zero or low global warming potencial refrigerants in food processing and exports (fruits and vegetables) in Chile (Project CTCN/UNIDO 120444)

IPCC. (2006). Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Recuperado el 2014, de <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/vol2.html>

Unidad de Ozono, Ministerio del Medio Ambiente. (2017). SURVEY ODS ON ODS ALTERNATIVES (HFCs and others).

5 Sector Agricultura (3)

5.1 Panorama general

5.1.1 Descripción del sector

El sector Agricultura incluye las emisiones de GEI asociadas a las actividades agropecuarias de las tierras gestionadas. Este conjunto de actividades incluye:

- Las emisiones de CH₄ producidas por la fermentación entérica de la ganadería;
- Las emisiones de CH₄ y N₂O de los sistemas de gestión del estiércol de la ganadería;
- Las emisiones de CH₄ del cultivo del arroz;
- 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 por quemas de residuos agrícolas;
- Las emisiones de CO₂ relacionados con la utilización de fertilizantes inorgánicos;
- Las emisiones de CO₂ relacionadas a la actividad de encalado en tierras gestionadas

Chile es una franja larga y angosta ubicada al suroccidental de América del Sur, entre los 17° 30' y 56° 30' de latitud sur. Debido a esto, en Chile existe una gran variabilidad edafoclimática, generando que se desarrollen diversas actividades agrícolas según la región administrativa y zona climática. Por ejemplo, en el sur de Chile es común encontrar la producción bovina de leche y carne, mientras que en la zona centro-norte, es común encontrar producción de cultivos y frutales. Por esta razón, las emisiones de GEI se estiman para las 16 regiones administrativas del país, siendo posteriormente sumadas para determinar las emisiones nacionales del sector.

5.1.2 Tendencia de los GEI del sector

En el sector Agricultura, en el 2022, las emisiones de CO₂ fueron de 425,5 kt, procedente de las categorías de *encalado* y *aplicación de urea*; para el CH₄ las emisiones fueron 201,8 kt, principalmente provenientes de las categorías *fermentación entérica* y *gestión del estiércol*, y en menor grado de las categorías *cultivo del arroz* y *quema de residuos agrícolas en el campo*. En el caso de N₂O, este contribuye a las emisiones con un 11,8 kt que deriva de las categorías *suelos agrícolas*, *gestión del estiércol* y, en menor grado, de *quema de residuos agrícolas en el campo*. A pesar de no estar considerados en los totales de las emisiones de GEI con potencial de calentamiento atmosférico ponderado, en el inventario del sector se contabilizan y declaran las emisiones de gases precursores, tales como, NO_x con 3,7 kt y CO con 137,4 kt, ambos procedentes de la categoría *quema de residuos agrícolas en el campo*, (Tabla 5-1). Para el caso de los precursores COVDM y SO_x, no han sido estimadas o no ocurren en el país.

Tabla 5-1. Sector Agricultura: total emisiones por GEI, categoría y subcategoría (kt) para 2022.

Código	Categorías de fuente de gases de efecto invernadero	CO ₂ (kt)	CH ₄ (kt)	N ₂ O (kt)	NO _x (kt)	CO (kt)	COVDM (kt)	SO _x (kt)	Total de GEI (kt CO ₂ eq)
3.	Agricultura	425,5	201,8	11,8	3,7	137,4	NE, NO	NE, NO	9.210,6
3.A.	Fermentación entérica		171,7						4.806,9
3.A.1.	Bovinos		138,3						3.873,2
3.A.1.a.	Vacas lecheras		30,7						858,9
3.A.1.b.	Otros bovinos		107,7						3.014,3
3.A.2.	Ovinos		22,8						637,4
3.A.3.	Porcinos		4,1						115,2
3.A.3.a.	Marranas		0,4						10,5
3.A.3.b.	Verracos		0,0						0,2
3.A.3.c.	Juveniles		3,7						104,5
3.A.4.	Otro ganado		6,5						181,1
3.A.4.a.	Búfalos		NO						NO
3.A.4.b.	Camellos		NO						NO
3.A.4.c.	Ciervos		0,0						1,2
3.A.4.d.	Caprinos		3,0						84,0
3.A.4.e.	Equinos		3,0						85,1
3.A.4.f.	Mulas y asnos		0,1						2,1
3.A.4.g.	Aves de corral		NA						NA
3.A.4.h.	Otros		0,3						8,6
3.B.	Gestión del estiércol		21,1	1,4			NE, NO		967,2
3.B.1.	Bovinos		3,1	0,1			NE		118,4
3.B.1.a.	Vacas lecheras		1,9	0,1			NE		74,9
3.B.1.b.	Otros bovinos		1,2	0,0			NE		43,4
3.B.2.	Ovinos		0,3	NO			NE		7,7
3.B.3.	Porcinos		9,6	0,3			NE		336,4
3.B.3.a.	Marranas		1,6	0,0			NE		54,2
3.B.3.b.	Verracos		0,0	0,0			NE		1,1
3.B.3.c.	Juveniles		7,9	0,2			NE		281,1
3.B.4.	Otro ganado		8,2	0,1			NE		257,2
3.B.4.a.	Búfalos		NO	NO			NO		NO
3.B.4.b.	Camellos		NO	NO			NO		NO
3.B.4.c.	Ciervos		0,0	NO			NE		0,0
3.B.4.d.	Caprinos		0,0	NO			NE		1,1
3.B.4.e.	Equinos		0,1	NO			NE		3,4
3.B.4.f.	Mulas y asnos		0,0	NO			NE		0,1
3.B.4.g.	Aves de corral		8,0	0,1			NE		252,4
3.B.4.h.	Otros		0,0	NO			NE		0,3
3.B.5.	Emisiones indirectas de N ₂ O			0,9					247,5
3.C.	Cultivo del arroz		4,9				NE, NO		138,0

Código	Categorías de fuente de gases de efecto invernadero	CO ₂ (kt)	CH ₄ (kt)	N ₂ O (kt)	NO _x (kt)	CO (kt)	COVDM (kt)	SO _x (kt)	Total de GEI (kt CO ₂ eq)
3.C.1.	Irrigadas		4,9				NE		138,0
3.C.2.	Alimentadas a lluvia		NO				NO		NO
3.C.3.	Aguas profundas		NO				NO		NO
3.C.4.	Otros		NO				NO		NO
3.D.	Suelos agrícolas		NA, NO	10,3	NE, NO	NE, NO	NE, NO		2.732,3
3.D.1.	Emisiones directas de N ₂ O de suelos agrícolas		NA, NO	7,6	NE	NE	NE		2.024,5
3.D.1.a.	Fertilizantes inorgánicos		NA	3,6	NE	NE	NE		944,2
3.D.1.b.	Fertilizantes orgánicos		NA	0,9	NE	NE	NE		243,4
3.D.1.c.	Orina y estiércol depositado por animales...		NA	1,1	NE	NE	NE		289,4
3.D.1.d.	Residuos de cosechas		NA	2,0	NE	NE	NE		542,8
3.D.1.e.	Mineralización de la materia orgánica del suelo		NA	NE	NE	NE	NE		NE
3.D.1.f.	Cultivo de suelos orgánicos (histosoles)		NA	0,0	NE	NE	NE		4,7
3.D.1.g.	Otros		NO	NO	NO	NO	NO		NO
3.D.2.	Emisiones indirectas de N ₂ O de suelos agrícolas		NA	2,7	NE	NE	NE		707,7
3.D.2.a.	Deposición atmosférica		NA	1,2	NE	NE	NE		314,9
3.D.2.b.	Lixiviación y escurrimiento		NA	1,5	NE	NE	NE		392,9
3.E.	Quema prescrita de sabanas		NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
3.E.1.	Tierras forestales		NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
3.E.2.	Pastizales		NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
3.F.	Quema de residuos agrícola en el campo		4,0	0,1	3,7	137,4	NE, NO	NE, NO	140,7
3.F.1.	Cereales		2,0	0,1	1,8	67,8	NE	NE	69,3
3.F.2.	Legumbres		NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
3.F.3.	Tubérculos y raíces		NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
3.F.4.	Caña de azúcar		NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
3.F.5.	Otros (frutales)		2,0	0,1	1,9	69,7	NE	NE	71,3
3.G.	Encalado	134,4							134,4
3.G.1.	Caliza	82,0							82,0
3.G.2.	Dolomita	52,4							52,4
3.H.	Aplicación de urea	291,2							291,2
3.I.	Otros fertilizantes que contienen carbono	NO							NO
3.J.	Otros	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO

Nota 1: NA = no aplica; NE = no estimado; NO = no ocurre; IE = incluido en otro lugar; C = confidencial.

Nota 2: Las cifras 0,0 corresponden a valores inferiores a 0,05 kt.

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI, con base en hoja «Table3» del CRT.

En 2022, las emisiones de GEI del sector contabilizaron 9.210,6 kt CO₂ eq, disminuyendo en un 11,6 % desde 1990 y disminuyendo en 5,7 % desde 2020, último año del inventario presentado en el 5BUR de Chile (Tabla 5-2 y Figura 5-1). Esto se debe principalmente a la reducción de la población bovina respecto a 1990, en las categorías *otros vacunos* (29,2 %; que incluye ganado bovino de carne, vaquillas y terneros) y ovino (47,2 %). En general, la reducción de la masa bovina a nivel nacional, en especial de animales destinados a la 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 (Rojas, 2019; Ortega *et al.*, 2020).

Según los datos estimados, el 52,2 % de las emisiones de GEI corresponden a la categoría *fermentación entérica*; le sigue la categoría *suelos agrícolas* con un 29,7 %; *gestión del estiércol* con un 10,6 %; *aplicación de urea* con un 3,2 %; *cultivo del arroz* con un 1,5 %; *quema de residuos agrícolas en el campo* con un 1,5 %; y finalmente, *encalado* con un 1,4 %. En comparación a 1990, durante 2022 la mayor reducción se ha producido en la categoría *cultivo del arroz* (34,9 %), debido principalmente a la disminución de la superficie del cultivo. En segundo lugar, se ubica la categoría *fermentación entérica* (29,4 %), este último asociado a la reducción de la población bovina (principalmente bovinos de carne) y ovina. El mayor incremento en las emisiones respecto a 1990 se observó en las categorías *aplicación de urea* (68,7 %), seguido por *encalado* (60,7 %), y en tercer lugar por *gestión del estiércol* (43,0 %), esta categoría aumentó principalmente por el incremento en la población de aves de corral en un 96,1 % y en la población de cerdos en 172,3 %.

Tabla 5-2. Sector Agricultura: total de GEI por categoría (kt CO₂ eq).

Categoría	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022
3.A. Fermentación entérica	6.812,5	7.385,5	7.514,5	7.317,5	6.398,6	5.860,7	5.008,6	4.793,0	4.806,9
3.B. Gestión del estiércol	676,3	799,3	904,3	813,8	790,8	787,4	877,9	916,7	967,2
3.C. Cultivo del arroz	212,2	223,9	174,0	165,8	158,0	168,6	185,0	160,6	138,0
3.D. Suelos agrícolas	2.360,7	2.717,7	2.720,8	2.879,7	3.304,0	2.933,8	3.014,0	2.980,8	2.732,3
3.E. Quema prescrita de sabanas	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
3.F. Quema de residuos agrícola...	103,4	92,6	115,8	136,4	134,9	129,8	144,0	148,7	140,7
3.G. Encalado	83,6	91,2	105,2	123,7	137,7	143,6	134,6	134,4	134,4
3.H. Aplicación de urea	172,6	225,2	302,9	295,2	377,2	433,0	403,3	396,7	291,2
3.I. Otros fertilizantes que...	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
3.J. Otros	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Total	10.421,4	11.535,4	11.837,5	11.732,2	11.301,1	10.456,8	9.767,4	9.531,0	9.210,6

Nota: NO: no ocurre, NE: no estimada.

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

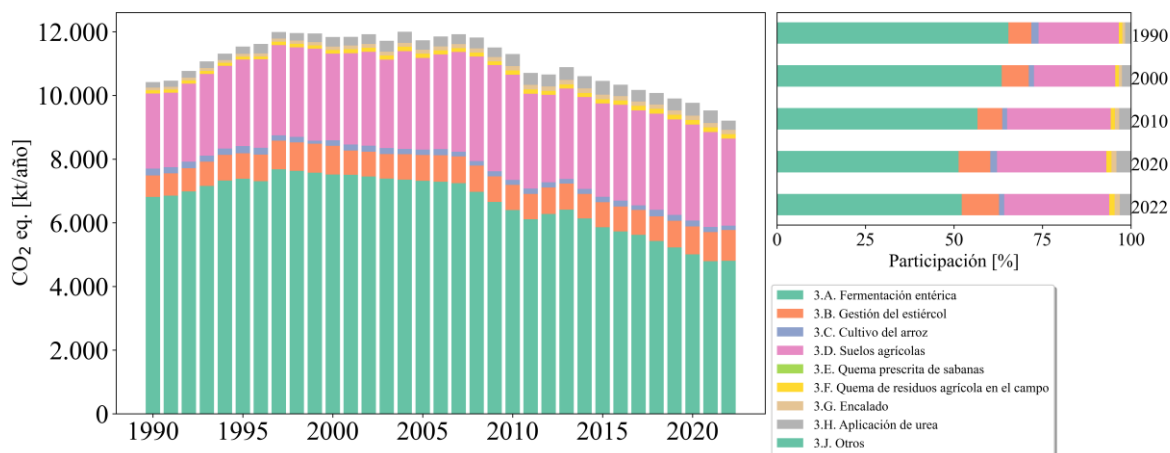


Figura 5-1. Sector Agricultura: total de GEI por categoría (kt CO₂ eq), 1990-2022.

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

En 2022, el principal GEI emitido por el sector fue el CH₄, representando un 61,3 % de su total. Lo sigue el N₂O con un 34,0 % y el CO₂ con un 4,6 % (Tabla 5-3 y Figura 5-2). 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, seguido por el N₂O emitido desde los *suelos agrícolas* y los sistemas de manejo de estiércol.

Tabla 5-3. Sector Agricultura: total emisiones por GEI (kt CO₂ eq).

GEI	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022
CO ₂	256,2	316,3	408,1	418,9	514,9	576,6	537,9	531,1	425,5
CH ₄	7.555,9	8.198,9	8.343,3	8.026,9	7.062,3	6.521,0	5.800,8	5.609,6	5.649,6
N ₂ O	2.609,2	3.020,2	3.086,2	3.286,4	3.723,8	3.359,2	3.428,7	3.390,2	3.135,5
Total	10.421,4	11.535,4	11.837,5	11.732,2	11.301,1	10.456,8	9.767,4	9.531,0	9.210,6

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

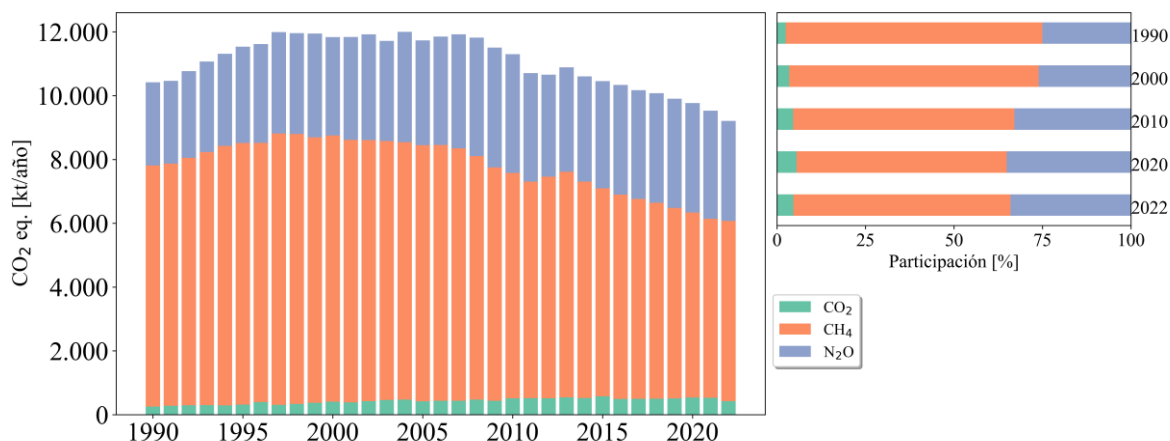


Figura 5-2. Sector Agricultura: total emisiones por GEI (kt CO₂ eq), 1990-2022.

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

La principal categoría que genera emisiones de precursores en el sector Agricultura es la *quema de residuos agrícolas en el campo*, donde el gas precursor mayormente emitido es el CO.

El sector Agricultura representó el 5,5% de las emisiones de GEI totales (111.049 kt de CO₂eq) y el 8,3% del balance de GEI del país (54.370) para el 2022 (Figura 5-3 y Figura 5-4).

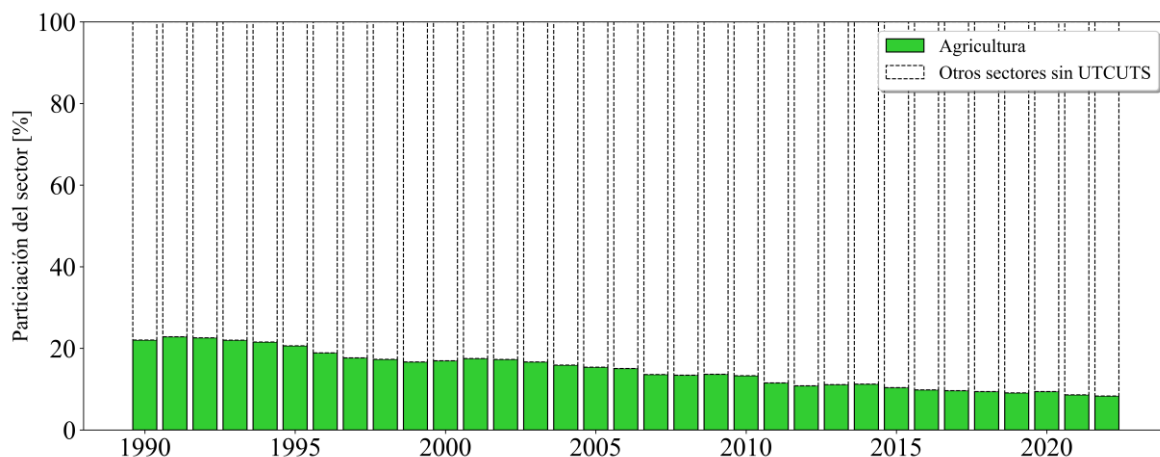


Figura 5-3. Sector Agricultura: participación del sector en las emisiones de GEI totales (excluyendo UTCUTS).

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

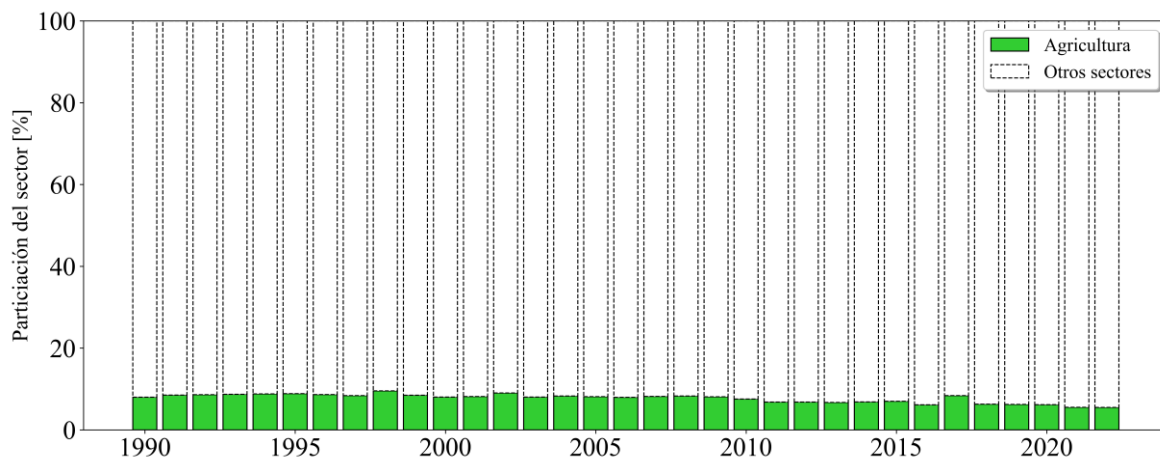


Figura 5-4. Sector Agricultura: participación del sector en las emisiones de GEI totales (incluyendo UTCUTS).

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

5.1.3 Aspectos metodológicos generales del sector

Para las estimaciones de los GEI de todas las categorías incluidas en el sector se aplicaron las metodologías y métodos de Nivel del *Refinamiento de 2019 para las directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de los gases de efecto invernadero* (en adelante, *Refinamiento de 2019*). En el caso particular de los métodos de Nivel, se aplicó mayoritariamente el método de Nivel 1, utilizando factores de emisión por defecto de las directrices del IPCC respectivas. Sin embargo, Chile ha avanzado en la aplicación de método de Nivel 2 para parte de sus categorías principales.

En este sentido, se aplicó el método de Nivel 2 para las emisiones de CH₄ de los *bovinos* de la categoría *fermentación entérica* mediante el desarrollo de factores de emisión país específico para cada una de las regiones administrativas del país. También se aplicó el método de Nivel 2 — mediante el desarrollo de factores de emisión país específico— para las emisiones de CH₄ de los *bovinos* y *porcinos* en la categoría *gestión del estiércol*.

En la categoría *suelos agrícolas*, si bien se aplicó un método de Nivel 1 utilizando un factor de emisión por defecto, las emisiones desde el N excretado se calculan con datos de actividad país específico para el caso de *bovinos* y *porcinos*.

En el caso de los datos de actividad, los principales conjuntos de datos son la población animal anualizada (número de cabezas), y la cantidad de fertilizante aplicado a los suelos (toneladas). Esta información proviene principalmente de los Censos Agropecuarios y Forestales de 1997, 2007 y 2021; encuestas sectoriales (rubros); información aportada por la empresa privada; y anuarios estadísticos elaborados por las mismas instituciones que forman parte del Equipo Técnico de Agricultura.

Mayor detalle sobre los métodos aplicados y las fuentes de datos de actividad utilizadas se presenta en las secciones correspondientes a cada categoría.

5.2 Fermentación entérica (3.A)

5.2.1 Descripción y tendencia de los GEI de la categoría

De acuerdo con el *Refinamiento de 2019*, el metano se produce en los herbívoros como subproducto de la *fermentación entérica*, un proceso digestivo por el cual los microorganismos descomponen los carbohidratos en moléculas simples. La cantidad de metano que se libera depende del tipo de tracto digestivo, la edad y el peso del animal, así como de la calidad y la cantidad del alimento consumido. Los rumiantes (p. ej., vacunos, ovinos) son fuentes importantes de metano con cantidades moderadas producidas por no rumiantes (p. ej., porcinos, equinos).

En línea con las directrices del IPCC, la categoría está conformada por las siguientes categorías animales: 3.A.1. *bovinos*, 3.A.2. *ovinos*, 3.A.3. *porcinos* y 3.A.4. *otro ganado*, las cuales agrupan todas las posibles categorías animales existentes en un país.

En el contexto nacional, las categorías animales del país son agrupadas en: bovinos (incluye vacas lecheras, vacas carne, vaquillas, adultos carne, jóvenes carne y terneros); ovinos (ovejas); porcinos (incluye verracos, marranas y juveniles); ciervos; caprinos (cabras); equinos (caballos); mulas y asnos; aves de corral (incluye a gallinas ponedoras y de carne, patos, pavos y otras aves de corral); y otros (jabalíes, llamas y alpacas).

En 2022, *fermentación entérica* es la categoría más relevante del sector, representando el 52,2 % de las emisiones, con 4.806,9 kt CO₂ eq, disminuyendo en un 29,4 % desde 1990 y en un 4,0 % desde 2020 (Tabla 5-4 y Figura 5-5). La principal categoría animal es *bovinos*, con un aporte del 80,6 %; seguido de *ovinos* con el 13,3 %; *otro ganado* con el 3,8 %; y, finalmente, porcinos con un 2,4 %. La disminución de los GEI guarda relación con la disminución de la población animal, que a su vez, es consecuencia de la baja de la rentabilidad de los negocios de producción bovina de carne, principalmente, por importación de este tipo de producto (ODEPA, 2013; Rojas, 2019; Ortega *et al.*, 2020), y por una reducción del precio de venta de la lana ovina en los mercados internacionales, lo que ha resultado en una disminución de las expectativas de negocio y con ello de la masa ganadera para estas subcategorías animales.

Tabla 5-4. Fermentación entérica: total de GEI por categoría animal (kt CO₂ eq).

Categoría animal	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022
3.A.1. Bovinos	5.130,6	5.793,3	6.066,7	5.826,8	4.975,7	4.713,7	4.040,1	3.856,9	3.873,2
3.A.2. Ovinos	1.206,9	1.131,0	952,3	981,1	914,6	749,0	649,8	637,4	637,4
3.A.3. Porcinos	42,3	57,0	78,5	119,5	130,3	129,3	117,4	117,6	115,2
3.A.4. Otro ganado	432,6	404,2	417,0	390,1	378,0	268,7	201,2	181,1	181,1
Total	6.812,5	7.385,5	7.514,5	7.317,5	6.398,6	5.860,7	5.008,6	4.793,0	4.806,9

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

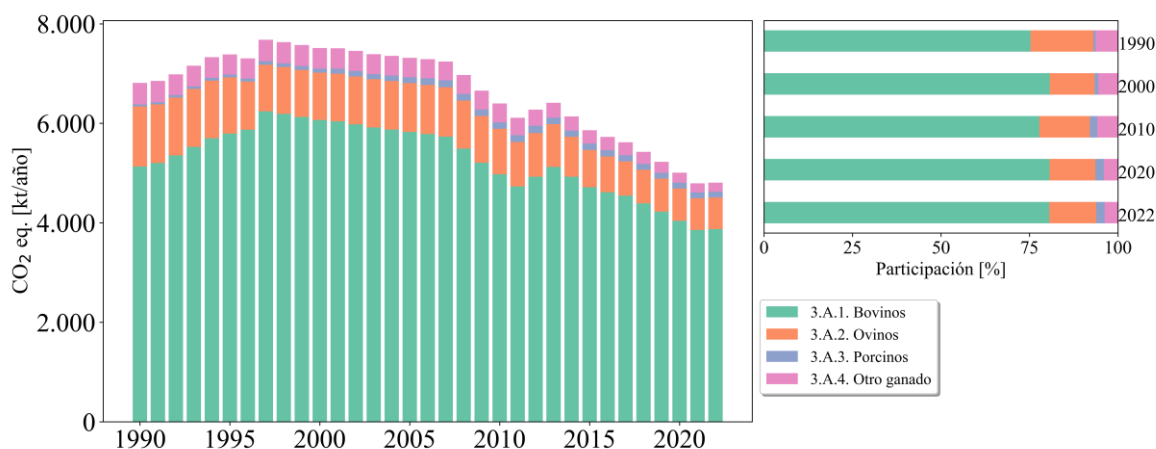


Figura 5-5. Fermentación entérica: total de GEI por categoría animal (kt CO₂ eq), 1990-2022.

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

En lo que respecta a *bovinos* (Tabla 5-5), las *vacas lecheras* representan un 22,2 %, mientras que el restante 77,8 % a *otros vacunos*. Destaca que, en el caso de las subcategorías que forman parte de *otros vacunos*, las *vacas carne* representa la mayor fuente de emisión con un 25,0 %; seguido de *jóvenes carne* con un 16,8 %; *vaquillas* con un 15,9 %; *terneros* con un 14,9 %; y, finalmente, un 5,3 % asociado a *adultos carne*. Esto guarda relación con el número de animales por categoría animal, siendo mayor la población de *vacas carnes* respecto los demás *bovinos*. También se asocia con el tamaño de los animales, donde a mayor tamaño existe un mayor consumo de materia, el cual presenta una relación lineal con las emisiones de metano entérico, explicando las mayores emisiones en aquellas categorías animales con mayor número de animales y de mayor peso.

Tabla 5-5. Bovinos: total de GEI por subcategoría animal (kt CO₂ eq).

Subcategoría animal	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022
3.A.1.a. Vacas lecheras	1.130,1	1.311,0	1.340,6	1.248,6	1.145,4	1.101,4	1.080,9	858,4	858,9
3.A.1.b. Otros vacunos	4.060,8	4.482,2	4.534,5	4.809,4	4.782,1	4.754,3	2.959,3	2.998,5	3.014,3
3.A.1.b.i. Vacas carne	1.264,3	1.403,7	1.520,3	1.498,9	1.261,2	1.151,3	974,4	969,5	966,4
3.A.1.b.ii. Vaquillas	816,0	972,0	994,6	962,2	857,9	866,1	558,8	620,5	614,9
3.A.1.b.iii. Adultos carne	501,8	486,3	560,7	478,3	310,6	270,0	214,8	206,3	206,8
3.A.1.b.iv. Jóvenes carne	847,8	946,6	927,2	898,9	738,6	750,4	670,9	642,3	650,4
3.A.1.b.v. Terneros	570,7	673,7	723,2	739,8	662,0	574,6	540,2	560,0	575,7
Total	5.130,6	5.793,3	6.066,7	5.826,8	4.975,7	4.713,7	4.040,1	3.856,9	3.873,2

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

En el caso de *porcinos*, *juveniles* domina las emisiones con un 90,7 %, seguido de *marranas* con 9,1 % y *verracos* con un 0,2 % (Tabla 5-6 y Figura 5-6). En general, las emisiones se incrementaron en un 172,3 % desde 1990, pero disminuyendo un 1,9 % desde 2020. El principal causante de esta tendencia observada 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 planteles⁷⁴. Un ejemplo de ello fue el cierre del centro de producción el año 2012, ubicado cerca de Freirina en la Región de Coquimbo, que contaba con alrededor de 500 mil cerdos. Sin embargo, posterior a 2012, la población de porcinos presentó algunas fluctuaciones, manteniéndose estable hasta el 2022.

Tabla 5-6. Porcinos: total de GEI por subcategoría animal (kt CO₂ eq).

Subcategoría animal	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022
3.A.3.a. Marranas	4,3	5,9	8,1	12,3	13,4	13,3	10,7	10,8	10,5
3.A.3.b. Verracos	0,1	0,2	0,2	0,3	0,4	0,4	0,2	0,2	0,2
3.A.3.c. Juveniles	37,9	51,0	70,2	106,9	116,6	115,6	106,5	106,6	104,5
Total	42,3	57,0	78,5	119,5	130,3	129,3	117,4	117,6	115,2

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

⁷ comunicación directa con Renzo Boccanegra (ASPROCER) para el desarrollo del NIR 2020.

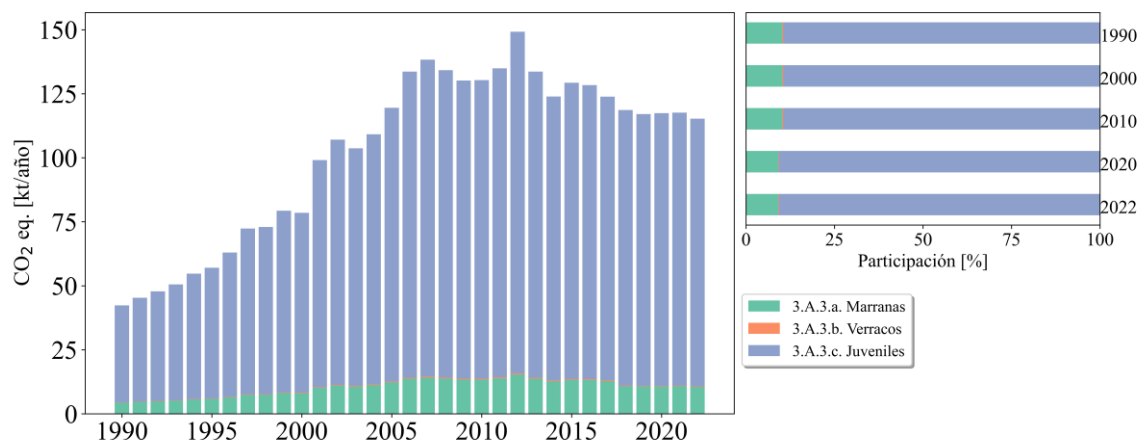


Figura 5-6. Porcinos: total de GEI por subcategoría animal (kt CO₂ eq, 1990-2022).

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

Finalmente, la categoría animal *otro ganado* ha disminuido en un 58,1 % desde 1990 y en un 10,0 % desde 2020. Esta categoría animal está dominada por *equinos* (47,0 %) y *caprinos* (46,4 %), mientras que todas las otras subcategorías que lo conforman suman un poco significativo 6,6 %. La principal explicación se asocia a la reducción en la población animal de equinos y caprinos, las cuales disminuyeron en un 51,4 % y 62,0 % desde 1990, respectivamente.

5.2.2 Aspectos metodológicos de la categoría

Para la estimación de los GEI de esta categoría se aplicó el método de Nivel 2 para las emisiones de CH₄ de los *bovinos*, desarrollando y utilizando factores de emisión país específico. Específicamente, se utilizaron las Ecuaciones 10.3, 10.4, 10.6, 10.8, 10.11, 10.13, 10.14, 10.15, 10.16, 10.19 y 10.21, del capítulo 10, volumen 4 del *Refinamiento de 2019*. Para todas las otras subcategorías animales se utilizó el método de Nivel 1 (Ecuación 10.19 y Tabla 10.10 del capítulo 10, volumen 4 del *Refinamiento de 2019*).

Para aplicar el método de Nivel 2, en línea con la caracterización mejorada para poblaciones de ganado, los *otros vacunos* fueron desagregados según sistema productivo (pastoreo y confinamiento), sexo y edad. Adicionalmente, se realizó una desagregación y caracterización de los animales para cada una de las 16 regiones administrativas del país, con la incorporación de su variación anual. Esto permite la generación de factores de emisión específicos para cada una de las subcategorías animales y en cada una de las regiones administrativas del país para cada uno de los años de la serie temporal.

5.2.2.1 Datos de actividad de la categoría

Las categorías *fermentación entérica* y *gestión del estiércol* comparten gran parte de los datos de actividad estadísticos y paramétricos para la estimación de GEI, por ejemplo, población animal, sistema productivo (por ende, su dieta), peso de los animales, consumo de alimentos, entre otros.

La principal información requerida es la población animal anualizada (cabezas año⁻¹). Las poblaciones animales fueron obtenidas mayoritariamente de los *Censos Agropecuarios y Forestales* y de las estadísticas y encuestas publicadas por ODEPA e INE⁷⁵.

En el caso particular de *porcinos*, la información fue provista por la Asociación de Productores de Cerdo (ASPROCER), ya que al ser información directamente proporcionada por los productores se estima que refleja de mejor forma la distribución de los porcinos por región y sistema de *gestión del estiércol* (SGE). ASPROCER indica 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 dictamen 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 para el faenamiento de los porcinos y no la ubicación de los planteles de cría. Además, ASPROCER proporcionó información de la población de porcinos entre las regiones de Valparaíso y La Araucanía, por lo tanto, fue requerida la aplicación de técnicas de empalme, de proporción por categoría animal (marranas, verracos y juveniles) según datos entregados por ASPROCER, que fueron aplicados para toda la serie temporal, lo cual permitió presentar datos más precisos de la población en estas regiones que presentan un mayor número de porcinos que el resto del país.

Para las especies animales que no contaban con información detallada entre los años intercensales 1977, 1997, 2007 y 2021, se realizaron interpolaciones supervisadas por expertos sectoriales, exceptuando los años en los que hubo encuestas para la población animal realizada por ODEPA. En el caso de los *bovinos*, contó con la información de las encuestas realizadas por ODEPA desde 1990 a 1996 y para 2011, 2013, 2015, 2017 y 2019. Para el ganado ovino y caprino se contó con los datos de las encuestas realizadas por ODEPA en 2010, 2013, 2015 y 2017. Para equinos se contó con encuestas de ODEPA para 1990 a 1996. Para aves de corral se obtuvo información de encuestas realizadas por ODEPA para 2010, 2011, 2012, 2013, 2014 y 2015.

Para 2022, último año incorporado en este inventario, se realizó extrapolación, considerando el mismo valor del Censo 2021 para todas las categorías animales, con excepción de porcinos donde se obtuvo información de 2022. En la Tabla 5-7 se presentan los datos de actividad de la población animal anualizada de la serie temporal 1990-2022. En el caso de la población de *vacas lecheras* (vacas ordeña), esta incluye a las vacas lecheras en producción y vacas secas.

⁷⁵ Estadística de ODEPA: <https://www.odepa.gob.cl/estadisticas-del-sector/estadisticas-productivas>

Censos agropecuarios, INE/ODEPA: <https://www.ine.gob.cl/estadisticas/economia/agricultura-agroindustria-y-pesca>; y <https://icet.odepa.gob.cl/>

Tabla 5-7. Población animal anualizada (cabezas año⁻¹), 1990-2022.

Año	Vacas lecheras	Otros bovinos	Porcinos	Jabalíes	Ovinos	Caprinos	Equinos	Mulas y asnos	Camélidos	Ciervos	Aves de corral
1990	488.184	2.982.653	1.007.722	NO	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	NO	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	NO	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	NO	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	NO	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	NO	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	NO	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	NO	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	42.787.158
1999	591.336	3.477.846	1.888.944	1.251	3.756.146	738.337	396.177	29.515	115.612	3.705	43.827.831
2000	578.198	3.456.049	1.869.272	1.877	3.778.990	738.405	386.747	28.687	111.091	4.481	44.868.503
2001	565.060	3.434.251	2.359.315	2.502	3.801.833	738.474	377.318	27.858	106.570	5.257	45.909.176
2002	551.922	3.412.454	2.549.060	3.128	3.824.677	738.543	367.888	27.030	102.049	6.034	46.949.849
2003	538.783	3.390.656	2.468.345	3.753	3.847.521	738.612	358.458	26.201	97.527	6.810	47.990.522
2004	525.645	3.368.859	2.598.578	4.379	3.870.364	738.681	349.029	25.373	93.006	7.586	49.031.195
2005	512.507	3.347.061	2.845.900	5.004	3.893.208	738.749	339.599	24.544	88.485	8.362	50.071.867
2006	499.369	3.325.264	3.181.545	5.630	3.916.051	738.818	330.170	23.716	83.964	9.139	51.112.540
2007	486.231	3.303.466	3.292.707	6.255	3.938.895	738.887	320.740	22.887	79.443	9.915	52.153.213
2008	472.371	3.140.096	3.195.798	5.961	3.835.747	762.809	309.897	21.796	76.456	10.071	51.705.711
2009	458.511	2.976.726	3.098.423	5.657	3.732.598	786.730	299.054	20.705	73.469	10.227	51.273.492
2010	444.650	2.813.356	3.103.207	5.352	3.629.450	810.652	288.211	19.614	70.483	10.382	50.810.205
2011	430.790	2.649.985	3.212.654	5.048	3.553.858	729.311	277.369	18.523	67.496	10.538	51.276.490
2012	465.229	2.735.330	3.552.883	4.744	3.478.266	647.970	266.526	17.432	64.509	10.694	51.197.047
2013	499.667	2.820.675	3.181.492	4.439	3.402.673	566.630	255.683	16.341	61.522	10.850	53.854.491
2014	462.377	2.703.528	2.950.607	4.135	3.187.420	536.419	244.840	15.250	58.536	11.005	52.051.200
2015	425.087	2.586.380	3.077.966	3.831	2.972.167	506.208	233.997	14.158	55.549	11.161	55.910.174
2016	453.925	2.469.085	3.055.752	3.609	2.848.983	520.210	223.154	13.067	52.562	11.317	56.906.702
2017	482.763	2.351.790	2.949.592	3.268	2.725.799	534.211	212.311	11.976	49.575	9.483	57.903.229
2018	516.624	2.225.416	2.824.194	2.928	2.676.659	484.017	201.469	10.885	46.588	7.650	58.899.757
2019	550.166	2.079.684	2.786.805	2.587	2.627.519	433.824	190.626	9.794	43.602	5.816	59.896.284
2020	456.553	2.095.576	2.795.828	2.247	2.578.378	383.630	179.783	8.703	40.615	3.983	60.892.812
2021	362.941	2.111.467	2.800.674	1.906	2.529.238	333.436	168.940	7.612	37.628	2.149	61.889.339
2022	362.941	2.111.467	2.743.742	1.906	2.529.238	333.436	168.940	7.612	37.628	2.149	61.889.339

NO: No ocurre.

Nota: se aplicaron distintas técnicas de empalme (inter/extrapolación, dictamen experto, entre otros) para los años en donde no hubo fuente de información estadística oficial para las diferentes regiones del país.

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

En el Anexo 11.4.1, correspondiente a los Anexos del documento del inventario nacional, se entrega mayor detalle de la definición del tamaño del animal por componente animal para bovinos.

5.2.2.2 Factores de emisión aplicados en la categoría

Los factores de emisión utilizados corresponden, en su mayoría, a valores por defecto seleccionados desde la Tabla 10.10 del Capítulo 10, Volumen 4 del *Refinamiento de 2019*, con excepción de *bovinos* para el cual se desarrollaron factores de emisión país específico.

Los valores por defecto seleccionados, a juicio del equipo técnico de agricultura, corresponden a sistemas de alta productividad, esto en línea con las circunstancias nacionales. Por ejemplo, en cuanto a los *porcinos*, se seleccionaron los valores de sistemas de alta productividad (correspondiente a un valor de 1,5 kg CH₄ cabeza⁻¹ año⁻¹), ya que las características de los animales (tamaño) y condiciones industriales (condiciones alimentarias) se evalúan semejantes a los sistemas norteamericanos de producción. En el caso de *jabalíes*, se seleccionó el valor correspondiente a *porcinos* en sistemas de baja productividad (correspondiente a un valor de 1 kg CH₄ cabeza⁻¹ año⁻¹). En el caso de *aves de corral*, el *Refinamiento de 2019* no incluye valores por defecto, por lo tanto, se utiliza la clave de notación NA (no aplica).

Para el desarrollo de los factores de emisión país específico de los *bovinos*, se aplicaron las ecuaciones siguientes:

Ecuación 5-1. Factores de emisión de CH₄ por fermentación entérica de una categoría de ganado.

$$FE = \left[\frac{GE * \left(\frac{Y_m}{100} \right) * 365}{55,65} \right]$$

Fuente: Ecuación 10.21, Capítulo 10, Volumen 4, *Refinamiento de 2019*.

Donde:

- FE = Factor de emisión (kg CH₄ cabeza⁻¹ año⁻¹),
- GE = Ingesta de energía bruta (MJ cabeza⁻¹ día⁻¹),
- Y_m = Factor de conversión en metano, porcentaje de la energía bruta del alimento convertida en metano,
- La constante 55,65 (MJ/kg CH₄) es el contenido de energía del metano.

Para todas las subcategorías animales que conforman *bovinos* se utilizó un factor de conversión de metano (Y_m) de 6,3 (Tabla 10.12, Capítulo 10, Volumen 4, *Refinamiento de 2019*), el cual correspondiente, según la Tabla 10.12, a vacas de producción de leche entre 5.000 y 8.500 kg año⁻¹, con una digestibilidad del alimento de 63-70 %, que son las condiciones de producción del país según el dictamen experto. Mismo valor se utilizó para *otros vacunos*, con una digestibilidad promedio entre 62-71 % según la mencionada tabla.

Para el cálculo de la ingesta de energía bruta (GE) se utilizó la ecuación siguiente:

Ecuación 5-2. Energía bruta para vacunos, búfalos y ovinos.

$$GE = \left[\frac{\left(\frac{NE_m + NE_a + NE_l + NE_{trabajo} + NE_p}{REM} \right) + \left(\frac{NE_g + NE_{lana}}{REG} \right)}{DE} \right]$$

Nota: Esta ecuación fue utilizada exclusivamente en *bovinos*.

Fuente: Ecuación 10.16; Capítulo 10; Volumen 4; *Refinamiento de 2019*.

Donde:

- GE = Ingesta de energía bruta (MJ cabeza⁻¹ día⁻¹),
- NE_m = Energía neta requerida para el mantenimiento animal (Ecuación 10.3, MJ día⁻¹),
- NE_a = Energía neta para la actividad animal (Ecuación 10.4, MJ día⁻¹),
- NE_l = Energía neta para la lactancia (Ecuación 10.8, MJ día⁻¹),
- $NE_{trabajo}$ = Energía neta para trabajo animal (Ecuación 10.11, MJ día⁻¹),
- NE_p = Energía neta requerida para la lactancia (Ecuación 10.13, MJ día⁻¹),
- REM = Proporción de energía neta disponible en una dieta para mantenimiento a energía digestible (Ecuación 10.14, fracción),
- NE_g = Energía neta necesitada para el crecimiento (Ecuación 10.6, MJ día⁻¹),
- NE_{lana} = Energía neta requerida para producir un año de lana (no aplica para bovinos),
- REG = Proporción de energía neta disponible para crecimiento en una dieta a energía digestible consumida (Ecuación 10.15, fracción),
- DE = Digestibilidad de alimento (fracción).

Para la Ecuación 5-2 se utilizaron valores por defecto del *Refinamiento de 2019*, con excepción de las variables peso en pie del ganado (kg), aumento de peso diario (kg día^{-1}), producción de leche (kg leche día^{-1}), grasa en la leche (fracción) y digestibilidad del alimento (fracción), los cuales fueron obtenidos mediante el dictamen de expertos⁷⁶. Los valores de las variables utilizadas para el cálculo de energía bruta se encuentran en el Anexo 11.4.2. Estos valores se presentan por región y por sistema productivo para 2022.

Para el caso de *vacas lecheras*, cada región tiene su propia distribución de la población animal en los diferentes sistemas de gestión del estiércol, por lo tanto, cada factor de emisión a nivel regional es diferente a lo largo de país. Para los *otros vacunos*, la distribución de la población animal en los sistemas de gestión es la misma para todo el país, por lo tanto, el factor de emisión es el mismo a nivel nacional. La Tabla 5-8 muestra los factores de emisión país específico para *bovinos* a nivel nacional, para el caso de *vacas lecheras* se presenta el promedio ponderado según la población animal.

Tabla 5-8. Bovinos: factores de emisión país específicos aplicados ($\text{kg CH}_4 \text{ cabeza}^{-1} \text{ año}^{-1}$), 1990-2022

Categoría	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2022
Vacas lecheras	82,7	83,9	82,8	87,0	92,0	92,5	84,6	84,5
Vacas carne	60,1	58,5	57,0	55,6	54,2	52,8	51,9	51,5
Vaquillas	55,5	57,5	59,6	61,7	63,8	65,9	64,1	62,9
Adultos carne	81,0	82,5	84,1	85,7	87,3	88,9	90,2	90,7
Jóvenes carne	47,0	49,0	51,0	53,1	55,2	57,4	60,9	62,5
Ternereros	24,3	24,8	25,3	25,8	26,4	26,9	30,4	32,2

Nota: para el caso de vacas lecheras es un promedio ponderado entre sistemas pastoriles y confinados. Para revisar valores de factores de emisión regionales revisar Anexo 11.4.3.

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

5.2.3 Descripción de cualquier flexibilidad aplicada en la categoría

En la presente categoría no se aplicaron disposiciones de flexibilidad de las MPD.

5.2.4 Incertidumbre y coherencia de la serie temporal de la categoría

La incertidumbre para los datos de actividad corresponde a valores determinados por el equipo técnico de agricultura con base en las fuentes de los datos utilizados (Censos y Catastros Estadísticos) y su gestión (por ejemplo, la técnica de empalme utilizada) (Tabla 5-9).

Tabla 5-9. Asignación de valor de incertidumbre de los datos de actividad.

Fuente o técnica de empalme	Incertidumbre (%)
Censos agropecuarios	±10
Catastros y estadísticas	±15
Desagregación regional	±18
Interpolación	±20
Extrapolación	±40
Literatura nacional	±12
Dictamen experto	±25

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

⁷⁶ Marta Alfaro, Francisco Salazar, Sergio Iraira y Francisco Lanuza, investigadores de INIA-Remehue, y Héctor Manterola, Universidad de Chile.

En el caso de los factores de emisión, la incertidumbre para los *bovinos* corresponde a valores determinados por el equipo técnico de agricultura, ya que estos factores de emisión corresponden a valores específicos para el país. Para el resto de las categorías y subcategorías animales, la incertidumbre corresponde a un valor por defecto procedente del Cuadro 10.10, Capítulo 10, Volumen 4 del *Refinamiento de 2019*.

En cuanto a la coherencia de la serie temporal, se construyó la serie de datos de actividad con la información de los *Censos Agropecuarios y Forestales* de 1977, 1997, 2007 y 2021, y de encuestas anuales y bianuales generadas por ODEPA. Para los años en los cuales no se contó con información estadística o paramétrica, se realizaron interpolaciones supervisadas por expertos sectoriales para reflejar las tendencias reales acontecidas en el país. Para completar el último año de la serie temporal, en el caso de brechas de la información, se replicó la información del último año disponible, en su mayoría provenientes del Censo 2021.

Para el caso de *porcinos*, se contó con información estadística de los censos agropecuarios y del sector privado, modificándose la distribución regional de las cabezas de porcinos entre las regiones de Valparaíso y La Araucanía, de acuerdo con lo reportado por ASPROCER. Este ajuste se aplicó solo a porcinos debido a que los censos agropecuarios desagregan la población de porcinos a nivel regional según la región en la cual son faenados y no según la región en donde se realiza la cría, mientras que, para las otras categorías animales, la desagregación regional se realiza efectivamente según el lugar de cría.

5.2.5 ACCV de la categoría

El equipo técnico de Agricultura, a cargo del Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), aplicó procedimientos y actividades de ACCV a todo el sector en línea con lo propuesto por las directrices del IPCC y los lineamientos del SNICHILE. Las actividades aplicadas se encuentran documentadas en el libro de cálculo «2024_SGCC_3AGRI» archivado en el SRT del SNICHILE.

Actividades de control de la calidad

- Todos los valores utilizados (datos de actividad, datos paramétricos, factores de emisión, etc.) fueron ingresados o vinculados a los libros de cálculo 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 técnico de Agricultura.
- En todos los libros de cálculo se insertaron minigráficos de todas las series temporales de cada una de las variables utilizadas (por ejemplo: población animal, TAM, factores de emisión, etc.) con el objetivo de detectar, de forma visual, la existencia de valores fuera de rango o cambios abruptos de la tendencia, lo que podría ser un indicador de un potencial error, siendo necesaria su verificación.

- Todos los datos de actividad, datos paramétricos y factores de emisión fueron compilados en un libro de cálculo único denominado hoja maestra (HM). A este archivo se vincularon las hojas de trabajo (HT) —libros de cálculo en donde se realizan las estimaciones de los GEI—, permitiendo la estandarización de la información, lo que facilita la revisión y disminuye potenciales errores.
- Los totales a nivel nacional de los datos de actividad y las emisiones de GEI son construidos mediante la sumatoria de los totales de cada región, por lo tanto, se realiza un chequeo cruzado para comprobar que no exista diferencia.
- Todos los factores de emisión país específico para la categoría, así como los datos paramétricos utilizados, se encuentran compilados en un único libro de cálculo denominado «2024_FE_Ganado_3AGRI». Esto permite la estandarización y centralización de la información para una rápida revisión y actualización cuando corresponda.

Actividades de aseguramiento de la calidad

En general, como parte del proceso de planificación de cada ciclo del inventario del sector, el Equipo Técnico de Agricultura analiza la inclusión de las sugerencias y recomendaciones generadas durante los procesos previos de aseguramiento de la calidad aplicados —por ejemplo, el análisis técnico de los BUR y la revisión por pares—, con el objetivo de evaluar la factibilidad de su aplicación.

En el caso particular de la población porcina, se aseguró la consistencia de los datos de actividad en colaboración de ASPROCER, ya que refleja de mejor forma la distribución de la población animal en cada región. Más información en la sección 5.2.2.1.

Para asegurar y mejorar la calidad de la estimación de los factores de emisión país específico de bovinos se actualizó el peso de animal (kg), el aumento de peso diario (kg día⁻¹) y la digestibilidad de los alimentos (%) mediante la consulta con especialistas del rubro ganadero. Más información en la sección 5.5.2.2.

En el marco de la Red Latinoamericana de Inventarios Nacionales de GEI (RedINGEI), se realizó una revisión por pares de la estimación de los factores de emisión país específico de los bovinos utilizados en el presente inventario. Esta revisión fue facilitada por la Iniciativa de Fomento de la Capacidad para la Transparencia y Programa de Apoyo Global (CBIT-GSP) y llevada a cabo por parte del equipo sectorial de agricultura del INGEI del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) de Colombia. Se agradece el apoyo brindado por los expertos del IDEAM.

Actividades de verificación

Como parte de las actividades de verificación, los datos estadísticos de las poblaciones animales y de los factores de emisión aplicados en el presente inventario fueron comparados con los valores utilizados en el NIR 2022. Esto adquiere especial relevancia dada la incorporación de la nueva estadística proporcionadas por el *Censo Agropecuario 2021* y los cambios metodológicos.

En general, no se observaron diferencias significativas entre las poblaciones animales, por ejemplo, en la población de bovinos se observaron diferencias menores al 0,5 % en los últimos años comparables con el inventario anterior, en donde se contó con información oficial hasta 2017, por lo tanto, para 2018, 2019 y 2020 se aplicó una extrapolación de datos. En el presente inventario se contó con estadística oficiales de 2021, por lo tanto, se aplicó interpolación entre 2017 y 2021. Misma situación ocurre con las otras poblaciones animales, salvo porcinos, en donde el inventario anterior contó con información de ASPROCER hasta 2018, y se utilizó información de encuestas bianuales de ODEPA para 2019 y 2020. Sin embargo, en el actual inventario, ASPROCER actualizó la información estadística de porcinos para 2018-2022 solo para las regiones entre Valparaíso y la Araucanía, para el resto del país se utilizó información del *Censo Agropecuario 2021*.

5.2.6 Nuevos cálculos

Justificaciones de los nuevos cálculos y mejoras

Se realizaron nuevos cálculos en la categoría debido, principalmente, a la aplicación por primera vez del *Refinamiento de 2019*. Este proceso incluyó modificaciones en los métodos de estimación, así como en los factores de emisión por defecto utilizados. Estas modificaciones también se vieron reflejados en cambios de los factores de emisión país específico para toda la categoría *bovinos*. Además, se actualizaron los datos de actividad, basándose en el juicio de expertos.

En cuanto a las mejoras, se implementaron los siguientes cambios:

- *Datos de actividad*. Se aplicaron mejoras en la gestión y procesamiento de los datos de actividad correspondientes a la población animal al incorporar la información del *Censo Agropecuario 2021* y el refinamiento de las técnicas de empalme de datos aplicadas en comparación con inventarios anteriores. Un ejemplo significativo fue la población de *porcinos* en donde hubo una actualización para 2018, 2019, 2020, 2021 y 2022 para las regiones entre Valparaíso y la Araucanía. Esta información fue compartida por ASPROCER. Esta actualización llevó a una mejora en la información reportada en el actual NIR, en relación con el anterior, donde los datos para dichos años fueron extrapolados. Además, con esta nueva información actualizada de población de porcinos se optó por asignar un nuevo porcentaje de desagregación al total de la población de porcinos en *marranas*, *verracos* y *juveniles*, el cual fue actualizada para toda la serie temporal 1990-2022.
- *Datos paramétricos*. Se actualizaron los dictámenes de expertos para peso en pie (kg), aumento de peso diario (kg día^{-1}) y digestibilidad de la dieta (%). Por otro lado, se actualizó el valor de la grasa en la leche según lo publicado por el Consorcio Lechero en 2022.⁷⁷

⁷⁷ Consorcio lechero, 2022. Indicadores del sector lácteo: temporada 2021. Boletín Consorcio lechero, Chile.

- **Factores de emisión.** Se actualizó la información con base en el *Refinamiento de 2019* para toda la serie temporal y a nivel subnacional. Por ejemplo, además de la estimación de la energía bruta en bovinos, se modificó el valor de la conversión de CH₄ (Y_m), cuyo valor fue asignado según el tipo de producción del animal y las características de la calidad de su alimentación, cambiando el valor de Y_m = 6,5 (IPCC, 2006) a Y_m = 6,3 (IPCC, 2019); en el caso de *ovinos* al igual que para *caprinos*, el *Refinamiento de 2019* actualizó los factores de emisión por defecto, generando un cambio en el valor utilizado de 5 (NIR 2022) a 9 kg CH₄ cabeza⁻¹ año⁻¹ (NIR 2024).

Implicaciones para los niveles de emisión

En la Tabla 5-10 y Figura 5-7 se presentan las variaciones en las emisiones de GEI de esta categoría respecto del inventario anterior, las cuales, en general, fueron aumentadas. Esta comparación se realiza tomando el inventario anterior aplicando los PCA correspondientes a este inventario, de tal manera de comparar cambio en parámetros de estimación y/o metodologías y no diferencias en cuanto a los parámetros de conversión a CO₂eq.

Para el caso de bovinos, hubo una disminución en las emisiones de CH₄, debido principalmente al cambio en el factor de conversión de CH₄ (Y_m). Sin embargo, al llevarlos a la conversión de CO₂ equivalente, estas emisiones aumentaron respecto al inventario anterior, donde se utilizó el potencial de calentamiento atmosférico (PCA) AR4 con un valor para CH₄ de 25, mientras que en el actual inventario (NIR 2024) se utilizó un PCA igual a 28 (AR5).

Tabla 5-10. Fermentación entérica: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI 5to IBA (serie 1990-2020) e INGEI 1er IBT (serie 1990-2022)

INGEI	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022
INGEI 5to IBA	6.664,1	7.306,2	7.493,0	7.237,3	6.248,8	5.782,9	4.957,3		
INGEI 1er IBT	6.812,5	7.385,5	7.514,5	7.317,5	6.398,6	5.860,7	5.008,6	4.793,0	4.806,9
Diferencia	148,40	79,30	21,50	80,20	149,80	77,80	51,30		
Diferencia %	2,2	1,1	0,3	1,1	2,4	1,3	1,0		

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

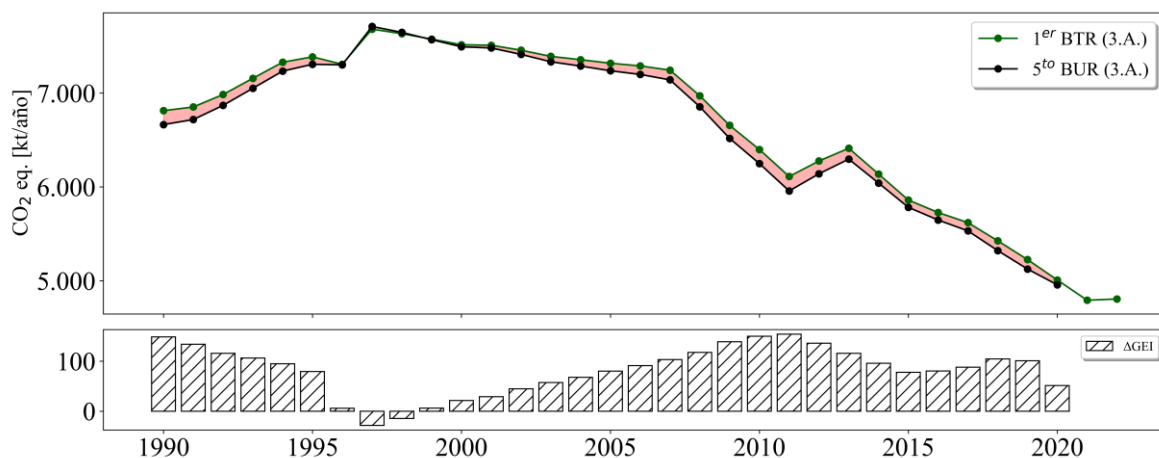


Figura 5-7. Fermentación entérica: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI 1er IBT (serie 1990-2022) e INGEI 5to IBA (serie 1990-2020)

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

En el caso de los *ovinos*, el aumento de las emisiones de CH₄ se debió principalmente al cambio en el valor por defecto del factor de emisión (FE) utilizado en este inventario, que pasó de 5 kg CH₄ cabeza⁻¹ año⁻¹ (NIR 2022) a 9 kg CH₄ cabeza⁻¹ año⁻¹ (NIR 2024). Adicionalmente, al igual que en el caso de los *bovinos*, se realizó un cambio del Potencial de Calentamiento Atmosférico (PCA) del AR4 al AR5, lo que también contribuye a justificar este incremento en las emisiones.

Para la categoría de *caprinos*, clasificados como "*otro ganado*", se observó una situación similar a la de los *ovinos* en cuanto al cambio del FE, lo que resultó en un aumento de las emisiones de esta categoría animal

En *porcinos* también hubo un aumento en las emisiones de CH₄ debido a la mejora y actualización de los datos de actividad mencionados anteriormente, y al igual que en las subcategorías anteriores, hay un efecto de la conversión de CH₄ a CO₂ equivalente por cambio de PCA de AR4 a AR5.

5.2.7 Mejoras planificadas para la categoría

En respuesta al análisis propio del Equipo Técnico de Agricultura y a las recomendaciones surgidas de los diferentes procesos de revisión por pares, análisis técnico y otras actividades de aseguramiento de la calidad (al cual ha sido sometido el NIR), se han identificado y priorizados las mejoras presentadas en la Tabla 5-11.

Tabla 5-11. Fermentación entérica: mejoras planificadas para la categoría.

Descripción	Origen	Estado
Avanzar en la colaboración formal, a través de convenios, con entidades para mejorar la fuente de datos paramétricos relevantes para la validación de los factores de emisión país específico en bovinos.	Interno	Planeado para el próximo ciclo de inventario.
INIA ha ejecutado proyectos de investigación (FONDECYT) para estimar el Ym en sistemas de pastoreo de vacas lecheras. Sin embargo, estos ensayos han sido de corta duración, por ende, no permiten su implementación en el inventario.	Interno	Planeado en conjunto con los investigadores a fin de realizar trabajos a largo plazo que permitan utilizar sus resultados.
Se buscará continuar con la colaboración de ASPROCER, mediante un convenio formal, para la recopilación de datos de actividad sobre población de porcinos.	Interno	Planeado para el próximo ciclo de inventario.
Avanzar en el mejoramiento de datos paramétricos relevantes para calcular factores de emisión país específico en ovinos.	Interno	Planeado para el próximo ciclo de inventario.

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI

La ejecución de las mejoras planificadas en la categoría de *fermentación entérica* requiere de la asignación de recursos (nacionales e internacionales), así como el apoyo de organizaciones internacionales comprometidas con el mejoramiento de inventarios en países en desarrollo. En consecuencia, el éxito de estas iniciativas no solo depende de las capacidades del equipo técnico del sector Agricultura, sino también del respaldo de otras entidades.

5.3 Gestión del estiércol (3.B)

5.3.1 Descripción y tendencia de los GEI de la categoría

Esta categoría incluye las emisiones de CH₄ y N₂O (directas e indirectas) generadas por el almacenamiento del estiércol de los sistemas de producción animal.

En el contexto nacional, las emisiones desde *gestión del estiércol* son agrupadas en sus componentes *bovinos* (incluye vacas lecheras, vacas carne, vaquillas, adultos carne, jóvenes carne y terneros); *ovinos* (ovejas); *porcinos* (cerdos desagregados en verracos, marranas y juveniles); *ciervos*; *caprinos* (cabras); *equinos* (caballos); *mulas y asnos*; *aves de corral* (incluye como población única a gallinas ponedoras y de carne, patos, pavos y otras aves de corral); y *otros* (jabalíes y camélidos (incluye como población única a llamas y alpacas)).

La categoría *gestión del estiércol* es la tercera categoría emisora de GEI del sector *Agricultura*, representando el 10,5 % de sus emisiones. En 2022, sus emisiones de GEI contabilizaron 967,2 kt CO₂ eq, incrementándose en un 43,0 % desde 1990 y en un 10,2 % desde 2020 (Tabla 5-12 y Figura 5-8). El principal causante de la tendencia y las variaciones interanuales corresponde a la variación de la población animal, principalmente por aumento de la población de porcinos y aves de corral. Adicionalmente, se modificaron los factores de emisión país específico de los *bovinos*, debido a una actualización en los datos paramétricos (peso vivo, digestibilidad y cenizas de la dieta)⁷⁸, y cambios en los sistemas de manejo de estiércol, lo que responden a los cambios y la evolución de las prácticas pecuarias del país. Similarmente, se presentan cambios en los factores de emisión para CH₄ en porcinos, en respuesta a una actualización en los sistemas de manejo de estiércol reportados por ASPROCEP. Respecto a las subcategorías, el 34,8 % es generado por *porcinos*, seguido de un 26,6 % de *otro ganado*, un 25,6 % de *emisiones indirectas de N₂O resultantes de la gestión del estiércol*, 12,2 % de *bovinos* y un 0,8 % de *ovinos*.

Tabla 5-12. Gestión del estiércol: total de GEI por subcategoría (kt CO₂ eq).

Subcategoría	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022
3.B.1. Bovinos	165,5	191,0	194,3	176,0	151,6	140,6	130,0	113,1	118,4
3.B.2. Ovinos	14,6	13,7	11,5	11,9	11,1	9,1	7,9	7,7	7,7
3.B.3. Porcinos	225,1	264,5	316,3	197,3	185,9	166,6	242,5	293,3	336,4
3.B.4. Otro ganado	139,4	168,5	194,4	215,5	217,5	235,2	253,6	257,2	257,2
3.B.5. Emisiones indirectas de N ₂ O	131,7	161,5	187,8	213,1	224,8	236,0	244,0	245,5	247,5
Total	676,3	799,3	904,3	813,8	790,8	787,4	877,9	916,7	967,2

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

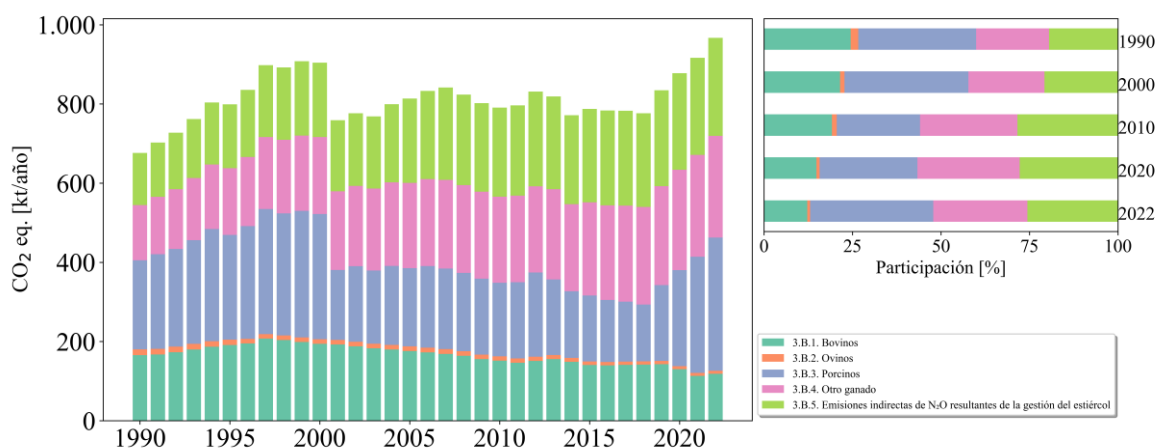


Figura 5-8. Gestión del estiércol: total de GEI por subcategoría (kt CO₂ eq), 1990-2022.

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

⁷⁸ Juicio experto: Sergio Iraira, Investigador INIA Remehue

Los sistemas de producción bovina en Chile están basados principalmente en el pastoreo directo de los animales, en especial para *otros vacunos*, y, por ende, las emisiones de N₂O de heces y orina son incluidas en la categoría *suelos agrícolas*. En el caso de *vacas lecheras*, coexisten diferentes prácticas productivas desde el confinamiento total al confinamiento parcial, en donde sistemas pastoriles generan también estiércol líquido, el cual es producido durante los tiempos de ordeña o estabulaciones parciales (por ejemplo: patios de alimentación), manejándose principalmente como purines (Salazar, 2012)⁷⁹. En 2022, las emisiones de *bovinos* contabilizaron 118,4 kt CO₂ eq, disminuyendo en un 28,5 % desde 1990, y en un 8,9 % desde 2020 (Tabla 5-13 y Figura 5-9). Esta disminución de emisiones se explica principalmente por la reducción de la masa ganadera. Dentro de esta subcategoría, las *vacas lecheras* fueron las que presentaron las mayores emisiones, con un 63,3 %, mientras que *otros bovinos* representaron el restante 36,7 %. Al analizar en detalle *otros bovinos* (Tabla 5-14 y Figura 5-10), se observa que los *terneros* son la subcategoría animal de mayor aporte (47,6 %), lo que es consistente con el estiércol generado durante su crianza.

Tabla 5-13. Bovinos: total de GEI por subcategoría animal (kt CO₂ eq).

Subcategoría animal	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022
3.B.1.a. Vacas lecheras	114,1	132,8	132,8	115,7	100,2	93,4	88,6	74,1	74,9
3.B.1.b. Otros vacunos	51,4	58,2	61,5	60,3	51,3	47,2	41,4	39,0	43,4
Total	165,5	191,0	194,3	176,0	151,6	140,6	130,0	113,1	118,4

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

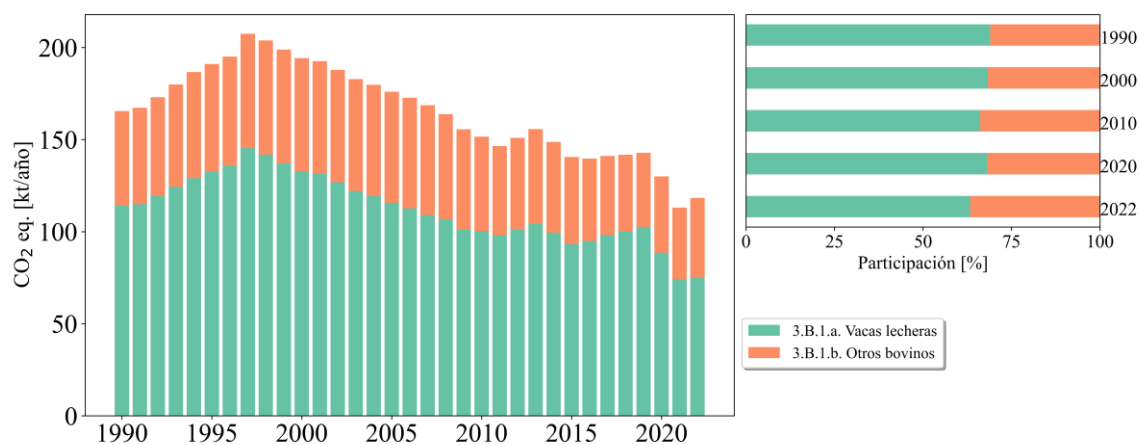


Figura 5-9. Bovinos: total de GEI por subcategoría animal (kt CO₂ eq), 1990-2022.

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

⁷⁹ 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.

Tabla 5-14. Otros vacunos: total de GEI por subcategoría animal (kt CO₂ eq).

Subcategoría animal	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022
3.B.1.b.i. Vacas carne	12,0	13,1	13,9	13,5	11,2	10,0	8,5	10,7	8,4
3.B.1.b.ii. Vaquillas	7,9	9,5	9,7	9,4	8,4	8,4	5,4	5,3	6,0
3.B.1.b.iii. Adultos carne	4,9	4,7	5,5	4,7	3,0	2,6	2,1	1,8	2,0
3.B.1.b.iv. Jóvenes carne	8,3	9,2	9,0	8,8	7,2	7,3	6,5	4,8	6,3
3.B.1.b.v. Terneros	18,3	21,7	23,4	24,0	21,6	18,8	18,9	16,5	20,7
Total	51,4	58,2	61,5	60,3	51,3	47,2	41,4	39,0	43,4

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

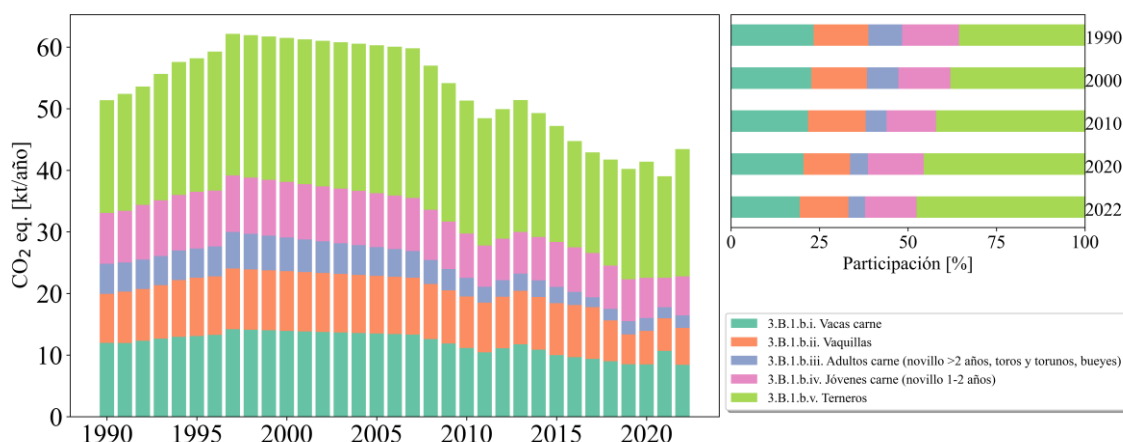


Figura 5-10. Otros vacunos: total de GEI por subcategoría animal (kt CO₂ eq), 1990-2022.

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

En cuanto a *ovinos*, estos son manejados principalmente bajo condiciones de pastoreo a campo abierto; esto significa que las emisiones de N₂O desde su orina y heces son depositadas directamente en la pradera, siendo contabilizadas en *suelos agrícolas*. En 2022, las emisiones de GEI de esta subcategoría contabilizaron 7,7 kt CO₂ eq, disminuyendo en un 47,2 % desde 1990, y en un 1,9 % desde 2020. El principal causante de la tendencia y las variaciones interanuales es la disminución en la población de ganado ovino.

En el caso de *porcinos*, los sistemas de producción en Chile se caracterizan por manejar una gran cantidad de animales en una zona confinada, siendo habitual que su estiércol sea almacenado en grandes pilas, eliminado en lagunas o en otros tipos de SGE. En 2022 las emisiones de GEI de esta subcategoría contabilizaron 336,4 kt CO₂ eq, incrementándose en un 49,4 % desde 1990, y en un 38,7 % desde 2020 (Tabla 5-15 y Figura 5-11). La principal causante de la tendencia y las variaciones interanuales es el aumento sostenible de la población porcina en el país. Respecto a los componentes, *juveniles* contabiliza la mayoría de las emisiones (83,6 %), seguido por *marranas* (16,1 %) y *verracos* (0,3 %).

Tabla 5-15. Porcinos: total de GEI por subcategoría animal (kt CO₂ eq).

Subcategoría animal	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022
3.B.3.a. Marranas	40,5	47,2	55,8	33,0	30,6	27,2	38,0	46,9	54,2
3.B.3.b. Verracos	1,3	1,5	1,7	0,9	0,8	0,7	0,8	1,0	1,1
3.B.3.c. Juveniles	183,4	215,8	258,7	163,3	154,4	138,7	203,8	245,4	281,1
Total	225,1	264,5	316,3	197,3	185,9	166,6	242,5	293,3	336,4

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

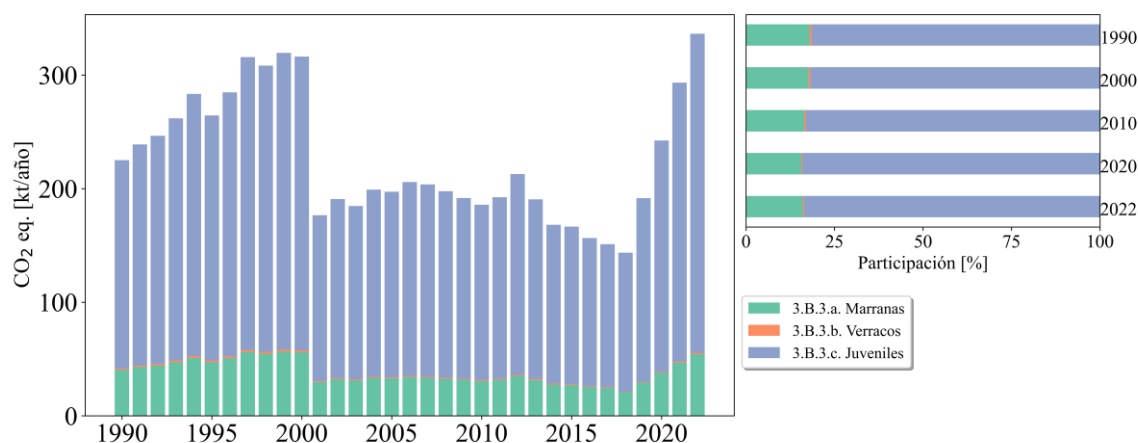


Figura 5-11. Porcinos: total de GEI por subcategoría animal (kt CO₂ eq), 1990-2022.

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

En el caso de *otro ganado*, las emisiones de GEI contabilizaron 257,2 kt CO₂ eq en 2022, incrementándose en un 84,5 % desde 1990, y en un 1,4 % desde 2020 (Tabla 5-16 y Figura 5-12). 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 de la población de *aves de corral*, las cuales aumentaron en la serie temporal. Dentro de *otro ganado*, *aves de corral* contabiliza la mayoría de las emisiones (98,1 %), le siguen *equinos* (1,3 %), *caprinos* (0,4 %), y *otros* (conformado por *camélidos* y *jabalíes*) representando solo 0,2 %. La importancia de *aves de corral* se debe a que gran parte de la población se encuentra bajo sistemas de almacenamiento sólido, mientras que las otras categorías animales se encuentran en pastoreo directo, por lo tanto, las emisiones son contabilizadas en *suelos agrícolas*.

Tabla 5-16. Otro ganado: total de GEI por subcategoría animal (kt CO₂ eq).

Subcategoría animal	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022
3.B.4.a. Búfalos	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
3.B.4.b. Camellos	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
3.B.4.c. Ciervos	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0
3.B.4.d. Caprinos	2,8	2,5	2,4	2,4	2,6	1,6	1,2	1,1	1,1
3.B.4.e. Equinos	6,9	6,7	7,7	6,7	5,7	4,6	3,6	3,4	3,4
3.B.4.f. Mulas y asnos	0,4	0,3	0,3	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1
3.B.4.g. Aves de corral	128,7	158,4	183,0	204,2	207,2	228,0	248,3	252,4	252,4
3.B.4.h. Otros	0,6	0,6	1,1	1,9	1,7	0,7	0,4	0,3	0,3
Total	139,4	168,5	194,4	215,5	217,5	235,2	253,6	257,2	257,2

Nota: NO: no ocurre.

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

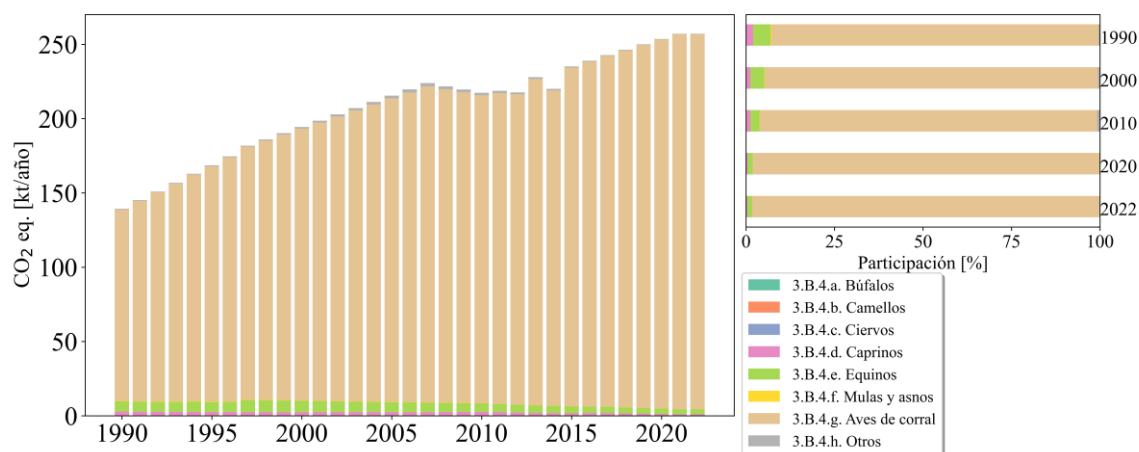


Figura 5-12. Otro ganado: total de GEI por subcategoría animal (kt CO₂ eq), 1990-2022.

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

En cuanto a las *emisiones indirectas de N₂O resultantes de la gestión del estiércol*, generadas en los sistemas de gestión del estiércol, contabilizaron 247,5 kt CO₂ eq en 2022, incrementándose en un 87,9 % desde 1990 y en un 1,5 % desde 2020. El principal causante de la tendencia y las variaciones interanuales es la variación de población animal.

5.3.2 Aspectos metodológicos de la categoría

Para la estimación del CH₄ se aplicó la Ecuación 10.22, Capítulo 10, Volumen 4 del *Refinamiento de 2019*. Para *bovinos y porcinos* se aplicó el método de Nivel 2, con factores de emisión país específico y con el cálculo de la excreción de sólidos volátiles. Mientras que para las otras categorías animales se aplicó el método de Nivel 1.

Para la estimación de las emisiones directas de N₂O se utilizó la Ecuación 10.25, Capítulo 10, Volumen 4 del *Refinamiento de 2019*. Se aplicó el método de Nivel 2 para *bovinos y porcinos* mediante el cálculo de la tasa de excreción de nitrógeno (Ecuación 5-3). Este parámetro es también empleado en la categoría *suelos agrícolas*. Para las otras categorías animales se aplicó el método de Nivel 1. Para ambos métodos de nivel se utilizaron los factores de emisión por defecto incluidos en la Tabla 10.21, Capítulo 10, Volumen 4, *Refinamiento de 2019*.

En el caso de las emisiones indirectas de N₂O, se aplicó la Ecuación 10.28, Capítulo 10, Volumen 4 del *Refinamiento de 2019*. Para todas las categorías animales se utilizó el método de Nivel 1 y factores de emisión por defecto de la Tabla 11.3, Capítulo 11, Volumen 4, *Refinamiento de 2019*.

Ecuación 5-3. Gestión del estiércol: tasa de excreción de nitrógeno anual.

$$N_{ex(T)} = (N_{consumo(T)} - N_{retención(T)}) * 365$$

Fuente: Ecuación 10.31A, Capítulo 10, Volumen 4, *Refinamiento de 2019*.

Donde:

- $N_{ex(T)}$ = Tasas de excreción de nitrógeno anual ($\text{kg N animal}^{-1} \text{ año}^{-1}$),
- $N_{consumo(T)}$ = consumo de nitrógeno diario por cabeza animal de especie/categoría T ($\text{kg N animal}^{-1} \text{ día}^{-1}$),
- $N_{retención(T)}$ = cantidad de consumo de nitrógeno diario por cabeza animal de especie/categoría T, que es retenido por animal de especie/categoría T ($\text{kg N animal}^{-1} \text{ día}^{-1}$),
- 365 = número de días en un año.

Para el cálculo de $N_{consumo}$ (Ecuación 5-4 y Ecuación 5-5) y $N_{retención}$ (Ecuación 5-6) se requirió de otros parámetros tales como, proteína cruda de la dieta (%), el cual fue determinado por dictamen de experto⁸⁰, y el cálculo del consumo de materia seca (utilizado también en *fermentación entérica*), donde se requiere el parámetro peso en pie (kg animal^{-1}), determinado por dictamen experto para bovinos⁸¹ y para porcinos (ASPROCER). Adicionalmente se requirió el contenido de proteína láctea (%) obtenido del Consorcio lechero (2022)⁸², este valor fue de uso exclusivo para *vacas lecheras*.

Ecuación 5-4. Gestión del estiércol: tasa de consumo de N para bovinos.

$$N_{consumo(T)} = \frac{GE}{18,45} * \left(\frac{PC\%}{6,25} \right)$$

Fuente: Ecuación 10.32, Capítulo 10, Volumen 4, *Refinamiento de 2019*.

Donde:

- $N_{consumo(T,i)}$ = consumo de nitrógeno diario por animal de categoría T ($\text{kg N animal}^{-1} \text{ día}^{-1}$), por etapa de crecimiento i,
- GE = consumo de energía bruta del animal ($\text{MJ animal}^{-1} \text{ día}^{-1}$),
- 18,45 = factor de conversión para GE de la dieta por kg de materia seca (MJ kg^{-1})
- PC% = porcentaje de proteína cruda en la materia seca
- 6,25 = conversión de kg de proteína de la dieta a kg de N en la dieta ($\text{kg de proteína del alimento (kg N)}^{-1}$)

Ecuación 5-5. Gestión del estiércol: tasa de consumo de N para porcinos.

$$N_{consumo(T)} = DMI_i * \left(\frac{PC\%_i}{6,25} \right)$$

Fuente: Ecuación 10.32A, Capítulo 10, Volumen 4, *Refinamiento de 2019*.

⁸⁰ Sergio Iraira, investigador de producción bovina, INIA Remehue.

⁸¹ Sergio Iraira y Francisco Lanuza, investigadores INIA Remehue, y Héctor Manterola, Universidad de Chile.

⁸² Consorcio lechero, 2022. Indicadores del sector lácteo: temporada 2021. Boletín Consorcio lechero, Chile.

Donde:

- $N_{\text{consumo}(T,i)}$ = consumo de nitrógeno diario por animal de categoría T ($\text{kg N animal}^{-1} \text{ día}^{-1}$), por etapa de crecimiento i ,
- DMI_i = consumo de materia seca por día durante una etapa de crecimiento específica ($\text{kg DMI animal día}^{-1}$),
- $\text{PC}\%_i$ = porcentaje de proteína cruda en la materia seca para la etapa de crecimiento " i ",
- 6,25 = conversión de kg de proteína de la dieta a kg de N en la dieta ($\text{kg de proteína del alimento (kg N)}^{-1}$).

Ecuación 5-6. Gestión del estiércol: tasa de retención de nitrógeno para bovinos.

$$N_{\text{retención}(T)} = \left(\frac{\text{Leche} * \left(\frac{\text{PR}\% \text{ Leche}}{100} \right)}{6,38} \right) + \left(\frac{\text{WG} * \frac{268 - \left(\frac{7,03 * \text{NE}_g}{\text{WG}} \right)}{1000}}{6,25} \right)$$

Fuente: Ecuación 10.33, Capítulo 10, Volumen 4, *Refinamiento de 2019*.

Donde:

- $N_{\text{retención}(T)}$ = nitrógeno retenido diario por animal de categoría T ($\text{kg N animal}^{-1} \text{ día}^{-1}$),
- Leche = producción de leche ($\text{kg animal}^{-1} \text{ día}^{-1}$, aplicable sólo para vacas lecheras),
- PR% Leche = porcentaje de proteína en la leche (%),
- 6,38 = conversión de proteína de la leche a nitrógeno de la leche ($\text{kg de proteína (kg N)}^{-1}$),
- WG = ganancia de peso del animal (kg día^{-1}),
- 268 y 7,03 = constantes de la Ecuación 3-8 en NRC (1996),
- 1000 = conversión de g proteína a kg proteína,
- NE_g = energía neta para crecimiento (MJ día^{-1} , parámetro utilizado en la categoría Fermentación entérica),
- 6,25 = conversión de kg de proteína en la dieta a kg de nitrógeno en la dieta ($\text{kg proteína (kg N)}^{-1}$).

Para *porcinos*, la retención de N se obtuvo de la Tabla 10.20, Capítulo 10, Volumen 4 del *Refinamiento de 2019*, con un valor de 0,30 $\text{kg N retenido animal}^{-1} \text{ día}^{-1}$.

En el caso de *bovinos*, los cálculos de excreción de N fueron realizados para cada región, obteniendo un promedio ponderado entre sistemas a pastoreo y en confinamiento. Para *vacas lecheras* hubo diferencias entre regiones (Tabla 5-17). debido a la diferencia en los parámetros determinados por dictamen experto entre regiones. Para los *otros vacunos*, no hubo diferencia en los parámetros entre las distintas regiones (Tabla 5-18).

Tabla 5-17. Tasa de excreción de N ponderado para vacas lecheras (sistemas pastoreo y confinamiento) a nivel regional (kg N animal⁻¹ año⁻¹).

Región	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022
Arica y Parinacota	68,05	67,98	73,72	76,37	78,51	80,41	84,76	85,58	86,40
Tarapacá	68,05	67,98	73,72	76,37	78,51	80,41	84,76	85,58	86,40
Antofagasta	68,05	67,98	73,72	76,37	78,51	80,41	84,94	85,58	86,40
Atacama	68,05	67,98	73,72	76,37	78,51	80,41	87,76	88,29	88,81
Coquimbo	63,87	63,86	72,62	76,90	80,84	84,55	87,76	88,29	88,81
Valparaíso	63,87	63,86	72,62	76,90	80,84	84,55	87,76	88,29	88,81
Metropolitana	63,73	63,70	72,47	76,71	80,67	84,86	88,06	88,89	89,69
O'Higgins	64,92	69,13	73,83	78,23	82,37	86,67	89,75	90,59	91,39
Maule	64,92	69,13	73,83	78,23	82,37	86,67	89,75	90,59	91,39
Ñuble	70,34	72,34	74,72	76,69	78,14	79,79	84,56	85,82	87,05
Biobío	70,34	72,34	74,72	76,69	78,14	79,79	84,56	85,82	87,05
La Araucanía	71,51	72,63	74,20	75,10	75,36	76,12	81,73	81,52	83,74
Los Ríos	71,37	72,55	74,18	75,14	75,47	76,30	81,87	81,64	83,85
Los Lagos	73,46	73,79	74,52	74,55	73,84	73,65	79,87	79,80	82,18
Aysén	73,46	73,79	74,52	74,55	73,84	73,65	79,87	79,80	82,18
Magallanes	73,46	73,79	74,52	74,55	73,84	73,65	79,87	79,80	82,18

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI en base al *Refinamiento de 2019*.

Tabla 5-18. Tasa de excreción de N para otros vacunos por subcategoría animal a nivel nacional (kg N animal⁻¹ año⁻¹).

Subcategoría animal	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022
Vacas carne	59,65	58,00	56,40	54,83	53,20	51,54	52,65	52,99	53,34
Vaquillas	55,87	57,72	59,60	61,51	63,47	65,45	66,06	66,08	66,08
Adultos carne	81,72	83,34	84,98	86,64	88,31	90,00	95,10	96,30	97,51
Jóvenes carne	46,23	48,02	49,87	51,78	53,75	55,78	61,09	63,50	65,03
Terneros	22,23	22,49	22,76	23,05	23,35	23,66	28,35	29,61	30,90

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI en base al *Refinamiento de 2019*.

En el caso de *porcinos*, la tasa de excreción de N se calculó por subcategoría animal, siendo para *verracos* 16,56 kg N animal⁻¹ año⁻¹; para *marranas* 19,87 kg N animal⁻¹ año⁻¹; y para *juveniles* 12,95 kg N animal⁻¹ año⁻¹, para toda la serie temporal.

Para el resto de las especies animales, la tasa de excreción por defecto fue calculado en base a la Ecuación 10.30, Capítulo 10, Volumen 4 del *Refinamiento de 2019*. En este caso, la masa animal típica (TAM) (Tabla 5-19) fue determinada según dictamen de experto⁸³.

Tabla 5-19. Masa animal típica aplicada (kg animal⁻¹).

Categoría animal	Masa corporal animal (kg animal ⁻¹)
Ovinos	60,0
Caprinos	50,0
Llamas y Alpacas	95,0
Equinos	450,0
Mulas y Asnos	237,5
Aves de corral	2,5
Jabalíes	100,0

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

⁸³ Sergio Iraira, Francisco Lanuza y Marcelo Quezada, investigadores INIA Remehue.

5.3.2.1 Datos de actividad de la categoría

Población animal

Los datos de la población animal de cada categoría y especie fueron los mismos datos utilizados en la categoría *fermentación entérica* (ver Sección 5.2.2.1).

Sistemas de gestión del estiércol

En general, la fracción de la excreción total anual de nitrógeno de cada categoría animal que se gestiona en el sistema de gestión del estiércol fue determinada mediante el dictamen de expertos⁸⁴.

Para *bovinos*, las fracciones asignadas reflejan la variabilidad de las prácticas pecuarias a nivel subnacional, además, es importante señalar que solo *vacas lecheras* y *terneros* se encuentran bajo sistemas de gestión del estiércol, mientras que las otras subcategorías de *bovinos* (*vacas carne*, *vaquillas*, *adultos carne* y *jóvenes carne*) depositan directamente sobre los suelos su orina y heces. En el caso de *porcinos*, las fracciones asignadas reflejan las prácticas pecuarias a través de la serie de tiempo. Para *aves de corral*, las fracciones de excreción son asignadas en su totalidad a sistemas de almacenaje de sólidos, mientras que para las otras categorías animales se asignó en su totalidad a sistemas de pastoreo directo. La Tabla 5-20 muestra la distribución ponderada de la población animal en los diferentes sistemas de gestión del estiércol para 2022.

Tabla 5-20. Distribución ponderada de la población animal en los diferentes sistemas de gestión del estiércol para 2022

Animal	Pradera	Distribución diaria	Almacenaje de sólidos	Líquido / Fango	Laguna anaeróbica no cubierta	Digestor anaeróbico	Cama profunda	Tratamiento aeróbico
Ganado bovino								
Vacas lecheras	0,78	NO	0,04	0,18	NO	NO	NO	NO
Otros bovinos								
Vacas carne	1,00	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Vaquillas	1,00	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Adultos carne	1,00	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Jóvenes carne	1,00	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Terneros	0,90	NO	0,10	NO	NO	NO	NO	NO
Ovinos	1,00	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Porcinos								
Marranas	-	0,01	NO	NO	0,16	0,19	0,02	0,61
Verracos	-	0,01	NO	NO	0,16	0,19	0,02	0,61
Juveniles	-	0,01	NO	NO	0,16	0,19	0,02	0,61
Otras especies								
Búfalos								
Camellos								
Ciervos	1,00	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Caprinos	1,00	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Equinos	1,00	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Mulas y asnos	1,00	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Aves de corral	-	NO	1,00	NO	NO	NO	NO	NO

⁸⁴ Marta Alfaro y Francisco Salazar (investigadores INIA Remehue) para todas las categorías animales, salvo para porcinos el cual fue determinado por expertos de ASPROCER.

Animal	Pradera	Distribución diaria	Almacenaje de sólidos	Líquido / Fango	Laguna anaeróbica no cubierta	Digestor anaeróbico	Cama profunda	Tratamiento aeróbico
Otros								
Animales de peletería								
Avestruces y emús	1,00	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Conejos								
Jabalíes	1,00	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Llamas, alpacas y huarizos	1,00	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Renos	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO

NO: No ocurre

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI en base al *Refinamiento de 2019*.

En el Anexo 11.4.4 se incluye más información sobre la distribución de la población animal en los distintos sistemas de gestión de estiércol.

5.3.2.2 Factores de emisión aplicados en la categoría

Para las emisiones de CH₄ de los *bovinos* y *porcinos* se desarrollaron factores de emisión país específico aplicando la Ecuación 5-7. Para las otras categorías animales, se utilizaron factores de emisión por defecto para sistemas de alta productividad de las Tablas 10.14 y 10.15, Capítulo 10, Volumen 4, *Refinamiento de 2019*.

Ecuación 5-7. Gestión de estiércol: factores de emisión de CH₄ para *bovinos* y *porcinos*.

$$FE_{(T)} = (VS_T * 365) * \left[Bo_{(T)} * 0,67 * \sum \frac{MCF_{S,k}}{100} * AWMS_{(T,S,k)} \right]$$

Fuente: Ecuación 10.23, Capítulo 10, Volumen 4, *Refinamiento de 2019*.

Donde:

- $FE_{(T)}$ = Factor de emisión de CH₄ anual para categoría de ganado T (kg CH₄ animal⁻¹ año⁻¹),
- $VS_{(T)}$ = sólido volátil diario excretado para categoría de ganado T (kg materia seca animal⁻¹ día⁻¹) (Ecuación 10.24, IPCC 2019),
- 365 = base para cálculo de producción de VS anual (días año⁻¹),
- $Bo_{(T)}$ = capacidad de producción de CH₄ máxima para el estiércol producido por categoría de ganado T (m³ CH₄ (kg de VS excretado)⁻¹) (Tabla 10.16, IPCC 2019),
- 0,67 = factor de conversión de m³ CH₄ a kg CH₄,
- $MCF_{(S,k)}$ = factores de conversión de CH₄ para cada de estiércol S por región climática k (%) (Tabla 10.17, IPCC 2019),
- $AWMS_{(T,S,k)}$ = fracción de la categoría de ganado T de estiércol manejado usando sistema de gestión de estiércol animal S en la región climática k, sin dimensiones.

En el caso de los factores de emisión país específico, estos se estiman por tipo de ganado, sistema de gestión del ganado y ubicación geográfica. En *bovinos*, se utilizó parámetros que fueron determinados por el dictamen de expertos⁸⁵, tales como peso en pie (kg) y digestibilidad de los alimentos (%). Para *porcinos* también se utilizó parámetros que fueron definidos por el dictamen de profesionales del rubro (ASPROCER), incluyendo además la energía bruta (MJ día⁻¹).

⁸⁵ Marta Alfaro, Francisco Salazar, Sergio Iraira y Francisco Lanuza, investigadores INIA Remehue, y Héctor Manterola, Universidad de Chile.

Para el caso del factor de conversión de metano (MCF) este valor se obtuvo de la Tabla 10.17, Capítulo 10, Volumen 4, *Refinamiento de 2019*, utilizándose el valor para zonas templadas, condición climática predominante en Chile según la Clasificación Climática de Köppen.

A continuación, se presentan los factores de emisión país específico por sistema de gestión del estiércol para *vacas lecheras* (Tabla 5-21), *otros vacunos* (Tabla 5-22) y *porcinos* (Tabla 5-23). Las *vacas lecheras* presentan diferentes factores de emisión para las regiones del país debido a la distribución diferente de los SGE en cada una de ellas, a diferencia de *otros vacunos* que presentan la misma distribución de los SGE para todas las regiones, sólo existiendo diferencia anual. En cuanto a los porcinos, la distribución en los diferentes SGE fue para el país, no contando con información por cada región, por tanto, no existiendo diferencia entre regiones.

Tabla 5-21. Gestión del estiércol: factores de emisión país específico de emisiones de CH₄ de vacas lecheras (kg CH₄ cabeza⁻¹ año⁻¹).

Año	AP - AT	CO - RM	OH-MA	ÑU -BIO	AR	LR	LL - MG
1990	3,72	11,83	12,42	8,37	6,48	5,95	3,14
1991	3,74	11,89	12,48	8,41	6,51	5,97	3,15
1992	3,73	11,87	12,47	8,40	6,50	5,96	3,14
1993	3,75	11,92	12,52	8,43	6,52	5,98	3,15
1994	3,76	11,98	12,58	8,47	6,55	6,01	3,16
1995	3,79	12,08	12,69	8,55	6,60	6,06	3,19
1996	3,78	12,05	12,66	8,52	6,59	6,04	3,18
1997	3,75	11,94	12,54	8,44	6,52	5,99	3,15
1998	3,77	12,02	12,62	8,50	6,56	6,02	3,16
1999	3,75	11,97	12,58	8,46	6,54	6,00	3,15
2000	3,75	11,97	12,58	8,46	6,53	6,00	3,15
2001	3,85	12,28	12,90	8,68	6,70	6,15	3,23
2002	3,85	12,28	12,91	8,68	6,70	6,15	3,22
2003	3,84	12,27	12,89	8,67	6,69	6,14	3,22
2004	3,91	12,48	13,11	8,81	6,80	6,24	3,27
2005	3,95	12,62	13,26	8,92	6,88	6,31	3,30
2006	4,02	12,84	13,49	9,07	7,00	6,42	3,36
2007	4,06	12,99	13,65	9,17	7,08	6,49	3,39
2008	4,13	13,22	13,89	9,33	7,20	6,61	3,45
2009	4,06	13,00	13,66	9,18	7,08	6,50	3,39
2010	4,18	13,39	14,07	9,45	7,29	6,69	3,49
2011	4,26	13,65	14,34	9,63	7,43	6,82	3,56
2012	4,16	13,32	14,00	9,40	7,25	6,65	3,47
2013	4,07	13,06	13,72	9,21	7,10	6,52	3,40
2014	4,17	13,36	14,04	9,43	7,27	6,67	3,48
2015	4,22	13,52	14,20	9,53	7,35	6,74	3,51
2016	4,10	13,14	13,81	9,27	7,15	6,56	3,41
2017	4,06	13,02	13,69	9,18	7,08	6,49	3,38
2018	3,91	12,57	13,21	8,86	6,83	6,26	3,26
2019	3,82	12,27	12,90	8,65	6,67	6,11	3,18
2020	3,80	12,19	12,82	8,59	6,62	6,07	3,15
2021	3,78	12,16	12,78	8,57	6,60	6,05	3,14
2022	3,77	12,12	12,74	8,54	6,57	6,03	3,13

Nota: promedio ponderado para cada sistema de gestión de estiércol. AP-AT: Regiones Arica y Parinacota a Atacama; CO-RM: Regiones Coquimbo a Metropolitana; OH-MA: Regiones O'Higgins al Maule; ÑU-BIO: Regiones Ñuble a Biobío; AR: Región de la Araucanía; LR: Región de Los Ríos; LL-MG: Regiones Los Lagos a Magallanes.

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI en base al Refinamiento de 2019.

Tabla 5-22. Gestión del estiércol: factores de emisión país específico de emisiones de CH₄ de otros vacunos (kg CH₄ cabeza⁻¹ año⁻¹).

Año	Vacas carne	Vaquillas	Adultos carne	Jóvenes carne	Terneros
1990	0,57	0,54	0,79	0,46	0,39
1991	0,57	0,54	0,79	0,46	0,40
1992	0,56	0,55	0,79	0,46	0,40
1993	0,56	0,55	0,80	0,47	0,40
1994	0,55	0,56	0,80	0,47	0,40
1995	0,55	0,56	0,80	0,48	0,41
1996	0,54	0,56	0,81	0,48	0,41
1997	0,54	0,57	0,81	0,48	0,41
1998	0,53	0,57	0,81	0,49	0,41
1999	0,53	0,58	0,82	0,49	0,42
2000	0,52	0,58	0,82	0,50	0,42
2001	0,52	0,58	0,82	0,50	0,42
2002	0,51	0,59	0,82	0,50	0,42
2003	0,51	0,59	0,83	0,51	0,42
2004	0,51	0,60	0,83	0,51	0,43
2005	0,50	0,60	0,83	0,52	0,43
2006	0,50	0,60	0,84	0,52	0,43
2007	0,49	0,61	0,84	0,53	0,43
2008	0,49	0,61	0,84	0,53	0,44
2009	0,48	0,62	0,85	0,53	0,44
2010	0,48	0,62	0,85	0,54	0,44
2011	0,48	0,62	0,85	0,54	0,44
2012	0,47	0,63	0,86	0,55	0,45
2013	0,47	0,63	0,86	0,55	0,45
2014	0,46	0,64	0,86	0,55	0,45
2015	0,46	0,64	0,87	0,56	0,45
2016	0,45	0,65	0,87	0,56	0,46
2017	0,45	0,64	0,87	0,57	0,48
2018	0,45	0,63	0,87	0,58	0,50
2019	0,45	0,63	0,88	0,59	0,53
2020	0,45	0,62	0,88	0,59	0,56
2021	0,45	0,62	0,88	0,60	0,58
2022	0,45	0,61	0,88	0,61	0,61

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI en base al *Refinamiento de 2019*.

Tabla 5-23. Gestión del estiércol: factores de emisión país específico de emisiones de CH₄ de porcinos (kg CH₄ cabeza⁻¹ año⁻¹).

Año	3.B.3.a. Marranas	3.B.3.b. Verracos	3.B.3.c. Juveniles
1990	11,80	14,16	5,85
1991	11,67	14,01	5,79
1992	11,39	13,67	5,65
1993	11,54	13,84	5,72
1994	11,53	13,83	5,72
1995	9,89	11,86	4,90
1996	9,54	11,45	4,73
1997	9,06	10,87	4,49
1998	8,63	10,35	4,28
1999	8,01	9,61	3,97
2000	8,01	9,61	3,97
2001	2,54	3,05	1,26
2002	2,54	3,05	1,26
2003	2,54	3,05	1,26
2004	2,49	2,99	1,24
2005	2,20	2,65	1,09
2006	1,94	2,32	0,96
2007	1,69	2,03	0,84
2008	1,69	2,03	0,84
2009	1,69	2,03	0,84
2010	1,62	1,95	0,80
2011	1,62	1,95	0,80
2012	1,62	1,95	0,80
2013	1,62	1,95	0,80
2014	1,46	1,76	0,73
2015	1,31	1,57	0,65
2016	1,15	1,38	0,57
2017	1,15	1,38	0,57
2018	1,15	1,38	0,57
2019	2,47	2,96	1,22
2020	3,78	4,54	1,88
2021	5,10	6,12	2,53
2022	6,42	7,70	3,18

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI en base al *Refinamiento de 2019*.

Para las emisiones de N₂O directas, se utilizaron factores de emisión por defecto (EF₃) para los distintos sistemas de manejo de estiércol de la Tabla 10.21, Capítulo 10, Volumen 4, *Refinamiento de 2019*.

En cuanto a las emisiones de N₂O indirectas, se utilizaron factores de emisión por defecto, tanto para volatilización como para la lixiviación, de la Tabla 11.3, Capítulo 11, Volumen 4 del *Refinamiento de 2019*. Es importante señalar que en el caso de lixiviación solo se considera que ocurre desde la Región del Ñuble hasta la Región de Magallanes, ya que son zonas con características de precipitaciones que pueden generar lixiviación, condiciones climáticas que no ocurren en el norte del país y, por ende, no se reportan emisiones asociadas a la lixiviación en dichas zonas.

5.3.3 Descripción de cualquier flexibilidad aplicada en la categoría

En la presente categoría no se aplicaron disposiciones de flexibilidad de las MPD.

5.3.4 Incertidumbre y coherencia de la serie temporal de la categoría

La incertidumbre para los datos de actividad corresponde a valores determinados por el equipo técnico de agricultura con base en las fuentes de los datos utilizados (Censos y Catastros Estadísticos) y su gestión (por ejemplo, la técnica de empalme utilizada) (Tabla 5-9, sección 5.2.4. de la categoría *fermentación entérica*).

En el caso de los factores de emisión para CH₄, la incertidumbre para los *bovinos* y *porcinos* corresponde a valores determinados por el equipo técnico de agricultura, ya que estos corresponden a factores de emisión específicos para el país. Para el resto de las categorías animales, el valor de incertidumbre corresponde a un valor por defecto procedente de la Tabla 10.14 y 10.15, Capítulo 10, Volumen 4 del *Refinamiento de 2019*.

Para las emisiones directas de N₂O, el valor de incertidumbre corresponde a un valor por defecto procedente del Cuadro 10.21, Capítulo 10, Volumen 4 del *Refinamiento de 2019*. En cuanto a las emisiones indirectas de N₂O, el valor de incertidumbre corresponde a un valor por defecto procedente del Cuadro 10.22, Capítulo 10, Volumen 4 del *Refinamiento de 2019*.

En cuanto a la coherencia de la serie temporal, se construyó la serie de datos de actividad con la información de los *Censos Agropecuarios y Forestales* de 1977, 1997, 2007 y 2021, y de encuestas anuales y bianuales generadas por ODEPA. Para los años en los cuales no se contó con información estadística o paramétrica, se realizaron interpolaciones supervisadas por expertos sectoriales para reflejar las tendencias reales acontecidas en el país. Para completar el último año de la serie temporal, en el caso de brechas de la información, se replicó la información del último año disponible, en su mayoría provenientes del Censo 2021. Lo anteriormente descrito aplica para todas las categorías animal, con excepción de porcinos entre las regiones de Valparaíso y la Araucanía, las cuales contaron con información entregada por ASPROCER.

5.3.5 ACCV de la categoría

En la presente categoría se debe considerar mismo procedimiento de aseguramiento y control de calidad que para la categoría *fermentación entérica* (sección 5.2.5).

Además, para mantener la consistencia de la serie temporal 1990-2022, cuando hubo cambios de datos paramétricos para la serie temporal completa. En el caso del SGE en vacas lecheras, se reemplazó el concepto del SGE de laguna anaeróbica descubierta por manejo de purines, lo que provocó variaciones en el valor del FE y FCM, que fueron corregidos para toda la serie temporal. Este cambio responde a una discusión técnica del equipo técnico de Agricultura, donde se decidió que el SGE que mejor representa al ganado bovino lechero corresponde a manejo de purines, para toda su serie temporal (Actualización entregada por el Investigador Francisco Salazar, INIA Remehue).

Otro cambio realizado fue la actualización de dictamen experto en *Porcinos* (a cargo de ASPROCER) para los datos de actividad peso en pie (kg) e ingesta de alimento (kg MS día⁻¹), por tanto, se consideró cambio para toda la serie temporal. Del mismo modo, la empresa ASPROCER realizó una actualización de los sistemas de manejo de estiércol para la serie 2019-2022., cambios que se vieron reflejados en el actual inventario. Los datos de actividad son los mismos de categoría *fermentación entérica* (Sección 5.2.2.1).

5.3.6 Nuevos cálculos

Justificaciones de los nuevos cálculos y mejoras

Se realizaron nuevos cálculos en la categoría debido, principalmente, a la aplicación por primera vez del *Refinamiento de 2019*. Este proceso incluyó modificaciones en los métodos de estimación, así como en los factores de emisión por defecto utilizados. Estas modificaciones también se vieron reflejados en cambios en el factor de emisión país específico para toda la categoría *bovinos*. Además, se actualizaron los datos de actividad, basándose en el juicio de expertos.

En cuanto a las mejoras, se implementaron los siguientes cambios:

- *Datos de actividad*. Considerar cambios descritos para la categoría fermentación entérica (sección 5.1.1).
- *Datos paramétricos*. Hubo otra corrección con respecto a error de concepto utilizado para SGE en bovinos, donde se reemplazó el concepto de laguna anaeróbica descubierta por sistema de manejo de purines, ya que describía mejor el sistema de manejo en bovinos, disminuyendo el valor de FE de esta subcategoría, asociado principalmente a la disminución del factor de conversión de CH₄ (MCF) desde 76 % para el sistema de laguna anaeróbica descubierta a 15 % para el sistema de manejo de purines.

Otra mejora importante es el cálculo de la excreción de N para bovinos y porcinos, el cual disminuyó los valores respecto a los sugeridos por defecto, utilizado en NIR 2022, valor que se obtenía de la Ecuación 10.30, Capítulo 10, Volumen 4 del Refinamiento de 2019, utilizando la Tabla 10.19, Capítulo 10, Volumen 4 del Refinamiento de 2019 para la tasa de excreción de N por defecto.

- *Factores de emisión*.

Respecto de los bovinos, en el presente inventario se actualizó la información con base en el *Refinamiento de 2019* para toda la serie temporal y a nivel subnacional. Esto generó cambios en algunos parámetros tales como, la capacidad máxima del estiércol para producir CH₄ (Bo, m³ CH₄ kg VS⁻¹), el factor de conversión de CH₄ (MCF, %) para zona climática templada. Además, hubo una corrección de los parámetros para calcular el FE para los distintos SGE, ya que en el inventario anterior se utilizaba un único valor de MCF para todos los SGE, lo que actualmente se corrigió usando un valor de MCF específico para cada tipo de SGE utilizado, generando una disminución en los valores de FE.

Respecto de los ovinos, se utilizó un FE por defecto, el cual fue modificado por el *Refinamiento de 2019*. En el inventario actual se utilizó un valor de FE de 0,6, diferenciándose del inventario anterior (FE 0,15 kg) para sistemas de pastoreo, que es el sistema de manejo en ovinos. Para otro ganado, hubo un incremento del FE por defecto, principalmente en aves de corral, cambiando de un FE de 0,02 a 0,60 g CH₄ kg VS⁻¹.

En porcinos hubo cambios por actualización de información paramétrica por parte de la empresa privada ASPROCER, cambiando algunos parámetros utilizados para el cálculo del FE, tales como, peso en pie (kg) e ingesta de alimento (kg MS día⁻¹). Además, hubo una corrección de los parámetros para calcular el FE para los distintos SGE, ya que en el inventario anterior se utilizaba un valor de MCF para todos los SGE, lo que actualmente se corrigió usando un valor de MCF distinto según el tipo de SGE utilizado, generando una disminución de los valores de FE. Otro punto importante es que, al igual que en bovinos, en este inventario se calcula la excreción de N, el cual se obtenía por defecto en inventario anterior. Al pasar de un valor por defecto a un cálculo usando datos paramétricos del país, se generó una reducción en el consumo de N y, en consecuencia, en la excreción de N al ambiente, lo cual se tradujo en una menor cantidad de N manejada en los distintos SGE para *Bovinos* y *Porcinos*.

Implicaciones para los niveles de emisión

En la Figura 5-13 se presentan las variaciones en las emisiones de GEI de esta categoría respecto del inventario anterior, las cuales, en general, fueron disminuidas. En general, se pudo observar una disminución en las emisiones entre 25-64% a lo largo de la serie temporal, con una reducción del 44% para el año 2020 entre el NIR2024 y NIR2022.

Para el caso de *bovinos*, hubo una disminución de las emisiones de CH₄, atribuida principalmente a los cambios mencionados en el ítem anterior. Un aspecto adicional importante es que el PCA para el N₂O reportado en el AR5 fue reducido en un 11% en comparación con el AR4, lo que contribuyó a la disminución de las emisiones totales asociadas a la gestión del estiércol en bovinos, a pesar del incremento en el PCA para el CH₄. Sin embargo, la razón principal de esta reducción está vinculada a los cambios en los cálculos de consumo y excreción de nitrógeno (N), los cuales se redujeron en comparación con el NIR 2022, así como a modificaciones en la asignación de los sistemas de gestión del estiércol.

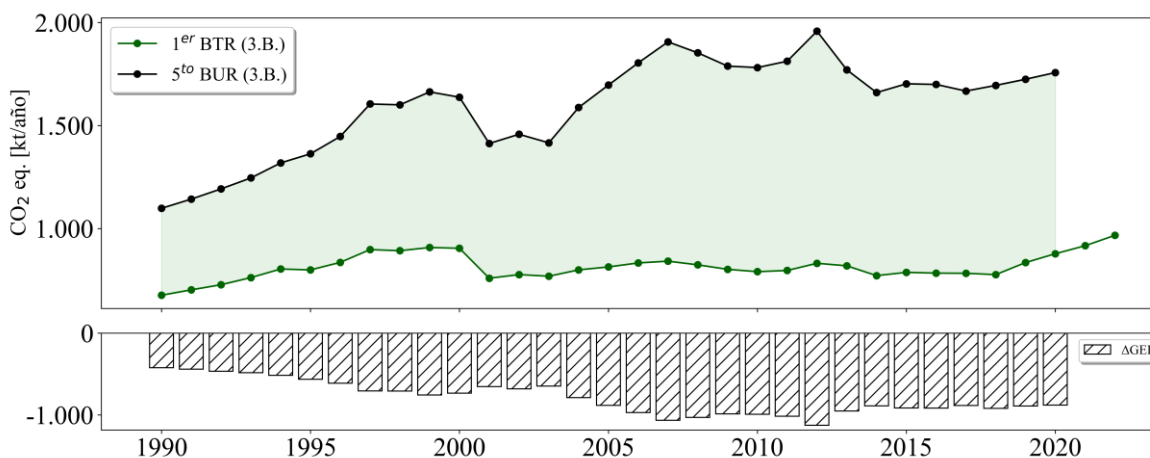


Figura 5-13. Gestión del estiércol: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI 1er IBT (serie 1990-2022) e INGEI 5to IBA (serie 1990-2020)

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI con base en NIR 2022 y NIR 2024.

En ovinos hubo una disminución en las emisiones de CH₄ en comparación con el inventario anterior. Este cambio se debe a las modificaciones mencionadas previamente, que incluyen el ajuste del FE por defecto utilizado, así como el cambio en el PCA del AR4 al AR5.

En los porcinos, se registró una disminución en las emisiones de CH₄ provenientes de la gestión del estiércol en comparación con el inventario anterior, influida también por el cambio en el PCA del AR4 al AR5. Un aspecto importante es que, al igual que en los bovinos, en este inventario se calcula la excreción N, mientras que en el inventario anterior se utilizaba un valor por defecto, lo que también contribuyó a la reducción de las emisiones.

Para *otro ganado*, se observa un aumento en las emisiones relacionadas con la gestión del estiércol en comparación con el inventario anterior. Este incremento se debe principalmente al cambio en el FE por defecto utilizado.

Con respecto a las emisiones indirectas de N₂O, el aumento en el valor de FE por defecto de aves de corral generó el aumento en las emisiones totales, potenciando el efecto del aumento sostenido en la población en la serie de tiempo.

5.3.7 Mejoras planificadas para la categoría

En respuesta al análisis propio del Equipo Técnico de Agricultura y a las recomendaciones surgida de los diferentes procesos de revisión por pares, análisis técnico y otras actividades de aseguramiento de la calidad (al cual ha sido sometido el NIR), se han identificado y priorizados las mejoras presentadas en la Tabla 5-24.

Tabla 5-24. Gestión del estiércol: mejoras planificadas para la categoría.

Descripción	Origen	Estado
Avanzar en la colaboración formal, a través de convenios, con entidades para mejorar la fuente de datos paramétricos relevantes para la validación de los factores de emisión país específico en bovinos.	Interno	Planeado para el próximo ciclo de inventario.
INIA Chile participó como Institución coinvestigadora del proyecto Internacional Dataman (Data of manure), liderado por Nueva Zelanda y financiado por el Ministry of Primary Industries de dicho país. Este proyecto elaboró una base de datos mundial sobre FE de N ₂ O desde el sistema de manejo de estiércol (incluyendo orina y heces depositada en la pradera por animales a pastoreo) (Beltrán <i>et al.</i> , 2020). Dentro de Dataman se incluyó la base de datos del IPCC, por ende, el valor refinado de factores de emisión estipulados actualiza los reportados por el IPCC 2006 y 2019, haciendo una comparación con ambos valores. Como parte del trabajo realizado, se publicó la base de datos de FE para el almacenamiento de estiércol (Hassouna <i>et al.</i> , 2022).	Internacional	Base de datos está disponible (Hassouna <i>et al.</i> , 2023) pero no ha sido publicado el análisis estadístico, por ende, pendiente de publicación.
Se buscará continuar con la colaboración de ASPROCER, mediante un convenio formal, para la recopilación de datos paramétricos de sistemas de manejo de estiércol en porcinos para toda la serie temporal.	Interno	Planeado para el próximo ciclo de inventario.
Se buscará colaboración de una entidad del rubro avícola nacional, para la recopilación de datos paramétricos de sistemas de manejo de estiércol en aves de corral.	Interno	Planeado para el próximo ciclo de inventario.

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

5.4 Cultivo del arroz (3.C)

5.4.1 Descripción y tendencia de los GEI de la categoría

Esta categoría incluye emisiones de CH₄ generadas por la descomposición anaeróbica del 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 de 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 uno de estos; 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 nitrogenados en el cultivo de arroz se incluye en la categoría *suelos agrícolas* (3.D).

En el contexto nacional, el cultivo de arroz se encuentra solo en tres regiones administrativas de la zona central del país (O'Higgins, Maule y Ñuble), y realizándose solo una cosecha por año. Sin embargo, desde 2013, solo dos regiones realizan este cultivo (Maule y Ñuble) como consecuencia del déficit hídrico.

La categoría *cultivo de arroz* es la quinta categoría emisora de GEI del sector *Agricultura*, representando el 1,5 % de sus emisiones. En 2022, sus emisiones contabilizaron 138,0 kt CO₂ eq, disminuyendo en un 34,9 % desde 1990 y en un 25,4 % desde 2020 (Tabla 5-25 y Figura 5-14). La principal causante de la tendencia y las variaciones interanuales es la variación 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)⁸⁶. Respecto a las subcategorías, sólo se registran emisiones para condiciones *Irrigadas*, único tipo de práctica efectuada en el país para el *cultivo del arroz*.

Tabla 5-25. Cultivo del arroz: emisiones de GEI por subcategoría (kt CO₂ eq).

Categoría	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022
3.C.1. Irrigadas	212,2	223,9	174,0	165,8	158,0	168,6	185,0	160,6	138,0
3.C.2. Alimentadas a lluvia	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
3.C.3. Aguas profundas	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
3.C.4. Otros	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Total	212,2	223,9	174,0	165,8	158,0	168,6	185,0	160,6	138,0

Nota: NO: no ocurre.

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

⁸⁶ Paredes, M., Becerra, V., 2015. Manual de producción de arroz: buenas prácticas agrícolas. Boletín INIA N° 306. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Santiago, Chile.

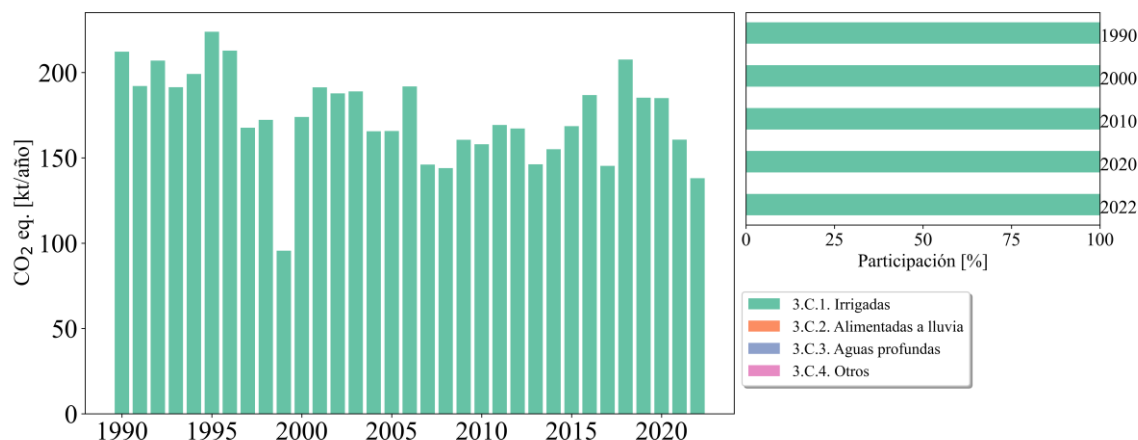


Figura 5-14. Cultivo del arroz: emisiones de GEI por subcategoría (kt CO₂ eq), 1990-2022.

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

5.4.2 Aspectos metodológicos de la categoría

Para la estimación de las emisiones de CH₄ del *Cultivo de Arroz* se aplicó un método Nivel 1 para toda la categoría, mediante datos de actividad desagregados por regiones administrativas y FE por defecto del *Refinamiento de 2019*.

Las emisiones de CH₄ se estiman multiplicando el factor de emisión diario por período de cultivo de arroz y por superficies de cosecha anual (Tabla 5-26). El período de cultivo en el país es de 155 días, este valor fue obtenido por dictamen experto (Karla Cordero, investigadora INIA Quilamapu), siendo este valor mayor que en otros países, debido a que Chile es uno de los lugares más fríos donde se cultiva arroz, lo que implica que requiera un período más largo de siembra a cosecha.

Existen distintas condiciones que inciden sobre las emisiones de CH₄ producidas por el cultivo de arroz, por ejemplo:

- **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 (Ej. pautas de inundación), se debe realizar un conjunto de cálculos individuales para cada región. Esto no ocurre en Chile, dado que la producción se concentra entre las regiones del Maule y Ñuble, donde las condiciones climáticas son similares.
- **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.
- **Agregados orgánicos a los suelos:** tipo y cantidad de material aplicado. El inventario anterior (NIR 2022) fue el primero que incorporó antecedente sobre la aplicación de abonos orgánicos en el cultivo de arroz (dictamen experto Álvaro Vega, zonal negocios tecnológicos de INIA, zona centro-sur, INIA Quilamapu), incorporando aproximadamente 3 t ha⁻¹ de rastrojos en el cultivo para toda la serie de tiempo. Sin embargo, este valor fue corregido en este inventario (NIR 2024), por un valor específico para cada año de cultivo según la superficie cultivada, información entregada por dictamen experto de incorporación de residuos en el cultivo de arroz (explicado en las siguientes secciones).

5.4.2.1 Datos de actividad de la categoría

Debido a que el país no cuenta con información estadística de la superficie cosechada del cultivo de arroz, se utiliza la información de superficie de cultivos anual, para la cual se cuenta con información de las regiones donde se practica el cultivo (Región del Libertador Bernardo O'Higgins, Región del Maule y Región de Ñuble) (Tabla 5-26).

Tabla 5-26. Cultivo de arroz: superficie cultivada de arroz (ha).

Año	Superficie (ha) Región O'Higgins	Superficie (ha) Región del Maule	Superficie (ha) Región de Ñuble	Superficie Total País
1990	5.650	20.470	6.470	32.590
1991	4.220	19.710	5.820	29.750
1992	4.840	21.110	5.810	31.760
1993	5.470	17.510	6.100	29.080
1994	5.910	18.650	5.800	30.360
1995	5.222	22.990	5.718	33.930
1996	7.039	19.438	5.553	32.030
1997	1.883	20.255	3.611	25.748
1998	1.083	19.981	5.638	26.702
1999	885	10.739	3.072	14.696
2000	4.446	16.975	4.347	25.768
2001	4.090	20.000	4.460	28.550
2002	3.570	20.070	4.340	27.980
2003	2.330	21.340	4.560	28.230
2004	2.100	19.000	3.800	24.900
2005	1.050	20.190	3.790	25.030
2006	1.640	21.760	4.580	27.980
2007	273	17.336	4.156	21.765
2008	330	16.680	3.950	20.960
2009	231	18.761	4.688	23.680
2010	312	20.196	4.019	24.527
2011	61	20.851	4.209	25.121
2012	127	19.817	4.047	23.991
2013	0	16.909	4.091	21.000
2014	0	17.403	4.995	22.398
2015	0	19.641	4.073	23.714
2016	0	22.332	4.208	26.540
2017	0	17.395	3.542	20.937
2018	0	27.885	1.637	29.522
2019	0	23.083	3.159	26.242
2020	0	20.185	6.209	26.394
2021	0	19.256	3.709	22.965
2022	0	17.328	3.384	20.712

Fuente: Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA) y Censo Agropecuario 1997, 2007 y 2021 (Instituto Nacional de Estadísticas, INE).

5.4.2.2 Factores de emisión aplicados en la categoría

Dado que en nuestro país las emisiones de CH₄ del cultivo de arroz no es una categoría clave y no existen a la fecha FE país específico para esta categoría, se aplica un Nivel 1. La Ecuación 5.2, Capítulo 5, Volumen 4 del *Refinamiento de 2019*, nos permite calcular el FE de emisión diaria ajustada según régimen hídrico del cultivo, incorporación de rastros y otros manejos del cultivo, para una determinada superficie de cosecha.

Además, se incluyeron factores de ajuste de emisión (Tabla 5-27,5.3, Capítulo 5, Volumen 4, *Refinamiento de 2019*), debido a la incorporación de agregados orgánicos (rastros) en el cultivo de arroz.

Tabla 5-27. Cultivo de arroz: parámetros para cálculo factores de emisión.

Parámetros para cálculo de FE	Unidad	Valor	Fuente
Período de cultivo	días	155	Dictamen experto
EF _c	Kg CH ₄ ha ⁻¹ día ⁻¹	1,27	Tabla 5.11
SF _w	Sin unidad	1,0	Tabla 5.12
SF _p	Sin unidad	1,0	Tabla 5.13
CFOA	Sin unidad	0,19	Tabla 5.14

EF_c: factor de emisión básico para tierras inundadas continuamente sin enmiendas orgánicas; SF_w: El régimen de agua durante el período de cultivo; SF_p: El régimen de agua antes del período de cultivo; CFOA: factor de conversión para enmienda orgánica.

Fuente: Refinamiento de 2019 y Dictamen experto: Karla Cordero (investigadora INIA Quilamapu).

Para el cálculo del FE se utilizaron los siguientes parámetros; el factor de emisión básico para tierras inundadas continuamente sin enmiendas orgánicas (EF_c) correspondiente a Sudamérica que es de 1,27 kg CH₄ ha⁻¹ día⁻¹. El régimen de agua durante el período de cultivo (SF_w) corresponde a continuamente inundado. El régimen de agua antes del período de cultivo (SF_p) corresponde a no inundado (menor a 180 días). En cuanto al factor de ajuste para enmienda orgánica (SF_o), el factor de conversión para enmienda orgánica (CFOA) fue 0,19 correspondiente a rastrojo incorporado más de 30 días antes del establecimiento del cultivo.

En cuanto a la tasa de aplicación de enmiendas orgánicas, ésta se determinó con información sobre la fracción de la producción de residuos del cultivo de arroz que se incorpora al suelo (información obtenida por dictamen de experto, el cual se divide por la superficie de cultivo de arroz anual (ha)).

5.4.3 Descripción de cualquier flexibilidad aplicada en la categoría

En la presente categoría no se aplicaron disposiciones de flexibilidad de las MPD.

5.4.4 Incertidumbre y coherencia de la serie temporal de la categoría

La incertidumbre para los datos de actividad corresponde a valores determinados por el equipo técnico de agricultura con base en las fuentes de los datos utilizados (Censos y Catastros Estadísticos) y su gestión (por ejemplo, la técnica de empalme utilizada) (Tabla 5-9, sección 5.2.4. de la categoría *fermentación entérica*).

En el caso de los factores de emisión para las emisiones de CH₄, la incertidumbre corresponde a un valor por defecto procedente del Cuadro 5.3, Capítulo 5, Volumen 4 del *Refinamiento de 2019*.

En cuanto a la coherencia de la serie temporal, se construyó la serie de datos de actividad con la información de los *Censos Agropecuarios y Forestales* de 1977, 1997, 2007 y 2021, y de encuestas anuales y bianuales generadas por ODEPA.

Para mantener la consistencia de la serie temporal 1990-2022 se usó la misma fuente de datos de actividad, tanto estadísticos como paramétricos. Sin embargo, se incluye una corrección, a través de factores de ajuste de emisión, debido a la incorporación de agregados orgánicos (rastros) en el cultivo de arroz, el cual fue incorporado por primera vez en el inventario anterior (NIR 2022), y que en el actual se corrigió con información sobre la fracción de la producción de residuos del cultivo de arroz que se incorpora al suelo (información obtenida por dictamen de experto), el cual se divide por la superficie de cultivo de arroz anual (ha).

5.4.5 ACCV de la categoría

En la presente categoría se debe considerar mismo procedimiento de aseguramiento y control de calidad que para la categoría *fermentación entérica* (sección 5.2.5).

5.4.6 Nuevos cálculos

Justificaciones de los nuevos cálculos y mejoras

Se realizaron nuevos cálculos en la categoría debido, principalmente, a la aplicación por primera vez del *Refinamiento de 2019*. Este proceso incluyó modificaciones en los métodos de estimación, así como en los factores de emisión y datos de actividad, permitiendo una estimación más precisa de la emisión de CH₄ en este cultivo.

En cuanto a las mejoras, se implementaron los siguientes cambios:

- *Datos paramétricos*. Se realizaron cambios asociados a la corrección en los valores usados para la incorporación de enmiendas orgánicas (rastros) en el cultivo de arroz
- *Factores de emisión*. Actualización de factores de emisión según lo reportado en el *Refinamiento de 2019*.
- *Cambio PCA de AR4 a AR5*

Implicaciones para los niveles de emisión

En la Figura 5-15 se presentan las variaciones en las emisiones de GEI de esta categoría respecto del inventario anterior (NIR 2022), las cuales fueron disminuidas. En general, se pudo observar una disminución en las emisiones entre 3-12% a lo largo de la serie temporal, con una reducción del 4% para el año 2020 entre el NIR2024 y NIR2022.

La variación respecto al inventario anterior es por la actualización al *Refinamiento de 2019*, donde algunos factores utilizados en la ecuación para cálculo del FE, cambiaron su valor respecto a las *Directrices del IPCC 2006*, utilizado en el inventario anterior. Este es el caso de parámetros tales como factor de emisión básico para tierras inundadas continuamente sin enmiendas orgánicas (EF_c) y factor de conversión para enmienda orgánica (CFOA). Para el inventario actual los valores de EF_c y CFOA fueron 1,27 Kg CH₄ ha⁻¹ día⁻¹ y 0,19, respectivamente, a diferencia del inventario anterior con valores de 1,30 Kg CH₄ ha⁻¹ día⁻¹ y 0,29, respectivamente.

Además, en el inventario anterior se consideró la incorporación transversal de enmienda orgánica de 3 t ha⁻¹ de rastrojo, que, al corregir para este inventario, entregó valores similares, pero inferior a las 3 t ha⁻¹ incorporadas en el inventario anterior.

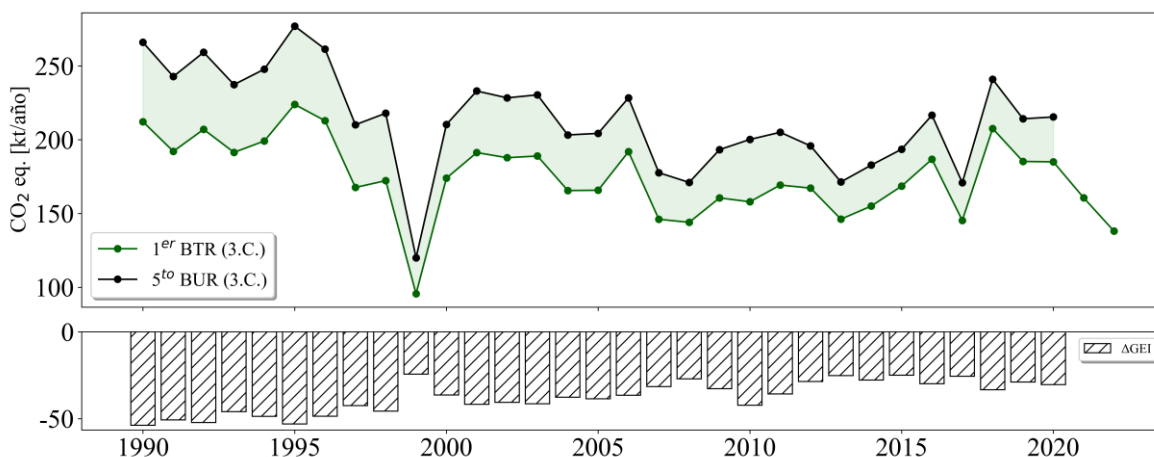


Figura 5-15. Cultivo de arroz: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI 1er IBT (serie 1990-2022) e INGEI 5to IBA (serie 1990-2020)

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

5.4.7 Mejoras planificadas para la categoría

En respuesta al análisis propio del Equipo Técnico de Agricultura y a las recomendaciones surgida de los diferentes procesos de revisión por pares, análisis técnico y otras actividades de aseguramiento de la calidad (al cual ha sido sometido el NIR), se han identificado y priorizados las mejoras presentadas en la Tabla 5-28.

Tabla 5-28. Cultivo de arroz: mejoras planificadas para la categoría.

Descripción	Origen	Estado
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.	Interno	El proyecto FONTAGRO ejecutado durante el 2019 a 2022, permitió obtener factores de emisión para dos sistemas de siembra utilizados por los productores del país, estas corresponden a una siembra tradicional, pregerminada e inundada y una siembra directa con inundación tardía. Adicionalmente, se obtuvieron factores de emisión aplicando la estrategia de mitigación más utilizada internacionalmente que corresponde a un sistema alternado de periodos secos e inundados, para ambos tipos de siembra. Se espera publicar resultados a la brevedad, para luego ser potencialmente utilizados en el INGEI.

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

5.5 Suelos agrícolas (3.D)

5.5.1 Descripción y tendencia de los GEI 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 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 orgánico proveniente de otras fuentes (N-lodos),
- 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, para las regiones de Los Lagos y Los Ríos, regiones donde se encuentran los suelos ñadis, con características muy similares a los Histosoles.

La categoría *suelos agrícolas* es la segunda categoría emisora de GEI del sector *Agricultura*, representando el 29,7 % de sus emisiones. En 2022, sus emisiones contabilizaron 2.732,3 kt CO₂ eq, aumentando un 15,7 % desde 1990 y disminuyendo un 9,3 % desde 2020 (Tabla 5-29 y Figura 5-16). 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*. Respecto a las subcategorías, *Emisiones directas de N₂O de suelos agrícolas* es la de mayor relevancia con un 74,1 %, y de un 25,9 % de *Emisiones indirectas de N₂O de suelos agrícolas*.

Tabla 5-29. Suelos agrícolas: emisiones de GEI por categoría (kt CO₂ eq).

Subcategoría	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022
3.D.1. Emisiones directas de N ₂ O...	1.666,9	1.933,7	1.926,1	2.069,2	2.447,8	2.169,9	2.247,5	2.230,5	2.024,5
3.D.2. Emisiones indirectas de N ₂ O...	693,8	784,0	794,7	810,5	856,2	763,9	766,5	750,3	707,7
Total	2.360,7	2.717,7	2.720,8	2.879,7	3.304,0	2.933,8	3.014,0	2.980,8	2.732,3

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

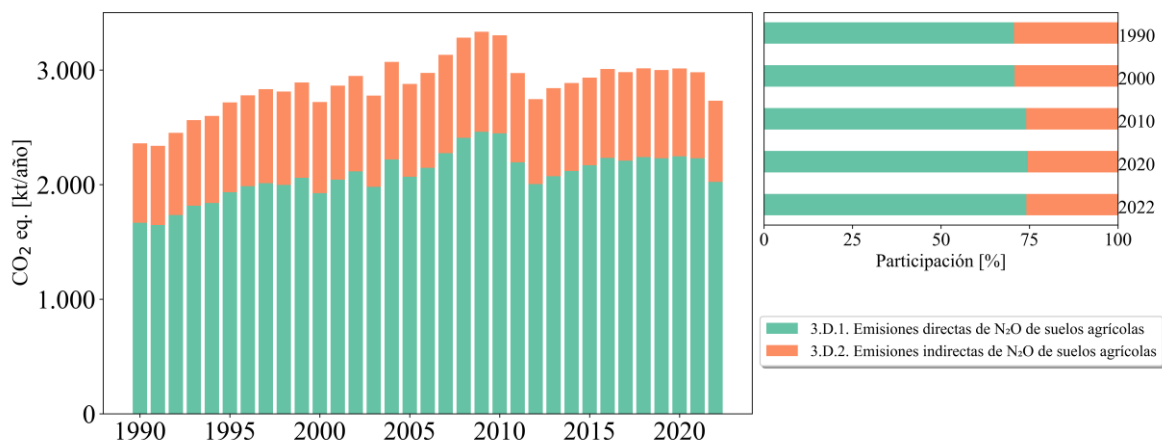


Figura 5-16. Suelos agrícolas: emisiones de GEI por categoría (kt CO₂ eq),1990-2022.

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

Emisiones directas de N₂O de suelos agrícolas (3.D.1)

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 orgánico de otras fuentes (lodos de ciudad aplicados al suelo)
- 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.

En 2022, las emisiones de GEI de esta subcategoría contabilizaron 2.024,5 kt CO₂ eq. Dentro de sus componentes, *Fertilizantes inorgánicos* es el de mayor importancia con un 46,6 %, seguido de 26,8 % de *Residuo de cosechas*, 14,3 % de *Orina y estiércol depositado por animales en pastoreo*, 12,0 % de *Fertilizantes orgánicos*, mientras que el porcentaje restante (0,20 %) corresponde a *Cultivo de suelos orgánicos* (Histosoles) (Tabla 5-30 y Figura 5-17).

Tabla 5-30. Suelos agrícolas: emisiones de GEI por categoría (kt CO₂ eq).

Subcategoría	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022
3.D.1.a. Fertilizantes inorgánicos	670,2	877,7	824,5	915,2	1.353,8	1.021,2	1.147,1	1.136,0	944,2
3.D.1.b. Fertilizante orgánicos	125,9	158,7	190,0	235,8	237,3	245,2	246,6	244,1	243,4
3.D.1.c. Orina y estiércol depositado...	386,7	421,4	438,1	421,9	363,7	335,7	296,8	285,8	289,4
3.D.1.d. Residuos de cosechas	484,2	474,7	456,1	460,1	444,5	524,8	541,4	555,8	542,8
3.D.1.e. Mineralización...	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
3.D.1.f. Cultivo de suelos orgánicos...	NE	1,2	17,5	36,2	48,5	43,1	15,6	8,8	4,7
3.D.1.g. Otros	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Total	1.666,9	1.933,7	1.926,1	2.069,2	2.447,8	2.169,9	2.247,5	2.230,5	2.024,5

Nota: NE: no estimada; NO: no ocurre.

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

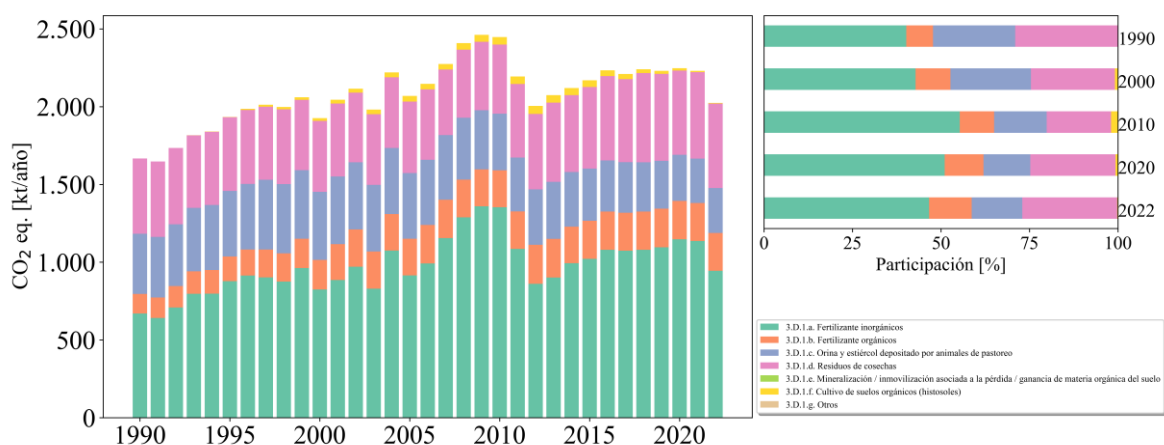


Figura 5-17. Suelos agrícolas: Emisiones directas de N₂O por categoría (kt CO₂ eq), 1990-2022.

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

Emisiones indirectas de N₂O de suelos agrícolas (3.D.2)

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.

En 2022, las emisiones de GEI de esta subcategoría contabilizaron 707,7 kt CO₂ eq, representando un 25,9 % de las emisiones de GEI de la categoría, aumentando en un 20,0 % desde 1990 y disminuyendo en un 7,7 % desde 2020. La principal causante de la tendencia son las variaciones interanuales del N proveniente del estiércol animal y fertilizantes orgánicos e inorgánicos.

En 2022, las emisiones de GEI por lixiviación y escurrimiento representaron un 55,7 %; y las emisiones por deposición atmosférica representaron un 44,3 % de las emisiones indirectas de N₂O (Tabla 5-31 y Figura 5-18).

Tabla 5-31. Suelos agrícolas: Emisiones indirectas de N₂O por categoría (kt CO₂ eq).

Subcategoría	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022
3.D.2.a. Deposición atmosférica	319,2	366,5	375,2	385,6	402,3	350,2	342,2	334,3	314,9
3.D.2.b. Lixiviación y escurrimiento	374,6	417,5	419,5	424,9	453,9	413,7	424,3	416,0	392,9
Total	693,8	784,0	794,7	810,5	856,2	763,9	766,5	750,3	707,7

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.



Figura 5-18. Suelos agrícolas: Emisiones indirectas de N₂O por categoría (kt CO₂ eq), 1990-2022.

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

5.5.2 Aspectos metodológicos de la categoría

Para la estimación de las emisiones de N₂O directas se aplicó un método Nivel 1 y FE por defecto para todas sus componentes; a excepción de la componente *Fertilizantes inorgánicos*, que contó con un método Nivel 2 y FE país específico para ciertas regiones del sur del país (Región de Ñuble, Biobío, La Araucanía, Los Ríos y Los Lagos) y la componente *Fertilizantes orgánicos* como *Estiércol animal aplicado a los suelos* que se aplicó un método Nivel 2 pero con un FE por defecto.

Las emisiones directas de N₂O (3.D.1) fueron estimadas con la Ecuación 11.1, Capítulo 11, Volumen 4 del *Refinamiento de 2019*. Y los FE por defecto utilizados se obtuvieron de la Tabla 11.1, Capítulo 11, Volumen 4 del *Refinamiento de 2019*.

Para la estimación de las emisiones de N₂O indirectas, se utilizó la Ecuación 11.9 y 11.10, Capítulo 11, Volumen 4 del *Refinamiento de 2019*. Un punto importante de mencionar es lo relacionado con la subcategoría *Lixiviación y escurrimiento*. El *Refinamiento de 2019* indica 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, sólo en las regiones de Ñuble al sur ocurría lixiviación, no así en las regiones al norte de ésta.

5.5.2.1 Datos de actividad de la categoría

Emisiones directas de N₂O de suelos agrícolas (3.D.1)

Fertilizantes sintéticos

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 del N importado y empleado en agricultura (descontado el uso en minería o farmacéutica). Esta información no se encuentra desagregada por tipo de fertilizante nitrogenado, aunque de acuerdo con la estimación de ODEPA, se estima que entre el 89 y el 100 % del nitrógeno empleado anualmente con fines agrícolas se usó como urea, para el periodo 1998-2022. 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.

Fertilizantes orgánicos y Orina y estiércol depositado por animales en pastoreo

El detalle de la obtención de los datos, tales como la 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 la sección 5.3 de la categoría gestión del estiércol.

Desde el inventario anterior (NIR 2022) en el componente fertilizantes orgánicos, se incorpora lodos generado en Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas desde el año 2010 en adelante, información entregada por el Ministerio del Medio Ambiente (MMA). Para este inventario (NIR 2024) hubo una actualización de los lodos utilizados en el sector agricultura.

Residuos 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 dictamen 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. Esto se realizó para cuatro rubros: cultivos anuales, huertos frutales, hortalizas, y forrajeras. Para la actualización de esta información se contó con dictámenes de expertos de investigadores de INIA (Dres. Iván Matus, Jorge Retamal) y de investigadores de otras entidades (Dr. Francisco Tapia Flores, Universidad Mayor).

Mineralización de la materia orgánica del suelo

No se reportan emisiones para esta categoría.

Histosoles

La superficie de histosoles drenados (suelos orgánicos drenados), viene de información entregada por ODEPA, a través de la Comisión Nacional de Riego (CNR).

En Chile, no existe el orden de suelo histosol, sin embargo, los suelos ñadis presentes en las regiones de Los Ríos y Los Lagos, presentan características muy similares a los histosoles (características detalladas en las *Directrices del IPCC de 2019*), por tanto, son considerados en este ítem.

Emisiones indirectas de N₂O de suelos agrícolas (3.D.2)

Los datos utilizados para esta subcategoría fueron los mismos utilizados en *Emisiones directas de N₂O desde suelos agrícolas*. De acuerdo con el *Refinamiento de 2019*, 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 lixivía y escurre superficialmente, datos que son utilizados para la categoría *Emisiones indirectas de N₂O de suelos agrícolas*.

5.5.2.2 Factores de emisión aplicados en la categoría

Los factores de emisión para la subcategoría *Emisiones directas de N₂O de suelos agrícolas (3.D.1)* corresponden a valores por defecto de acuerdo con el *Refinamiento de 2019*; a excepción de la componente *Fertilizantes inorgánicos*, que contó con un FE país específico para ciertas regiones del sur del país (Región de Ñuble, Biobío, La Araucanía, Los Lagos y Los Ríos) (Tabla 5-32).

Tabla 5-32. Suelos agrícolas: Factores de emisión para estimación de las emisiones directas de N₂O.

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]	0,010
EF _{3PRP, CPP} para vacunos (lecheros y no lecheros, y búfalos), aves de corral y porcinos [kg N ₂ O–N (kg N) ⁻¹]	0,004
EF _{3PRP, SO} para ovinos y «otros animales» [kg N ₂ O–N (kg N) ⁻¹]	0,003
EF _{1FR} para arrozales inundados [kg N ₂ O–N (kg N) ⁻¹]	0,004
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

Nota: para EF₂ ver Tabla 2.5, Capítulo 2 (ver Suplemento 2013, Directrices IPCC 2006: Humedales, Capítulo 2).

Fuente: Cuadro 11.1; Capítulo 11; Volumen 4; *Directrices del IPCC de 2019*.

Los factores de emisión para la categoría corresponden a valores de acuerdo con el *Refinamiento de 2019*, además de un FE 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 FE en estos suelos se han investigado desde 2011 a través de ensayos y estudios realizados por INIA Remehue, bajo distintos tipos de praderas (por ejemplo, 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 $0,0025 \text{ kg N}_2\text{O-N (kg N)}^{-1}$. Este valor es más bajo que el $0,01 \text{ kg N}_2\text{O-N (kg N)}^{-1}$ reportado como FE por defecto por el *Refinamiento de 2019*, 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 NO_3^- (Salazar *et al.*, 2014), sustrato del N_2O , y una baja presencia de organismos desnitrificadores (Carvajal *et al.*, 2016).

En el caso de las *Emisiones indirectas de N_2O de suelos agrícolas (3.D.2)* los factores de emisión corresponden a valores por defecto obtenidos de Tabla 11.3, Capítulo 11, Volumen 4 del *Refinamiento de 2019*.

5.5.3 Descripción de cualquier flexibilidad aplicada en la categoría

En la presente categoría no se aplicaron disposiciones de flexibilidad de las MPD.

5.5.4 Incertidumbre y coherencia de la serie temporal de la categoría

La incertidumbre para los datos de actividad corresponde a valores determinados por el equipo técnico de agricultura con base en las fuentes de los datos utilizados (Censos y Catastros Estadísticos) y su gestión (por ejemplo, la técnica de empalme utilizada) (Tabla 5-9, sección 5.2.4. de la categoría *fermentación entérica*).

En el caso de los factores de emisión para las emisiones de N_2O directas, la incertidumbre corresponde a un valor por defecto procedente de la Tabla 11.1, Capítulo 11, Volumen 4 del *Refinamiento de 2019*. En el caso del componente *Fertilizantes inorgánicos*, la incertidumbre corresponde a valores determinados por el equipo técnico de agricultura, ya que estos factores de emisión corresponden a valores específicos para el país.

Para las emisiones de N_2O indirectas, la incertidumbre corresponde a un valor por defecto procedente de la Tabla 10.3, Capítulo 10, Volumen 4 del *Refinamiento de 2019*.

En cuanto a la coherencia de la serie temporal, se construyó la serie de datos de actividad con la información de entregada por distintas entidades tales como ODEPA, CNR, MMA y dictámenes de expertos, los cuales, en caso de haber nueva información, se actualizaron para toda la serie temporal 1990-2022.

5.5.5 ACCV de la categoría

En la presente categoría se debe considerar mismo procedimiento de aseguramiento y control de calidad que para la categoría *fermentación entérica* (sección 5.2.5).

Verificación

Para las emisiones directas de N_2O , 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 NIR 2024 corresponden a los datos depurados y entregados por ODEPA, y su distribución por región fue en base de superficie cultivada obtenida de *Censo agropecuario 2021*. En cuanto a las emisiones indirectas de N_2O , no hubo verificación con fuentes externas para esta categoría.

5.5.6 Nuevos cálculos

Justificaciones de los nuevos cálculos y mejoras

Para las *Emisiones directas de N_2O de suelos agrícolas (3.D.1)* y las *Emisiones indirectas de N_2O de suelos agrícolas (3.D.2)*, en este inventario (NIR 2024) los cálculos e información se actualizaron en base al *Refinamiento de 2019*, cambiando algunos valores de FE por defecto para esta subcategoría. Por ejemplo, el factor de emisión para orina y heces depositada en la pradera por animales en pastoreo (EF_{3PRP}) fue modificado de 0,02 a 0,004 kg N- N_2O kg N⁻¹ aplicado, reduciéndose en un 80% su valor y por ende, en las emisiones de esa subcategoría. Además, en el NIR 2024 se incorporó el cálculo de la tasa de excreción de N para bovinos y porcinos (ver sección 5.3 *gestión del estiércol*).

Implicaciones para los niveles de emisión

En el inventario actual (NIR 2024) se observa una disminución de las *Emisiones directas de N_2O de suelos agrícolas (3.D.1)* (Figura 5-19) y *Emisiones indirectas de N_2O de suelos agrícolas (3.D.2)* (Figura 5-20) respecto del inventario anterior (NIR 2022). Esta variación en las emisiones está relacionado a las explicaciones en el ítem anterior, *Justificaciones de los nuevos cálculos y mejoras*, ya que los cálculos incorporados de N excretado arrojaron valores más bajos que los utilizados en el NIR 2022 que utilizaba valores por defecto. Además, se relaciona al cambio del PCA de AR4 a AR5 (cambiando para N_2O de 298 en NIR 2022 a 265 en el NIR 2024), lo cual genera una disminución en las emisiones.

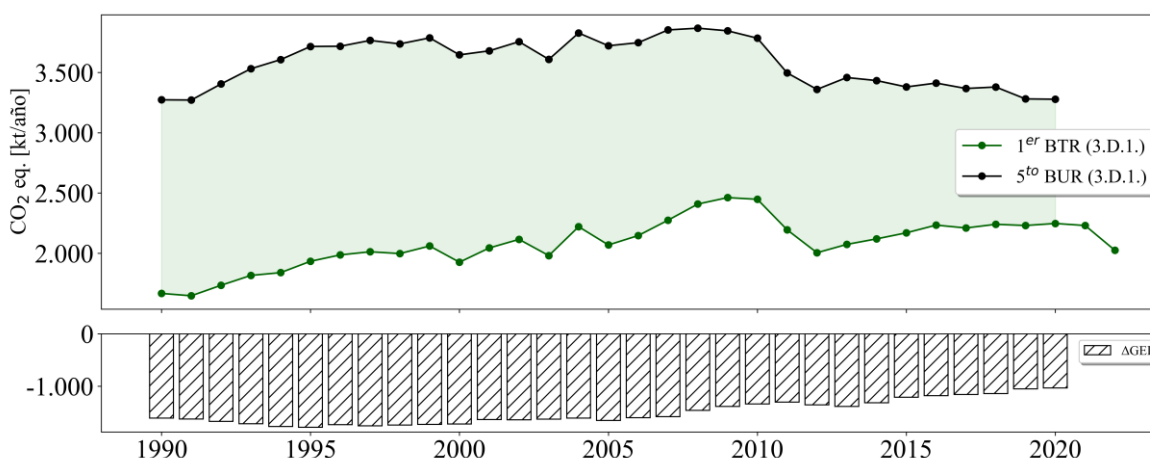


Figura 5-19. Suelos agrícolas: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI 1er IBT (serie 1990-2022) e INGEI 5to IBA (serie 1990-2020)

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI con base en NIR 2022 e NIR 2024.

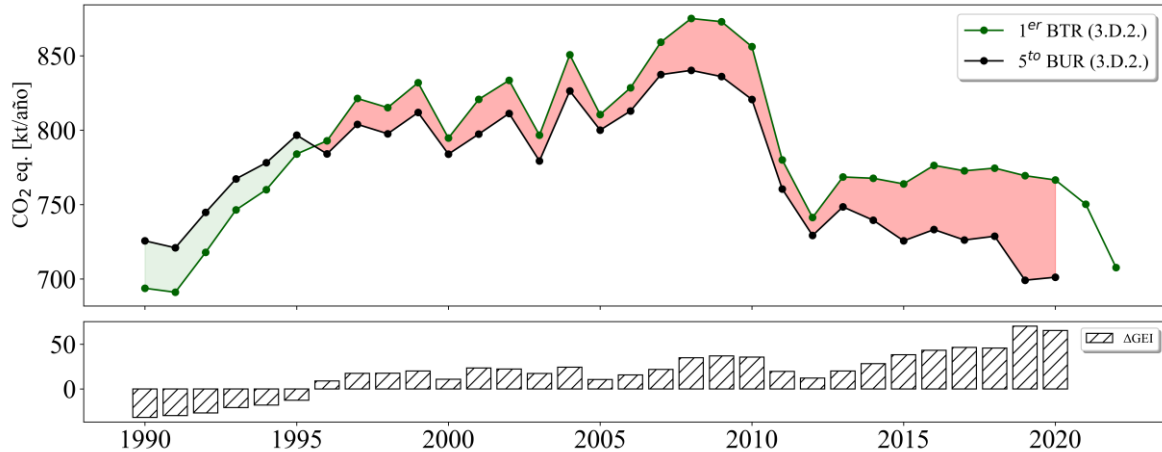


Figura 5-20. Suelos agrícolas: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI 1er IBT (serie 1990-2022) e INGEI 5to IBA (serie 1990-2020)

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI con base en NIR 2022 e NIR 2024.

5.5.7 Mejoras planificadas para la categoría

En respuesta al análisis propio del Equipo Técnico de Agricultura y a las recomendaciones surgida de los diferentes procesos de revisión por pares, análisis técnico y otras actividades de aseguramiento de la calidad (al cual ha sido sometido el NIR), se han identificado y priorizados las mejoras presentadas en la Tabla 5-33.

Tabla 5-33. Suelos agrícolas: mejoras planificadas para la categoría.

Descripción	Origen	Estado
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.	Interno	A la fecha, no se ha logrado contar con información regional de uso de fertilizantes.
INIA Chile participó como Institución coinvestigadora del proyecto Internacional Dataman (Data of manure), liderado por Nueva Zelanda y financiado por el Ministry of Primary Industries de dicho país. Este proyecto elaboró una base de datos mundial sobre factores de emisión de óxido nitroso desde el sistema de manejo de estiércol (incluyendo orina y heces depositada en la pradera por animales a pastoreo) (Beltrán et al., 2020). Dentro de Dataman se incluyó la base de datos del IPCC, por ende, el valor refinado de factores de emisión estipulados actualiza los reportados por el IPCC 2006 y 2019, haciendo una comparación con ambos valores. Como parte del trabajo realizado, se publicó la base de datos de FE para fertilizantes orgánicos y orina y heces depositadas en la pradera (Beltrán et al. 2021). Un segundo trabajo permitió hacer un refinamiento de los FE para fertilizantes orgánicos y excreta animal (depositada en la pradera) para distintas zonas climáticas, haciendo una comparación con los valores reportados por el IPCC (2006) e IPCC (2019) (van der Weerden et al., 2021).	Interno	Proyecto se encuentra finalizado y publicado, donde se compara FE del IPCC (2006) y refinamiento (2019). Para mantener la comparabilidad con otros países, se mantiene uso de valores reportados por IPCC, específicamente, Refinamiento (2019).
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	Interno	Planeado para próximos ciclos de inventario.

Descripción	Origen	Estado
en marcha una investigación científica por parte de INIA-Remehue, con el apoyo del Ministerio de Ciencia, está ejecutando un experimento que permitirá obtener FE país-específico de N ₂ O para orina y heces de vacas lecheras a pastoreo.		
En el caso de fertilización orgánica para sistemas lecheros a pastoreo (principal sistema en Chile), INIA -Remehue, con el apoyo del Ministerio de Ciencias. Al respecto, se está ejecutando un experimento que permitirá obtener FE país-específico de N ₂ O para el uso de purines de lechería como fertilización orgánica en paraderas del sur de Chile.	Interno	Planeado para próximos ciclos de inventario.

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

5.6 Quema prescrita de sabanas (3.E)

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 agrícola en el campo (3.F)

5.7.1 Descripción y tendencia de los GEI 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 agrupados en los siguientes componentes: *Cereales y otros cultivos* (cultivos industriales, leguminosas y tubérculos); *Legumbres*; *Tubérculos y raíces*; *Caña de azúcar*; y *Otros* (aquí se incluye frutales).

La categoría *quema de residuos agrícolas en el campo* es la quinta categoría emisora de GEI del sector Agricultura, representando 1,5 % de las emisiones de GEI del sector. En 2022, sus emisiones de GEI contabilizaron 140,7 kt CO₂ eq, aumentando en un 36,0 % desde 1990 y disminuyendo en un 2,3 % desde 2020. Respecto a las subcategorías, *Otros (Frutales)* es la de mayor relevancia con un 50,7 %, seguida de un 49,3 % de *Cereales* (Tabla 5-34 y Figura 5-21).

Tabla 5-34. Quema de residuos agrícolas en el campo: emisiones de GEI por categoría (kt CO₂ eq).

Categoría	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022
3.F.1. Cereales	62,1	50,0	62,1	73,9	67,3	59,2	71,7	76,8	69,3
3.F.2. Legumbres	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
3.F.3. Tubérculos y raíces	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
3.F.4. Caña de azúcar	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
3.F.5. Otros	41,3	42,6	53,7	62,5	67,6	70,5	72,3	71,9	71,3
Total	103,4	92,6	115,8	136,4	134,9	129,8	144,0	148,7	140,7

Nota: NO: no ocurre. En el caso de caña de azúcar el cultivo no se realiza en el país. En el caso de legumbres, y tubérculos y raíces, estos cultivos no presentan quemados de residuos.

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

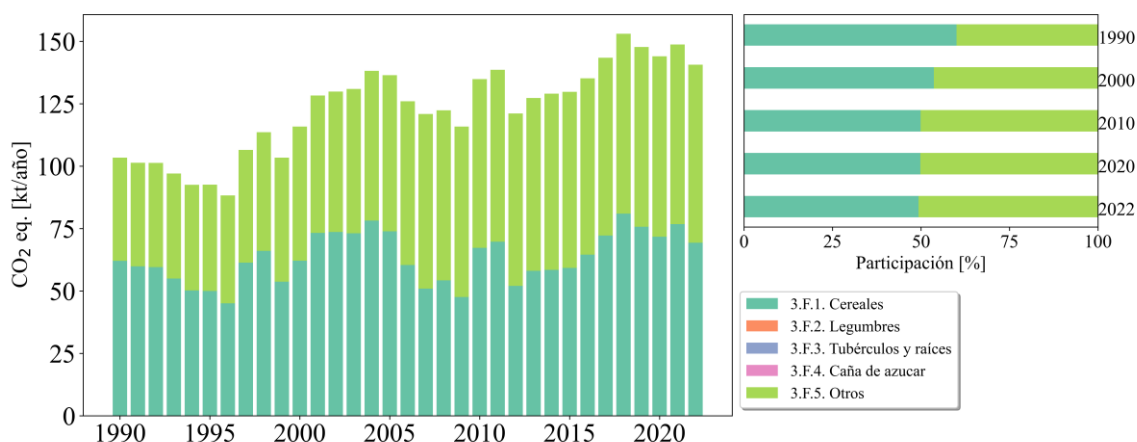


Figura 5-21. Quema de residuos agrícolas en el campo: emisiones de GEI por categoría (kt CO₂ eq), 1990-2022.

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

Entre las principales causantes de la tendencia y las variaciones interanuales es la implementación de las leyes que regulan la *quema de residuos agrícolas en el campo* y, por otra parte, el mejor aprovechamiento de los residuos en la incorporación al suelo. Adicionalmente, existe una variación interanual en la superficie cultivada.

La Tabla 5-34 y Figura 5-21 muestran que los componentes principales de esta categoría son *Cereales* y *Otros (Frutales)*, ya que, en el caso de *Legumbres* y *Tubérculos y raíces* no ocurre la quema de residuos, ya que su destino final corresponde al 100 % de su incorporación al suelo. En el caso de caña de azúcar, este cultivo no está presente en el país.

5.7.2 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 (Tabla 2.5, Capítulo 2, Volumen 4 del *Refinamiento de 2019*). El cálculo de las emisiones para esta subcategoría se realizó en base a la Ecuación 2.27, Capítulo 2, Volumen 4 del *Refinamiento de 2019*.

5.7.2.1 Datos de actividad de la categoría

Para la obtención de datos de actividad y paramétricos fue necesario una combinación de valores por defecto del *Refinamiento de 2019*, valores nacionales de ODEPA, INE, CIREN y dictamen 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, 2007 y 2021, y de las estadísticas anuales de ODEPA y los catastros frutícolas realizados por CIREN, que fueron combinados con datos de actividad paramétricos correspondientes a dictamen de expertos, lo que permite hacer una división de los residuos de cultivo según su destino final (descrito en categoría *suelos agrícolas*, componente *Residuos de cultivos, CR*).

Se utilizó dictamen experto para determinar la fracción de los residuos de los principales tipos de cultivos que se destinan a la quema en el campo. (investigadores de INIA: Dres. Iván Matus, Jorge Retamal; y de otras entidades: Dr. Francisco Tapia Flores, Universidad Mayor).

5.7.2.2 Factores de emisión aplicados en la categoría

Los factores de emisión para las emisiones por quema de biomasa en tierras de cultivo corresponden a valores por defecto de acuerdo con la Tabla 2.5 y 2.6, Capítulo 2, Volumen 4 del *Refinamiento de 2019*.

5.7.3 Descripción de cualquier flexibilidad aplicada en la categoría

En la presente categoría no se aplicaron disposiciones de flexibilidad de las MPD.

5.7.4 Incertidumbre y coherencia de la serie temporal de la categoría

La incertidumbre para los datos de actividad corresponde a valores determinados por el equipo técnico de agricultura con base en las fuentes de los datos utilizados (Censos y Catastros Estadísticos) y su gestión (por ejemplo, la técnica de empalme utilizada) (Tabla 5-9, sección 5.2.4. de la categoría *fermentación entérica*).

En el caso de los factores de emisión para las emisiones de CH₄ y N₂O, la incertidumbre corresponde a un valor por defecto procedente de la Tabla 2.5, Capítulo 11, Volumen 4 del *Refinamiento de 2019*.

En cuanto a la coherencia de la serie temporal, se construyó la serie de datos de actividad con la información de los *Censos Agropecuarios y Forestales* (1977, 1997, 2007 y 2021), CIREN (superficies frutales), encuestas anuales y bianuales generadas por ODEPA (superficie y rendimiento de cereales), y dictámenes de expertos (destino final residuos).

5.7.5 ACCV de la categoría

En la presente categoría se debe considerar mismo procedimiento de aseguramiento y control de calidad que para la categoría *fermentación entérica* (sección 5.2.5).

Verificación

Los datos paramétricos de residuos de cultivos destinados a quema fueron validados por medio de consultas a expertos INIA (Dres. Iván Matus y Jorge Retamal) y expertos de otras entidades (Dr. Francisco Tapia Flores, Universidad Mayor).

5.7.6 Nuevos cálculos

Justificaciones de los nuevos cálculos y mejoras

Se realizaron nuevos cálculos en la categoría debido, principalmente, a la aplicación por primera vez del *Refinamiento de 2019* y a la actualización del PCA, pasando de AR4 a AR5. Tanto para cereales como frutales, se realizaron mejoras metodológicas al actualizar datos paramétricos relacionados al a la quema de residuos, cuya información fue obtenida por dictamen de expertos.

- *Datos de actividad.* En los inventarios anteriores había un error de concepto de parámetros incorporados en la fórmula de las emisiones de la categoría, lo cual fue corregido en el NIR 2024. Tal es el caso de área quemada (A) donde sólo se incorporaba en NIR 2022 la superficie de los cultivos y frutales, lo que se corrigió en este inventario, incorporando la superficie multiplicada por los residuos destinados a quema. En el caso de masa disponible para combustible (MB), también hubo cambios respecto al NIR 2022 donde se utilizaba la proporción de residuos destinados a quema por la superficie del cultivo o frutales, lo cual en el NIR 2024 se corrigió la proporción de AGDM (rendimiento por la fracción de materia seca por el factor residuos) por el residuo destinado a quema.
- *Datos paramétricos.* Actualización de datos paramétricos relacionados al destino final de los residuos de cultivos y frutales quemados *Factores de emisión*.
- *Factores de combustión.* Hubo un cambio del factor de combustión por actualización del Refinamiento de 2019, de 0,90 en el NIR 2022 a 0,85 en el NIR 2024.
- *Cambio PCA de AR4 a AR5.*

Implicaciones para los niveles de emisión

En la Figura 5-22 y Figura 5-23 se presentan las variaciones en las emisiones de GEI para la quema de residuos de cereales y frutales, respectivamente. Para cereales se pudo observar un aumento en las emisiones entre 13-68% a lo largo de la serie temporal, con un aumento del 68% para el año 2020 entre el NIR2024 y NIR2022. Sin embargo, para frutales, se observó un comportamiento opuesto, donde los primeros años del Inventario hubo una menor emisión en el NIR 2024 en comparación al NIR 2022, sin embargo, dicha tendencia fue modificada desde el año 1999, donde las emisiones del actual NIR fueron mayores. Por ejemplo, para el año 2020 las emisiones en el actual NIR fueron 69% mayores que para el NIR 2020 para frutales.

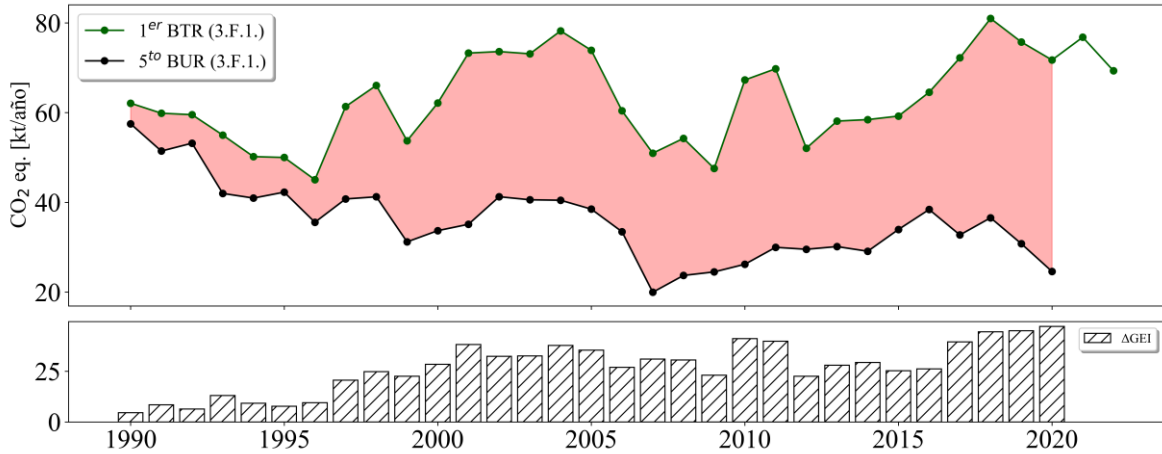


Figura 5-22. Quema de residuos agrícolas en el campo: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI 1er IBT (serie 1990-2022) e INGEI 5to IBA (serie 1990-2020) para cereales.

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI con base en NIR 2022 y NIR 2024.

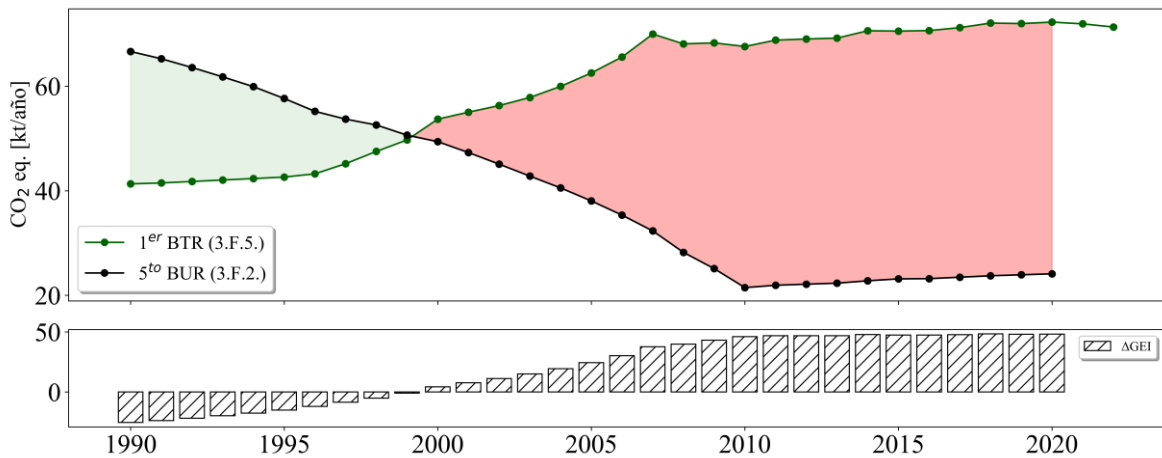


Figura 5-23. Quema de residuos agrícolas en el campo: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI 1er IBT (serie 1990-2022) e INGEI 5to IBA (serie 1990-2020) para otros cultivos (frutales).

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI con base en NIR 2022 y NIR 2024.

5.7.7 Mejoras planificadas para la categoría

En respuesta al análisis propio del Equipo Técnico de Agricultura y a las recomendaciones surgida de los diferentes procesos de revisión por pares, análisis técnico y otras actividades de aseguramiento de la calidad (al cual ha sido sometido el NIR), se han identificado y priorizados las mejoras presentadas en la Tabla 5-35.

Tabla 5-35. Quema de residuos agrícolas en el campo: mejoras planificadas para la categoría.

Descripción	Origen	Estado
Un punto crítico es la falta de información respecto al destino de los residuos agrícolas, especialmente los destinados a quema. Se espera trabajar de manera coordinada con entidades públicas (por ejemplo, CONAF) que recopilen datos nacionales respecto a autorización para quema de residuos agrícolas, a fin de obtener la superficie y cultivo quemado por región.	Interno	Planificado para el próximo ciclo de inventario.

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

5.8 Encalado (3.G)

5.8.1 Descripción y tendencia de los GEI 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 la cal al disolverse libera 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. Gracias al uso de la calcita y la dolomita, se logra aumentar el pH de los suelos y con ello, la productividad perdida. Con respecto a los datos de actividad, corresponde a información proporcionada por el sector privado sobre estimaciones de producción y venta, pudiendo con ello generar una estimación sobre la cantidad de calcita y dolomita utilizados para fines agrícolas.

La categoría *encalado* es la sexta categoría emisora de GEI del sector Agricultura, representando el 1,4 % de las emisiones de GEI del sector. En 2022, sus emisiones de GEI contabilizaron 134,4 kt CO₂ eq, incrementándose en un 60,7 % desde 1990 y disminuyendo en un 0,2 % desde 2020 (Tabla 5-36). 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. Junto con ello, ha existido un aumento constante del precio de cal, al igual que de fertilizantes, lo que reduce el uso en predios agropecuarios. Respecto a las subcategorías, *Caliza* representa el 61,0 % de la categoría en el año 2022 y *Dolomita* representa el 39,0 % (Figura 5-24).

Tabla 5-36. Encalado: emisiones de GEI por categoría (kt CO₂ eq).

Categoría	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022
3.G.1. Caliza	63,1	70,6	79,9	91,3	105,2	107,8	87,7	84,8	82,0
3.G.2. Dolomita	20,5	20,5	25,3	32,5	32,5	35,8	46,9	49,7	52,4
Total	83,6	91,2	105,2	123,7	137,7	143,6	134,6	134,4	134,4

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

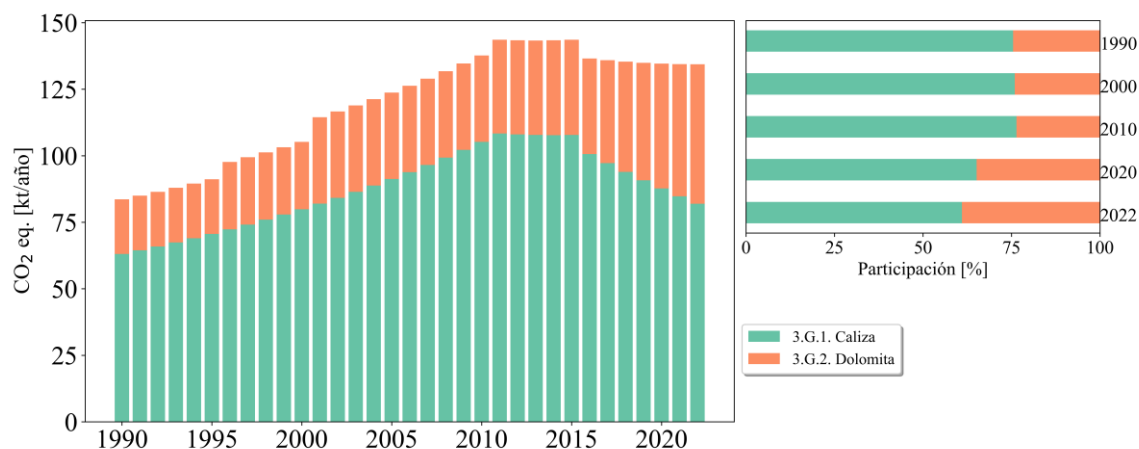


Figura 5-24 Encalado: emisiones de GEI por categoría (kt CO₂ eq), 1990-2022.

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

5.8.2 Aspectos metodológicos de la categoría

Para la estimación de las emisiones de GEI se aplicó un método Nivel 1 y se utilizaron FE por defecto, el cual se basó en las *Directrices del IPCC 2006*, ya que el *Refinamiento de 2019* no presentó cambios al respecto. Los datos de actividad fueron desagregados por regiones administrativas.

5.8.2.1 Datos de actividad de la categoría

Durante este proceso de inventario se actualizó información sobre consumo de cal y dolomita, obtenida por dictamen de experto sobre la producción nacional de la empresa privada SOPROCAL y datos de importación de ODEPA (datos de ADUANAS) para los años 2011 y 2016.

La desagregación de datos de Cal se realizó de acuerdo con la distribución porcentual de la superficie cultivada. De esta forma, los consumos regionales fueron estimados en función de la distribución relativa de la superficie cultivada regional sobre el total nacional (Tabla 5-37).

Tabla 5-37. Encalado: consumo nacional anual de cal (t) y dolomita (t), serie 1990-2022.

Año	Cal (t)	Dolomita (t)
1990	143.321	43.100
1991	146.483	43.100
1992	149.776	43.100
1993	153.207	43.100
1994	156.781	43.100
1995	160.503	43.100
1996	164.381	53.100
1997	168.420	53.100
1998	172.628	53.100
1999	177.010	53.100

Año	Cal (t)	Dolomita (t)
2000	181.576	53.100
2001	186.331	68.100
2002	191.285	68.100
2003	196.445	68.100
2004	201.821	68.100
2005	207.420	68.100
2006	213.252	68.100
2007	219.328	68.100
2008	225.657	68.100
2009	232.249	68.100
2010	239.116	68.100
2011	246.269	73.869
2012	245.482	74.168
2013	245.006	74.467
2014	244.853	74.766
2015	245.037	75.064
2016	228.701	75.363
2017	220.914	81.133
2018	213.427	86.902
2019	206.228	92.671
2020	199.306	98.440
2021	192.650	104.209
2022	186.250	109.979

Nota: El consumo total corresponde a producción nacional sumado a la importación
Fuente: SOPROCAL (datos producción nacional) y ODEPA (datos importación).

La desagregación regional del consumo de cal y dolomita se basó en el dictamen de expertos (investigadores INIA, Dres. Francisco Salazar y Marta Alfaro) aplicado para elaborar los inventarios anteriores (Tabla 5-38).

Tabla 5-38. Encalado: Distribución regional del consumo de caliza y dolomita, según dictamen experto.

Consumo (%)	Caliza	Dolomita
Región de Ñuble	5%	5%
Región de Biobío	5%	5%
Región de la Araucanía	30%	30%
Región de Los Ríos	30%	30%
Región de Los Lagos	30%	30%
Otras regiones	0%	0%

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

5.8.2.2 Factores de emisión aplicados en la categoría

Para calcular las emisiones de CO₂ provenientes del *encalado*, se utilizó el factor de emisión por defecto de 0,12 t C (t caliza)⁻¹ y 0,13 t C (t dolomita)⁻¹, según las *Directrices del IPCC 2006*, ya que el *Refinamiento de 2019* no presentó cambios al respecto.

5.8.3 Descripción de cualquier flexibilidad aplicada en la categoría

En la presente categoría no se aplicaron disposiciones de flexibilidad de las MPD.

5.8.4 Incertidumbre y coherencia de la serie temporal de la categoría

La incertidumbre para los datos de actividad corresponde a valores determinados por el equipo técnico de agricultura con base en las fuentes de los datos (Censo y Catastros Estadísticos) y su gestión (por ejemplo, la técnica de empalme utilizada) (Tabla 5-9, sección 5.2.4. de la categoría *fermentación entérica*).

En el caso de los factores de emisión para las emisiones de CO₂ para la categoría *encalado*, la incertidumbre corresponde a un valor por defecto procedente del Cuadro 2.A.2, Capítulo 11, Volumen 4 del *Refinamiento de 2019*.

En cuanto a la coherencia de la serie temporal, se construyó la serie de datos de actividad con la información entregada por SOPROCAL, los cuales se actualizaron para toda la serie temporal 1990-2022.

5.8.5 ACCV de la categoría

En la presente categoría se debe considerar mismo procedimiento de aseguramiento y control de calidad que para la categoría *fermentación entérica* (sección 5.2.5).

Verificación

Se actualizaron valores por dictamen de expertos de empresa privada SOPROCAL.

5.8.6 Nuevos cálculos

Justificaciones de los nuevos cálculos y mejoras

Se realizaron nuevos cálculos en la categoría debido, principalmente, a la aplicación por primera vez del *Refinamiento de 2019*. Sin embargo, el principal responsable de los cambios en las emisiones se debe a una actualización en los datos de actividad de consumo (datos de producción e importación) de cal y dolomita nacional.

En cuanto a las mejoras, se implementaron los siguientes cambios:

- *Datos de actividad*. Se actualizaron valores por dictamen de expertos de empresa privada SOPROCAL sobre producción de cal nacional.
- *Datos paramétricos*. En este inventario la empresa privada SOPROCAL actualizó información para la producción de cal y dolomita, incrementado el consumo de ambos. En el caso particular de la producción de dolomita, en los inventarios anteriores no se obtuvo información de producción, sólo había información de importación entregado por ODEPA sólo para 2 años 2011 y 2016; lo cual en el NIR 2024 cambió, al contar con información entregada por SOPROCAL, actualizando la serie temporal 1990-2022.
- *Factores de emisión*.
- *Cambio PCA de AR4 a AR5*.

Implicaciones para los niveles de emisión

En la Figura 5-25 se presentan las variaciones en las emisiones de GEI para el uso de Caliza, mientras que en la Figura 5-26 se presentan las emisiones asociadas al uso de Dolomita. En ambos casos, las emisiones de GEI fueron aumentadas en relación con el NIR 2020, donde la mayor implicancia se encuentra para el uso de Dolomita, donde para el NIR anterior se reportada una reducción en sus emisiones desde el año 2011 (asociado a una extrapolación con los últimos datos obtenidos), mientras que en el presente NIR 2024 se presenta un aumento sostenido en sus emisiones, debido a la actualización en los datos de actividad por parte de la empresa SOPROCAL.

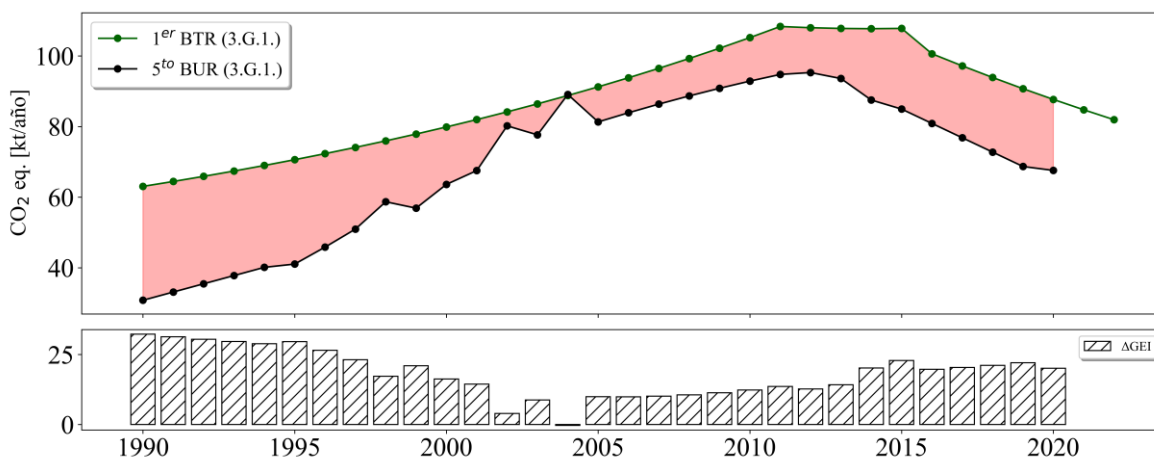


Figura 5-25. Encalado: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI 1er IBT (serie 1990-2022) e INGEI 5to IBA (serie 1990-2020) para uso de Caliza.

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI con base en NIR 2022 y NIR 2024.

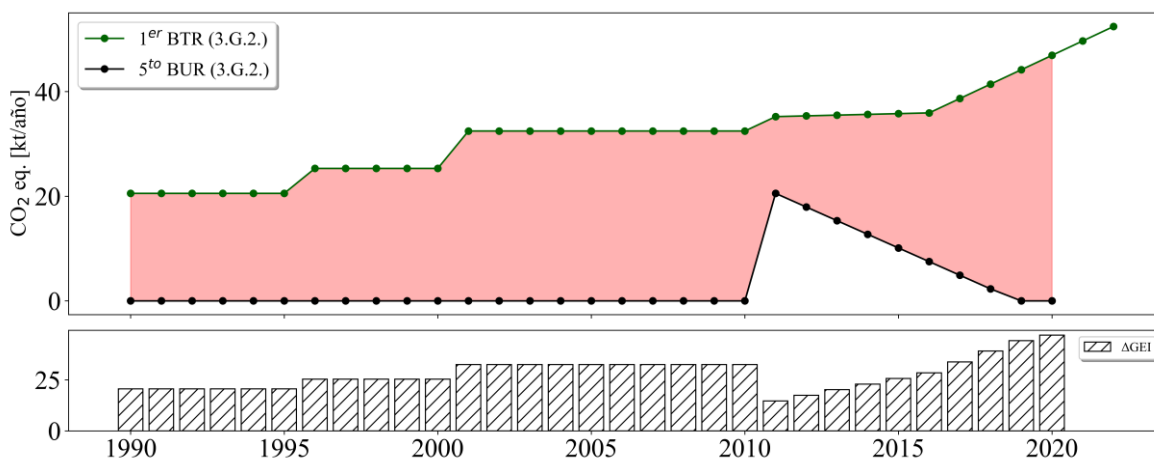


Figura 5-26. Encalado: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI 1er IBT (serie 1990-2022) e INGEI 5to IBA (serie 1990-2020) para uso de Dolomita.

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI con base en NIR 2022 y NIR 2024.

5.8.7 Mejoras planificadas para la categoría

En respuesta al análisis propio del Equipo Técnico de Agricultura y a las recomendaciones surgidas de los diferentes procesos de revisión por pares, análisis técnico y otras actividades de aseguramiento de la calidad (al cual ha sido sometido el NIR), se han identificado y priorizados las mejoras presentadas en la Tabla 5-39.

Tabla 5-39. Encalado: mejoras planificadas para la categoría.

Descripción	Origen	Estado
Pese a que el encalado no es una categoría principal, se reconoce la necesidad de contar con mejor información del consumo de cal y dolomita en suelos agrícolas, desagregado por región y tipo de cultivos. Esto dependerá de la información que pueda reportar ODEPA y la empresa privada.	Interno	Se mejoró información para el uso de Dolomita, la cual fue reportada por la empresa SOPROCAL (Germán Dasse, Gerente de Ventas). Sin embargo, es necesario formalizar la relación con la empresa y trabajar en la obtención de datos paramétricos en lugar de Juicio de Experto.

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

5.9 Aplicación de urea (CRT 3.H)

5.9.1 Descripción y tendencia de los GEI 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 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.

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.

La categoría *es* la cuarta categoría emisora de GEI del sector *Agricultura*, representando el 3,2 % de las emisiones de GEI del sector. En 2022, sus emisiones de GEI contabilizaron 291,2 kt CO₂ eq, incrementándose en un 68,7 % desde 1990, y disminuyendo en un 27,8 % desde 2020 (Tabla 5-40 y Figura 5-27). El principal causante de la tendencia y las variaciones interanuales es la variación en las importaciones, que tienen relación directa con el aumento del uso como de la variación del precio internacional.

Tabla 5-40. Aplicación de urea: emisiones de GEI (kt CO₂ eq).

Categoría	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022
3.H. Aplicación de urea	172,6	225,2	302,9	295,2	377,2	433,0	403,3	396,7	291,2

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

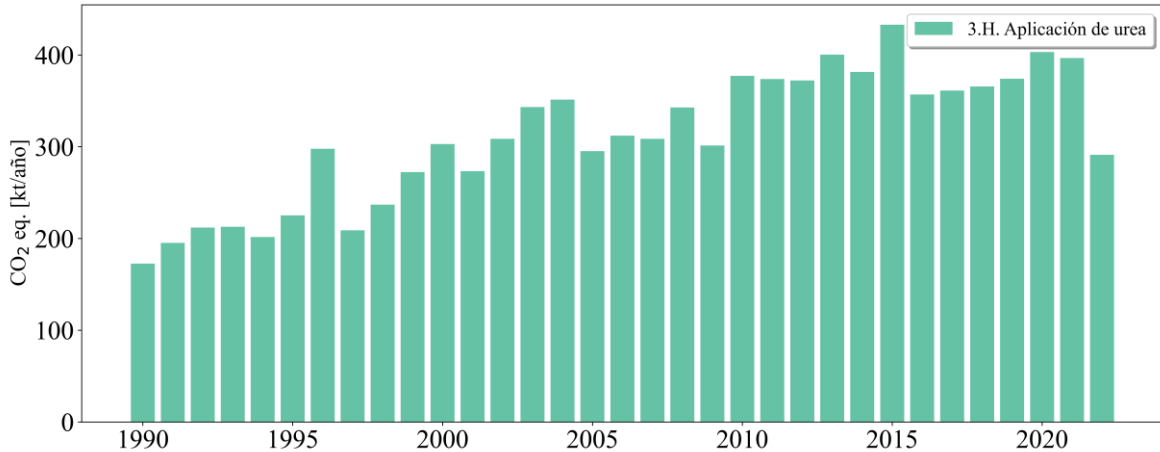


Figura 5-27 Aplicación de urea: emisiones de GEI (kt CO₂ eq), 1990-2022.

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

5.9.2 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. Este inventario está actualizado según el *Refinamiento de 2019*, el cual no presentó refinamiento respecto a las *Directrices del IPCC 2006* para esta categoría, utilizando para el cálculo la Ecuación 11.13, Capítulo 11, Volumen 4 de las *Directrices del IPCC de 2006*.

5.9.2.1 Datos de actividad de la categoría

La información recopilada para esta categoría fue el consumo anual de urea (t) nacional, 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 1990-2022) 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 el *Censo Agropecuario y Forestal 2021*. 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 de la distribución relativa de la superficie cultivada regional sobre el total nacional.

La categoría *aplicación de urea* no requiere de datos de actividad paramétricos adicionales, sólo los correspondientes a la distribución regional.

Tabla 5-41. Aplicación de urea: consumo nacional anual de urea (t), serie 1990-2022.

Año	Urea (t)
1990	235.404,49
1991	266.081,26
1992	288.921,71
1993	290.024,97
1994	274.920,03
1995	307.056,34
1996	406.070,79
1997	284.820,80
1998	323.026,69
1999	371.288,83
2000	413.006,21
2001	372.808,93
2002	420.777,32
2003	467.980,60
2004	479.083,72
2005	402.564,92
2006	425.532,04
2007	420.885,37
2008	467.415,35
2009	410.882,04
2010	514.394,76
2011	509.790,63
2012	507.630,89
2013	545.966,18
2014	520.197,56
2015	590.475,97
2016	486.751,67
2017	492.481,54
2018	498.689,91
2019	510.145,63
2020	549.897,30
2021	540.937,21
2022	397.027,78

Fuente: ODEPA y Servicio Nacional de Aduanas.

5.9.2.2 Factores de emisión aplicados en la categoría

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 2006*, el cual corresponde a 0,20 t C t⁻¹ urea para emisiones de carbono por aplicaciones de urea, dado que el *Refinamiento de 2019* no presentaron cambios en este ítem.

5.9.3 Descripción de cualquier flexibilidad aplicada en la categoría

En la presente categoría no se aplicaron disposiciones de flexibilidad de las MPD.

5.9.4 Incertidumbre y coherencia de la serie temporal de la categoría

La incertidumbre para los datos de actividad corresponde a valores determinados por el equipo técnico de agricultura con base en las fuentes de los datos (Censos y Catastros Estadísticos) y su gestión (por ejemplo, la técnica de empalme utilizada) (Tabla 5-9, sección 5.2.4. de la categoría *fermentación entérica*).

En el caso de los factores de emisión para las emisiones de CO₂ de la categoría *aplicación de urea*, la incertidumbre corresponde a un valor por defecto procedente del Capítulo 11, volumen 4 del *Refinamiento de 2019*.

En cuanto a la coherencia de la serie temporal, se construyó la serie de datos de actividad con la información entregada por ODEPA. Cabe destacar que esta institución ha sido la fuente de información en inventarios anteriores, asegurando la consistencia y comparabilidad de los datos a lo largo del tiempo.

5.9.5 ACCV de la categoría

En la presente categoría se debe considerar mismo procedimiento de aseguramiento y control de calidad que para la categoría *fermentación entérica* (sección 5.2.5).

Verificación

Sólo se actualizaron valores de consumo de urea entregados por ODEPA para los años 2021 y 2022.

5.9.6 Nuevos cálculos

Justificaciones de los nuevos cálculos y mejoras

No se realizaron nuevos cálculos en la categoría, sin embargo, se actualizó la información de los años 2020 y 2021. Además, para este inventario se contó con información del Censo Agropecuario 2021, permitiendo actualizar la información de superficie de cultivos, y así poder actualizar la desagregación regional para esta categoría.

Implicaciones para los niveles de emisión

En la Figura 5-28 se observa que no variaron las emisiones de GEI de esta subcategoría respecto al inventario anterior (NIR 2022), sólo diferencias despreciables en los valores finales de la serie.

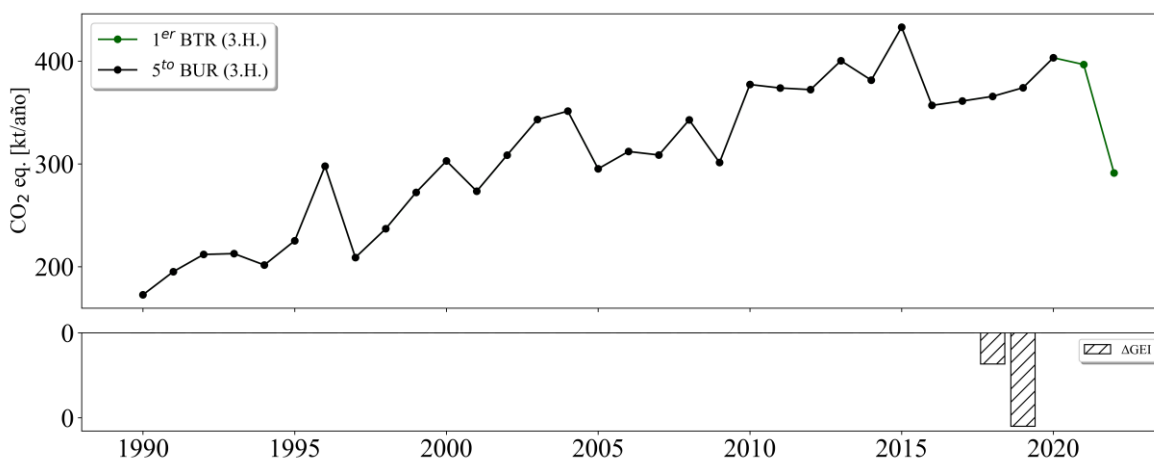


Figura 5-28. Aplicación de urea: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI 1er IBT (serie 1990-2022) e INGEI 5to IBA (serie 1990-2020)

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI con base en NIR 2022 y NIR 2024.

5.9.7 Mejoras planificadas para la categoría

En respuesta al análisis propio del Equipo Técnico de Agricultura y a las recomendaciones surgidas de los diferentes procesos de revisión por pares, análisis técnico y otras actividades de aseguramiento de la calidad (al cual ha sido sometido el NIR), se han identificado y priorizados las mejoras presentadas en la Tabla 5-42.

Tabla 5-42. Aplicación de urea: mejoras planificadas para la categoría.

Descripción	Origen	Estado
Actualmente, no se cuenta con información regional del uso de urea, por ende, contar con una distribución del consumo nacional de urea de manera regionalizada contribuiría a la mejora de esta categoría. El equipo técnico de agricultura está elaborando una propuesta para ser presentada a las entidades correspondientes para comenzar a recopilar la información a nivel regional.	Interno	Se espera seguir mejorando la recopilación de datos asociado al uso de urea a nivel nacional, con una mira a nivel regional, sin embargo, esto requiere esfuerzos públicos y privados. Se está tratando junto con ODEPA en un diseño que permita mejorar la recopilación de datos.

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

5.10 Otros fertilizantes que contienen carbono (3.I)

En el contexto nacional, esta categoría no ocurre.

5.11 Otros (especificar) (3.J)

En el contexto nacional, esta categoría no ocurre/no aplica.

5.12 Referencias

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.

Beltrán, I., van der Weerden, T.J., Alfaro, M.A., Amon, B., de Klein, C.A.M., Grace, P., Hafner, S., Hassouna, M., Hutchings, N., Krol, D.J., Leytem, A.B., Noble, A., Salazar, F., Thorman, R.E., [Velthofet, G.L.](#), 2021. DATAMAN: A global database of nitrous oxide and ammonia emission factors for excreta deposited by livestock and land-applied manure. *Journal of Environmental Quality* 50(2): 513-27.

Cárdenas, L.M., Hatch, D.J., Scholefield, D., Jhurrea, 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>

Consorcio lechero, 2022. Indicadores del sector lácteo: temporada 2021. Boletín Consorcio lechero, Chile.

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., 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.

Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), 2006. Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Instituto para las Estrategias Globales (IGES), Hayama, Japón.

Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Calvo Buendia, E., Tanabe, K., Kranjc, A., Baasansuren, J., Fukuda, M., Ngarize S., Osako, A., Pyrozhenko, Y., Shermanau, P. and Federici, S. (eds). Published: IPCC, Switzerland.

Hassouna, M., Van der Weerden, T.J., Beltrán, I., Amon, B., Alfaro, M.A., Anestis, V., [Cinar, G.](#), [Dragoni, F.](#), [Hutchings, N.J.](#), [Leytem, A.](#), [Maeda, K.](#), [Maragou, A.](#), [Misselbrook, T.](#), [Noble, A.](#), [Rychła, A.](#), [Salazar, F.](#), [Simon, P.](#), 2023. DATAMAN: A global database of methane, nitrous oxide, and ammonia emission factors for livestock housing and outdoor storage of manure. *Journal of Environmental Quality* 52, 207-223. <https://doi.org/10.1002/jeq2.20430>

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. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 238, 46-54. doi:10.1016/j.agee.2016.06.040

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.

Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA), 2013. Estudio: “Mercado de la carne y lana ovina en Chile”. Santiago, Chile.

Ortega, J., Valdés, A., Foster, W., Aguirre, R., 2020. Ciclo ganadero y oferta de carne bovina en Chile, 1980-2018: implicancias de política. Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA), Santiago, Chile.

Paredes, M., Becerra, V., 2015. Manual de producción de arroz: buenas prácticas agrícolas. Boletín INIA N° 306. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Santiago, Chile.

Rojas, C., 2019. Comportamiento y caracterización de la producción de ganado bovino en Chile. Instituto Nacional de Estadísticas (INE), 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., Misselbrook, T., 2014. Ammonia emission from a permanent grassland on volcanic soil after the treatment with dairy slurry and urea. *Atmospheric Environment* 95, 591-597.

van der Weerden, T.J., Noble, A., de Klein, C.A.M., Hutchings, N., Thorman, R.E., Alfaro, M.A., [Amon, B.](#), [Beltran, I.](#), [Grace, P.](#), [Hassouna, M.](#), [Krol, D.J.](#), [Leytem, A.B.](#), [Salazar, F.](#), [Velthof, G.L.](#), <https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/jeq2.20259>2021. Ammonia and nitrous oxide emission factors for excreta deposited by livestock and land-applied manure. *Journal of Environmental Quality* 50(5): 1005-23.

Vistoso, E., Alfaro, M., Saggari, S., Salazar, F., 2012. Effect of nitrogen inhibitors on nitrous oxide emissions and pasture growth after an autumn application in volcanic soil. *Chilean Journal of Agricultural Research* 72(1), 133-139.

6 Sector Uso de la tierra, cambio en el uso de la tierra y silvicultura

6.1 Panorama general

6.1.1 Descripción del sector

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 6-1):

- Biomasa (aérea y subterránea),
- Materia orgánica muerta (Madera muerta y hojarasca),
- Materia orgánica del suelo y
- Productos de la madera recolectada (4.G),

No se cuenta con información para cuantificar la superficie de suelos orgánicos presentes en el país, por esta razón hasta la fecha se considera las estimaciones de suelos minerales y el avance de la detección de suelos orgánicos forma parte del plan de mejoramiento del inventario sectorial.

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, quemas y mineralización asociada a pérdidas de materia orgánica del suelo por cambio de usos de la tierra.

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 6-1. 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* y definiciones del Inventario Forestal Nacional (IFN) de INFOR

En el caso nacional, el territorio continental alcanza una superficie de 75,5 millones de hectáreas, y de acuerdo con la clasificación de los usos de la tierra de las *Directrices del IPCC de 2006*, los usos se distribuyen de manera decreciente en: *Pastizales* (38 %), *Otras tierras* (28 %), *Tierras forestales* (24 %), *Tierras de cultivo* (6 %), *Humedales* (3 %), y los *Asentamientos* con un 1 % de la superficie total, pero con una tendencia creciente en la serie temporal (CONAF, 2023).

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 los GEI del sector

En la Tabla 6-2 se presentan las emisiones y absorciones del sector *UTCUTS* para el año 2022.

Tabla 6-2. Sector UTCUTS: emisiones y absorciones por GEI, categoría y subcategoría (kt) para 2022

Código	Categorías de fuente y sumidero de GEI	CO ₂ neto (kt)	CH ₄ (kt)	N ₂ O (kt)	NO _x (kt)	CO (kt)	COVDM (kt)	Total de GEI (kt CO ₂ eq)
4.	Uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura	-57.463,1	16,4	1,2	11,9	382,8	-	-56.678,8
4.A.	Tierras forestales	-53.852,2	15,0	0,8	9,6	342,4	-	-53.210,5
4.A.1.	Tierras forestales que permanecen como tales	-41.497,5	15,0	0,8	9,6	342,4	-	-40.855,9
4.A.2.	Tierras convertidas en tierras forestales	-12.354,6	-	-	-	-	-	-12.354,6
4.A.2.a.	Tierras de cultivo convertidas en tierras forestales	-5.145,8	-	-	-	-	-	-5.145,8
4.A.2.b.	Pastizales convertidos en tierras forestales	-7.131,1	-	-	-	-	-	-7.131,1
4.A.2.c.	Humedales convertidos en tierras forestales	-13,0	-	-	-	-	-	-13,0
4.A.2.d.	Asentamientos convertidos en tierras forestales	-0,4	-	-	-	-	-	-0,4
4.A.2.e.	Otras tierras convertidas en tierras forestales	-64,5	-	-	-	-	-	-64,5
4.B.	Tierras de cultivo	797,5	0,2	0,2	0,1	5,1	-	859,3
4.B.1.	Tierras de cultivo que permanecen como tales	-443,8	0,2	0,0	0,1	5,1	-	-438,6
4.B.2.	Tierras convertidas en tierras de cultivo	1.241,4	-	0,2	-	-	-	1.297,9
4.B.2.a.	Tierras forestales convertidas en tierras de cultivo	639,6	-	0,1	-	-	-	653,0
4.B.2.b.	Pastizales convertidos en tierras de cultivo	607,4	-	0,2	-	-	-	650,2
4.B.2.c.	Humedales convertidos en tierras de cultivo	4,3	-	0,0	-	-	-	4,7
4.B.2.d.	Asentamientos convertidos en tierras de cultivo	0,1	-	-	-	-	-	0,1
4.B.2.e.	Otras tierras convertidas en tierras de cultivo	-10,1	-	-	-	-	-	-10,1
4.C.	Pastizales	612,1	1,2	0,1	2,1	35,2	-	677,1
4.C.1.	Pastizales que permanecen como tales	-	1,2	0,1	2,1	35,2	-	65,1
4.C.2.	Tierras convertidas en pastizales	612,1	-	-	-	-	-	612,1
4.C.2.a.	Tierras forestales convertidas en pastizales	1.023,2	-	-	-	-	-	1.023,2
4.C.2.b.	Tierras de cultivo convertidas en pastizales	-370,6	-	-	-	-	-	-370,6
4.C.2.c.	Humedales convertidos en pastizales	-	-	-	-	-	-	-
4.C.2.d.	Asentamientos convertidos en pastizales	-	-	-	-	-	-	-
4.C.2.e.	Otras tierras convertidas en pastizales	-40,5	-	-	-	-	-	-40,5
4.D.	Humedales	11,8	-	-	-	-	-	11,8
4.D.1.	Humedales que permanecen como tales	-	-	-	-	-	-	-
4.D.2.	Tierras convertidas en humedales	11,8	-	-	-	-	-	11,8
4.D.2.a.	Tierras forestales convertidas en humedales	11,6	-	-	-	-	-	11,6
4.D.2.b.	Tierras de cultivo convertidas en humedales	0,1	-	-	-	-	-	0,1
4.D.2.c.	Pastizales convertidos en humedales	0,2	-	-	-	-	-	0,2
4.D.2.d.	Asentamientos convertidos en humedales	0,0	-	-	-	-	-	0,0
4.D.2.e.	Otras tierras convertidas en humedales	-	-	-	-	-	-	-
4.E.	Asentamientos	635,8	-	0,1	-	-	-	651,6
4.E.1.	Asentamientos que permanecen como tales	-	-	-	-	-	-	-
4.E.2.	Tierras convertidas en asentamientos	635,8	-	0,1	-	-	-	651,6
4.E.2.a.	Tierras forestales convertidas en asentamientos	417,3	-	0,0	-	-	-	420,1
4.E.2.b.	Tierras de cultivo convertidas en asentamientos	96,0	-	0,0	-	-	-	101,6
4.E.2.c.	Pastizales convertidos en asentamientos	121,1	-	0,0	-	-	-	128,6

Código	Categorías de fuente y sumidero de GEI	CO ₂ neto (kt)	CH ₄ (kt)	N ₂ O (kt)	NO _x (kt)	CO (kt)	COVDM (kt)	Total de GEI (kt CO ₂ eq)
4.E.2.d.	Humedales convertidos en asentamientos	1,3	-	0,0	-	-	-	1,4
4.E.2.e.	Otras tierras convertidas en asentamientos	-	-	-	-	-	-	-
4.F.	Otras tierras	-	-	-	-	-	-	-
4.F.1.	Otras tierras que permanecen como tales	-	-	-	-	-	-	-
4.F.2.	Tierras convertidas en otras tierras	-	-	-	-	-	-	-
4.F.2.a.	Tierras forestales convertidas en otras tierras	-	-	-	-	-	-	-
4.F.2.b.	Tierras de cultivo convertidas en otras tierras	-	-	-	-	-	-	-
4.F.2.c.	Pastizales convertidos en otras tierras	-	-	-	-	-	-	-
4.F.2.d.	Humedales convertidos en otras tierras	-	-	-	-	-	-	-
4.F.2.e.	Asentamientos convertidos en otras tierras	-	-	-	-	-	-	-
4.G.	Productos de madera recolectada	-5.668,1	-	-	-	-	-	-5.668,1
4.H.	Otros (especificar)	-	-	-	-	-	-	-
Elementos informativos								
	Emisiones y absorciones posteriores de las perturbaciones naturales en tierras gestionadas							

Nota: NA = no aplica; NE = no estimado; NO = no ocurre; IE = incluido en otro lugar; C = confidencial.

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI, Con base en hoja Table4 del CRT.

En 2022, el balance de GEI del sector UTCUTS contabilizó -56.678,8 kt CO₂ eq, disminuyendo su condición de sumidero en un 31,6 % desde 1990 y aumentándola en un 3,8 % desde 2020 (Tabla 6-3 y Figura 6-1). Las categorías de *Tierras forestales* y los *Productos de madera recolectada* se mantienen como las más importantes del sector. Las *Tierras forestales* han disminuido su condición de sumidero desde 1990, lo que se explica principalmente por una disminución de conversión de tierras a tierras forestales y un aumento en los incendios forestales. Y desde el 2020 ha aumentado levemente su condición de sumidero debido a una disminución del consumo de trozas que se produce en el 2022. En el caso de los *Productos de madera recolectada*, estos han aumentado su contribución en la serie temporal desde 1990, con el aumento de la producción de productos de madera aserrada y tableros, y se ven afectados en su contribución cuando disminuye la producción de estos productos, un ejemplo de esto es el impacto en el mercado en el año 2009.

Tabla 6-3. Sector UTCUTS: balance de GEI por categoría (kt CO₂ eq)

Categoría	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022
4.A. Tierras forestales	-85.128,9	-76.086,6	-78.312,7	-66.516,3	-65.389,3	-45.677,4	-50.868,9	-57.986,2	-53.210,5
4.B. Tierras de cultivo	321,4	594,9	851,1	1.048,9	1.383,1	995,9	944,2	1.015,2	859,3
4.C. Pastizales	4.462,0	4.306,5	4.149,6	4.026,4	3.892,8	2.293,3	595,6	600,3	677,1
4.D. Humedales	32,9	32,9	32,9	32,9	32,9	13,7	11,8	11,8	11,8
4.E. Asentamientos	331,1	406,6	482,0	557,4	617,7	419,9	619,2	661,0	651,6
4.F. Otras tierras	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
4.G. Productos de madera	-2.903,9	-3.538,8	-4.902,3	-7.256,4	-5.631,0	-6.857,5	-5.882,1	-6.702,2	-5.668,1
Balance	-82.885,5	-74.284,5	-77.699,6	-68.107,2	-65.093,9	-48.812,1	-54.580,2	-62.400,0	-56.678,8

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI, con base en hoja **Table10s1** del CRT.

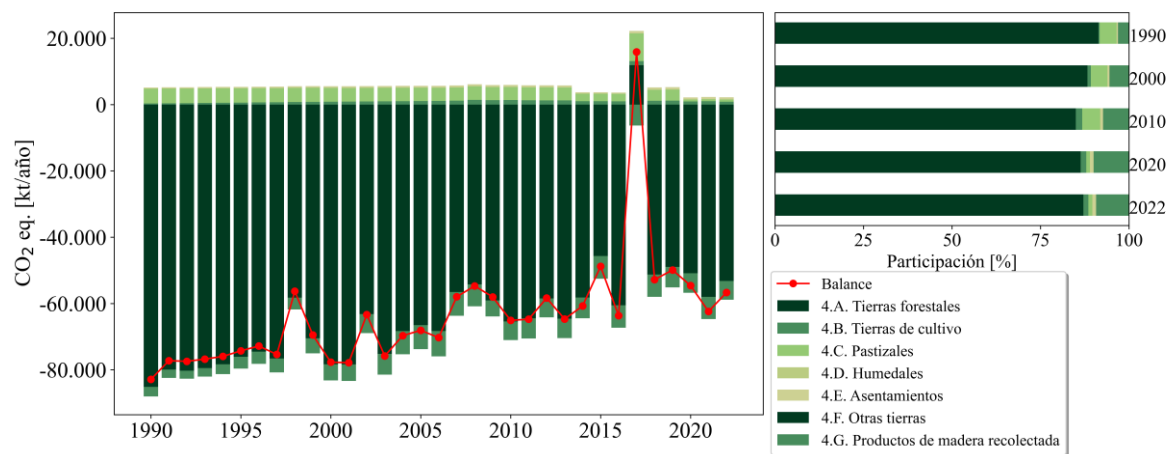


Figura 6-1. Sector UTCUTS: balance de GEI por categoría o subcategoría (kt CO₂ eq), 1990-2022

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

El resto de las categorías de usos de la tierra explican sus emisiones principalmente por los cambios de usos de la tierra que se producen durante la serie temporal. Las emisiones de las *Tierras de cultivo* están asociadas principalmente a la conversión de *Tierras forestales* y *Pastizales*. Los *Pastizales* presentan emisiones debido principalmente a la conversión de *Tierras forestales* las que, si bien han disminuido durante la serie temporal, presentan un aumento entre los años 2017 y 2019, destacándose el 2017 con una mayor conversión de *Tierras Forestales* hacia *Pastizales*. En el caso de *Asentamientos*, las emisiones se asocian a la conversión de *Tierras Forestales*, *Tierras de Cultivo* y *Pastizales*, lo que se relaciona directamente con el crecimiento poblacional y por ende al aumento de los asentamientos urbanos del país, sin embargo, es importante destacar además un incremento de estas conversiones desde el año 2018 a la fecha.

El sector UTCUTS se ve afectado en la serie temporal por el aumento en la frecuencia de incendios, impactando principalmente a las Tierras forestales y aumentando las emisiones de gases de efecto invernadero en los años que se producen. Ejemplo de ello es el significativo aumento de emisiones de GEI en 1998, 2002, 2008, 2015, 2017, 2019, 2020 y 2022 (Figura 6-2).

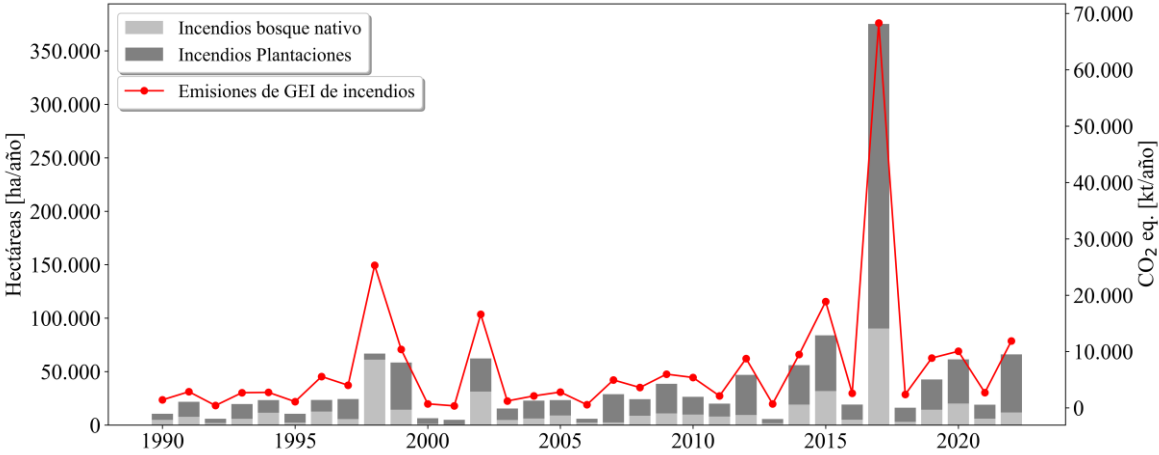


Figura 6-2. Emisiones y superficie afectada por incendios en tierras forestales
Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

En el caso de los depósitos de carbono, en 2022, el depósito de carbono de la biomasa tuvo una participación en las emisiones y absorciones del sector UTCUTS de un 86,8 %, seguido por los productos de madera recolectada con un 9,7 %, y la materia orgánica muerta tuvo una participación de 1,4 % (Figura 6-3). La biomasa y los productos de madera recolectada son los depósitos de carbono que contribuyen a las absorciones netas en toda la serie temporal. En el caso del carbono del suelo, la contabilidad se realiza en las conversiones de tierra, y hay una tendencia decreciente de la absorción neta desde el año 1990, debido a que van disminuyendo las conversiones de tierras a tierras forestales y aumentan las conversiones a tierras de cultivo y asentamientos, con las consiguientes pérdidas de carbono del suelo asociado a estas conversiones. Las emisiones no-CO2 alcanzan mayores emisiones en los años donde los incendios forestales han tenido mayor importancia.

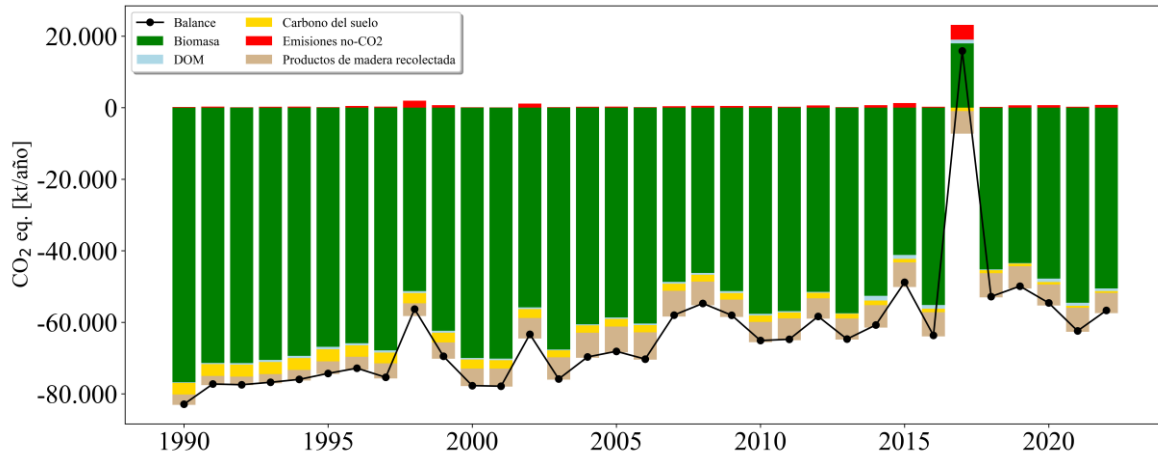


Figura 6-3. Sector UTCUTS: emisiones y absorciones por depósito de carbono (kt CO₂ eq), 1990-2022
Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

En 2022, el principal GEI de las emisiones y absorciones en términos absolutos fue el CO₂, representando un 98,6 % del sector. Lo sigue el CH₄ con un 0,8 % y el N₂O con un 0,6 % (Tabla 6-4 y Figura 6-4). Las emisiones de CO₂ han disminuido en 30,8 % desde 1990, mientras que el CH₄ ha aumentado en 2,8% y el N₂O ha aumentado en 355,3 %, asociado principalmente a las conversiones de tierras a tierras de cultivo, además las emisiones de CH₄ y N₂O se asocian a los incendios.

Tabla 6-4. Sector UTCUTS: balance por cada GEI (kt CO₂ eq)

GEI	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022
CO ₂	-83.077,8	-77.836,1	-65.567,0	-64.849,2	-63.953,0	-53.058,1	-55.311,2	-62.667,6	-57.463,1
CH ₄	121,2	51,8	240,3	39,4	132,6	109,4	422,2	123,4	460,3
N ₂ O	71,2	84,8	232,8	124,1	163,0	146,6	308,8	144,1	324,0
Balance	-82.885,5	-77.699,6	-65.093,9	-64.685,7	-63.657,3	-52.802,0	-54.580,2	-62.400,0	-56.678,8

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

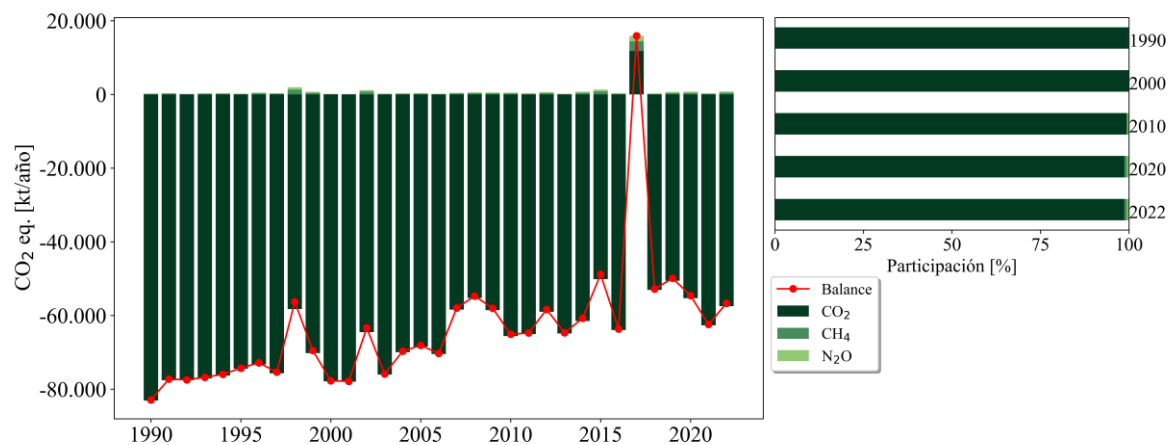


Figura 6-4. Sector UTCUTS: emisiones y absorciones por gases de efecto invernadero (kt CO₂ eq), 1990-2022
Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

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 y los productos de madera recolectados. Ambos métodos de acuerdo con las Directrices del IPCC de 2006 (Tabla 6-5).

Tabla 6-5. Sector UTCUTS: métodos aplicados

Código IPCC	Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero	CO2		CH4		N2O	
		Nivel metodológico	Factor de emisión	Nivel metodológico	Factor de emisión	Nivel metodológico	Factor de emisión
4.	Uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura	T1, T2	CS, D	T1, T2	CS, D	T1, T2	CS, D
4.A.	Tierras forestales	T1, T2	CS, D				
4.A.1.	Tierras forestales que permanecen como tales	T1, T2	CS, D	T1, T2	CS, D	T1, T2	CS, D
4.A.2.	Tierras convertidas en tierras forestales	T1, T2	CS, D	-	-	-	-
4.B.	Tierras de cultivo	T1, T2	D	T1	D	T1	D
4.B.1.	Tierras de cultivo que permanecen como tales	T1, T2	D	T1	D	T1	D
4.B.2.	Tierras convertidas en tierras de cultivo	T1, T2	CS, D				
4.C.	Pastizales	T1, T2	CS, D				
4.C.1.	Pastizales que permanecen como tales	T1	D	T1	D	T1	D
4.C.2.	Tierras convertidas en pastizales	T1, T2	CS, D	T1, T2	D, CS	T1, T2	D, CS
4.D.	Humedales	T1, T2	CS, D	-		-	
4.D.1.	Humedales que permanecen como tales	NE	NE				
4.D.2.	Tierras convertidas en humedales	T1, T2	CS, D	-		-	
4.E.	Asentamientos	T1, T2	CS, D	-		-	
4.E.1.	Asentamientos que permanecen como tales						
4.E.2.	Tierras convertidas en asentamientos	T1, T2	CS, D	-		-	
4.F.	Otras tierras			T1, T2	D, CS	T1, T2	D, CS
4.F.1.	Otras tierras que permanecen como tales	NA	NA	T1, T2	D, CS	T1, T2	D, CS
4.F.2.	Tierras convertidas en otras tierras	NA	NA	-	-	-	-
4.G.	Productos de madera recolectada	T1, T2	D	-		-	
4.H.	Otros (sírvese 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 UTCUTS del MINAGRI

La información de datos de actividad proviene principalmente de estadísticas e información nacional y las principales fuentes de detallan en la Tabla 6-6.

Tabla 6-6. Sector UTCUTS: Principales fuentes de datos de actividad

Categoría	Subcategoría	Datos de actividad y fuente
4. UTCUTS	Representación de tierras	Usos y cambios de usos de la tierra, CONAF
4. UTCUTS	Tierras que permanecen como tal	Estadísticas de incendios, CONAF
4.A Tierras forestales	Tierras forestales que permanecen como tal	Cobertura de renovales, Catastro de Recursos Vegetacionales Nativos, CONAF
4.A Tierras forestales	Tierras forestales que permanecen como tal	Cobertura de áreas silvestres protegidas. IDE Chile por el Ministerio de Bienes Nacionales (2021)
4.A Tierras forestales	Tierras forestales que permanecen como tal y Tierras convertidas a tierras forestales	Superficie de plantaciones forestales en pie, INFOR
4.A Tierras forestales	Tierras forestales que permanecen como tal	Superficie de bosque nativo con planes de manejo, CONAF
4.A Tierras forestales	Tierras forestales que permanecen como tal	Consumo de leña, INFOR
4.A Tierras forestales	Tierras forestales que permanecen como tal	Consumo de trozas industriales, Estadísticas Forestales de INFOR
4. B Tierras de Cultivo	Tierras de Cultivo que permanecen como tal	Superficie de cultivos perennes, Censos y ODEPA, información actualizada por Equipo Sectorial Agricultura
4. G Productos de Madera recolectada		Productos de madera y papel, Estadísticas Forestales de INFOR

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

Para los factores de emisión, la información para estimar tierras forestales tanto de crecimiento, stock y materia orgánica muerta del bosque nativo proviene del Inventario Forestal Nacional (IFN) de INFOR, mientras que el crecimiento y stock de plantaciones proviene de la información proporcionada por empresas forestales e INFOR, la información de materia orgánica muerta y hojarasca de plantaciones proviene de publicaciones científicas. Para las otras categorías de usos de la tierra, se utilizan factores de emisión por defecto de las *Directrices del IPCC de 2006* y del *Refinamiento 2019 de las Directrices del IPCC de 2006*. Esta información se detalla en los aspectos metodológicos de las categorías.

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* y el *Refinamiento 2019 de las Directrices del IPCC de 2006*.

6.2 Definiciones de uso de la tierra

Las categorías definidas por CONAF en el país para los diferentes usos de la tierra provienen del *Catastro de los Recursos Vegetacionales Nativos de Chile* y estas definiciones 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 6-7. 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 y Cambio Climático 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 acceso público.

Tabla 6-7. Sector UTCUTS: homologación cambios de uso de la tierra entre las categorías de IPCC y CONAF

Categoría IPCC (2006)	Categoría Catastro - CONAF
Tierras Forestales (TF)	Bosque nativo, plantaciones forestales, bosque mixto
Tierras de cultivo (TC)	Terrenos agrícolas
Pastizales (PA)	Praderas y matorrales (Matorral Arborescente)
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». 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 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, instalaciones industriales o extracciones mineras.
- *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.

6.3 Métodos específicos del país

6.3.1 Métodos utilizados para la representación de las tierras

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, entre otros. Para el sector 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 6-8 y Anexo 11.5.1). La Figura 6-5 muestra la distribución de los tipos forestales en el país.

Tabla 6-8. Sector UTCUTS: Tipos forestales y estados de desarrollo de bosque nativo

Tipo Forestal	Estados de desarrollo
Alerce	Renoval
Ciprés de la Guaitecas	Adulto/renoval
Araucaria	Adulto
Ciprés de la Cordillera	Achaparrado
Palma chilena	
Lenga	
Coihue de Magallanes	
Roble-Hualo	
Roble-Raulí-Coihue	
Coihue-Raulí-Tepa	
Esclerófilo	
Siempreverde	

Fuente: Equipo Técnico de CONAF

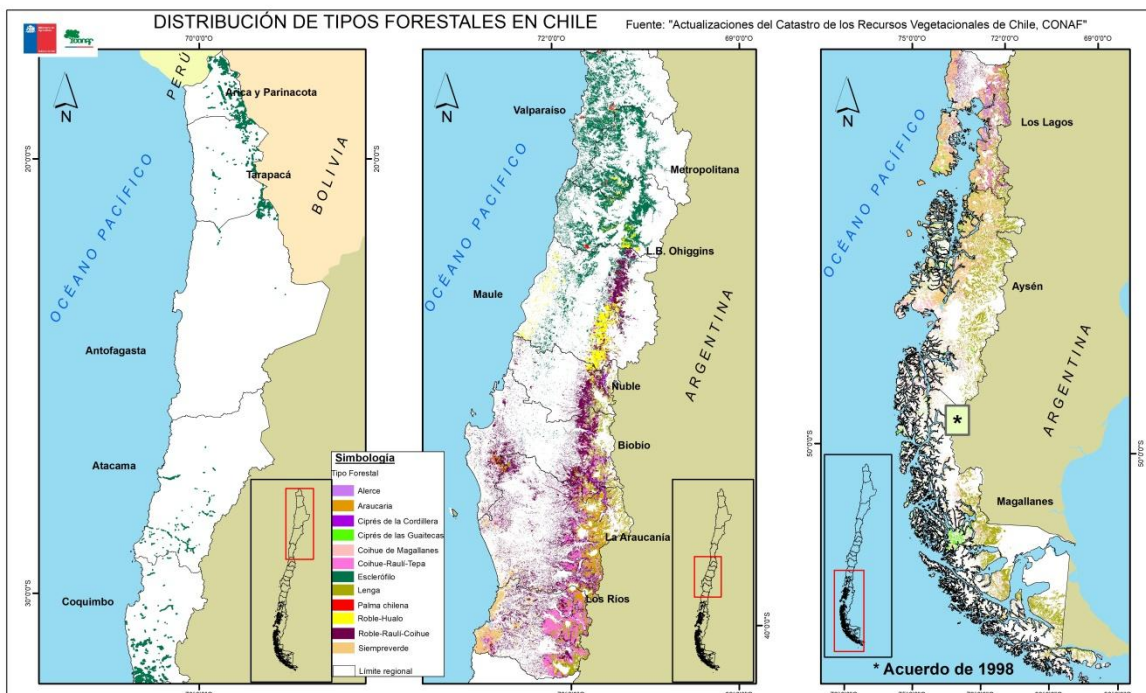


Figura 6-5. Sector UTCUTS: Tipos forestales y su distribución en el territorio nacional

Fuente: Equipo Técnico de CONAF, 2024

Además, a partir del Catastro 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 la 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 todas las regiones, salvo para la descripción del uso Bosque que es de acuerdo con la definición legal (Ley Nº 20.283, Art.2°), es decir la resolución llega hasta una superficie de por lo menos 0,5 hectáreas. En áreas especiales 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 cartografiable es de una (1) hectárea. La proyección cartográfica utilizada para la generación de las coberturas corresponde a UTM, huso 18 o 19 Sur según corresponda, con datum WGS 84. En el caso del territorio insular, Isla de Pascua considera huso 12 Sur y Archipiélago Juan Fernández el huso 17 Sur. Para el caso del territorio Antártico chileno, este abarca desde el huso 16 al 21 UTM Sur.

Para la detección de cambios de usos de la tierra, se aplica el método 3 que es espacialmente explícito. El país ha avanzado para cumplir con requerimientos de periodicidad más frecuentes, por lo que 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 programa "Sistema Integrado de Monitoreo de Ecosistemas Forestales- SIMEF"⁸⁷, fue la vía para dar inicio con la investigación y aplicación 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.

⁸⁷ Plataforma oficial <https://simef.minagri.gob.cl/>

Con la adaptación y desarrollo del método en el país ha sido posible actualizar los usos y cambios de usos de la tierra cada dos años, permitiendo estandarizar los periodos de actualización para todas las regiones. Esto se ha logrado construyendo, para cada región, un mapa base de usos de la tierra en función de la información cartográfica contenida en el Catastro de Recursos Vegetacionales, el cual se actualiza periódicamente con los cambios detectados de forma bienal por el método *MIICA*. El mapa resultante, contiene la información de cada actualización, por tanto, es posible hacer el seguimiento histórico de cada polígono de un mapa. Hasta la fecha, el método se ha ejecutado para todas las regiones del país, exceptuando la región de Antofagasta, la que 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 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 cinco etapas que se detallan a continuación:

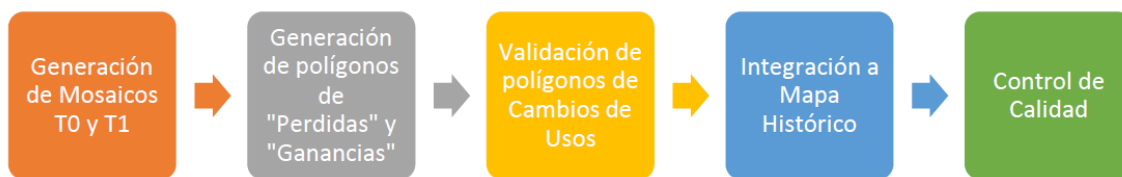


Figura 6-6. Representación de tierras: Resumen de etapas metodológicas

Fuente: Equipo Técnico de CONAF, 2024

Etapas 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 utilizado para la creación de los mosaicos se focaliza en 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.

Esta etapa considera la utilización de la división político-administrativa de Chile proporcionada por ODEPA a partir de coberturas generadas por la Dirección de Fronteras y Límites (DIFROL), por la Subsecretaría de Desarrollo Regional (SUBDERE) y por el Instituto Nacional de Estadísticas (INE), en formato shape, en sistema de proyección cartográfico UTM, representado en geometría de polígono. Esta cobertura (actualización 2019) se encuentra disponible para ser descargada en el sitio de la Infraestructura de Datos Espaciales del Ministerio de Agricultura (IDE MINAGRI)⁸⁸

Etapas 2: Generación de polígonos de “Pérdidas” y “Ganancias”

El propósito de esta etapa es la obtención de coberturas ráster 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 (differenced Normalized Burn Ratio), dNDVI (differenced Normalized Difference Vegetation Index), CV (Change Vector), RCVmax (Relative Change Vector Maximum). De los 4 índices utilizados, dNBR y dNDVI son los más eficientes para la detección de cambios en vegetación nativa, por tanto, son los que se utilizan para la creación de los polígonos de pérdidas y ganancias, siguiendo una serie de reglas las cuales permiten detectar de mejor manera el cambio en la vegetación, en función de la realidad vegetal chilena.

Etapas 3: Validación de polígonos de Cambios de Usos

El objetivo principal de esta etapa es revisar y analizar visualmente los polígonos de potenciales pérdidas y ganancias obtenidos en el paso anterior, para determinar si corresponden a cambios reales de usos de la tierra o no. Para ello, a través de la plataforma Google Earth se evalúan los polígonos según el catálogo temporal de imágenes satelitales disponibles según periodos. Si no existe un cambio de uso de la tierra, el polígono es descartado, y si es efectivo el cambio se registra el uso de la tierra de destino mediante un Sistema de Información Geográfico (SIG) de preferencia, utilizando el identificador (ID) del polígono (para ello es muy importante tener conocimiento del territorio evaluado y el conocimiento de las categorías de usos de la tierra). Además, se rectifica la geometría del polígono mediante la fotointerpretación de la imagen satelital utilizada para mejorar la representatividad del cambio de uso de la tierra. En esta etapa, el 100% de los polígonos de pérdidas y de ganancias es revisado corregido geoméricamente y atribuido según el uso de la tierra correspondiente. Cabe señalar que es la etapa que toma la mayor cantidad de tiempo y que requiere de una alta experiencia y conocimiento del fotointerpretador.

A continuación, en las siguientes figuras se muestran ejemplos de cambios en bosque nativo realizados con el método MIICA.

⁸⁸ <https://ide.minagri.gob.cl/geoweb/2019/11/20/limites/>



Figura 6-7. Sector UTCUTS: Cambio de bosque nativo a asentamientos, período 2018 – 2022 en la región del Biobío

Fuente: Equipo Técnico de CONAF

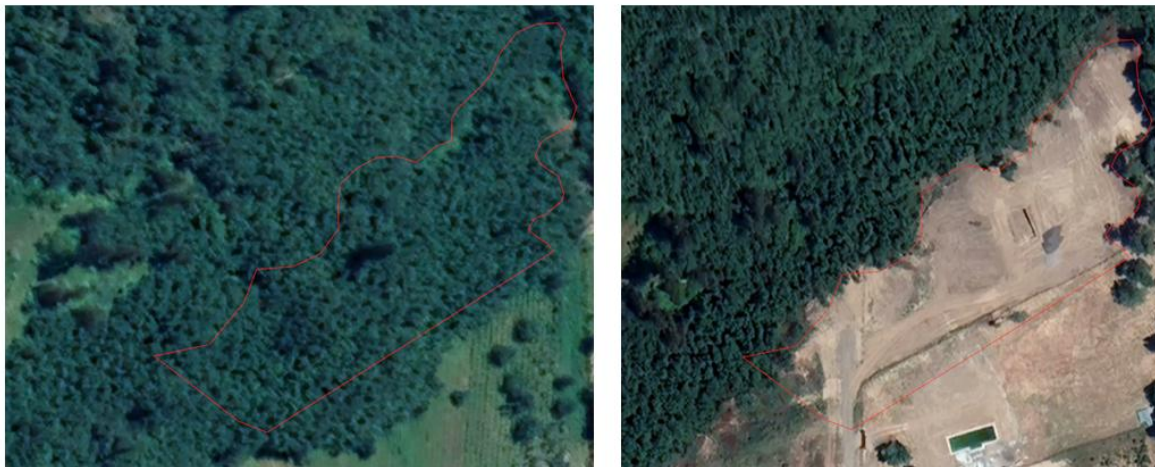


Figura 6-8. Sector UTCUTS: Cambio de bosque nativo a tierras de cultivo, período 2018 – 2022 en la región de Ñuble

Fuente: Equipo Técnico de CONAF

Etapa 4: Integración a Mapa Histórico

Esta etapa considera la integración geométrica y alfanumérica de los cambios de uso de la tierra al mapa que tiene la última actualización disponible o Mapa Histórico. El objetivo de este paso es integrar a la cobertura vectorial del Mapa Histórico, la geometría de los elementos espaciales identificados como cambios (obtenidos en etapa anterior), subdividiendo y modificando la geometría original de los polígonos donde fueron identificados los cambios, manteniendo la coherencia espacial entre estos. Posteriormente, se trabaja con la base de datos del Mapa Histórico, donde se modifica de acuerdo con la información del polígono de cambio detectado, manteniendo la trazabilidad histórica de cada polígono, siendo posible hacer el seguimiento de su historial de cambio a lo largo de las actualizaciones de los mapas. Esto permite saber el uso de origen del polígono de cambio, y el tipo de cambio ocurrido en los diferentes periodos de actualización, permitiendo la trazabilidad histórica del uso de cada polígono.

Etapa 5: Control de Calidad

Una vez integrados los mapas geométrica y alfanuméricamente con los polígonos de cambio, estos pasan por un proceso de revisión de geometría, topología y de base de datos.

El proceso de revisión geométrico y topológico consiste en verificar que no existan polígonos multipartes y así poder identificar cada polígono con un ID único. Ningún polígono debe ser menor a 0,27 ha, ya que esta es la unidad mínima cartografiada, aunque la excepción a esta regla son las islas o islotes presentes en la cobertura de límites administrativos de ODEPA. Además, los mapas no deben presentar solapamientos entre polígonos ni espacios entre ellos (a excepción de las islas o islotes).

Por otra parte, la revisión a nivel de base de datos se realiza mediante un algoritmo que revisa que no existan incongruencias en los campos de la base de datos como diferencias entre códigos y descriptores, y tipos de cambios identificados con los usos entre un periodo y otro de actualización. Para esto se usa una guía de códigos y descriptores única y estandarizada, que compila toda la información de usos y cambio de usos de la tierra, la cual es aplicable a cualquier región del país.

Para la elaboración del Inventario serie temporal 1990-2022, se utilizó la cobertura de "trazabilidad" o Mapa Histórico (MH) del Programa SIMEF como insumo principal para actualizar la serie temporal. Este insumo corresponde a una cobertura vectorial en formato Geodatabase que contiene información histórica de los cambios de usos de la tierra ocurridos a partir del año 2001, así cada polígono evidencia y registra la trazabilidad de los usos de la tierra, el que toma como base el Catastro de Recursos Vegetacionales Nativos que elabora CONAF. Cabe mencionar que el periodo 2001-2013 se elaboró mediante el proyecto denominado "Actualización de Mapas Históricos", sirviendo de base para ampliar y actualizar el NREF/NRF⁸⁹ mediante la detección de cambios con información espacialmente explícita. Para ello, se homologaron al periodo de referencia 2001-2013 las regiones de Coquimbo a Magallanes, generando los insumos que permiten ampliar y actualizar el NREF/NFR subnacional.

Los Mapas de Usos y Cambio de Usos son el resultado de la aplicación del método MIICA y del Catastro de Bosque Nativo. Contienen la información de la trazabilidad por región, respecto al uso de la tierra, subuso, estructura, tipo forestal, subtipo forestal, cambio y tipo de cambio para cada periodo evaluado (siendo el Catastro de Recursos Vegetacionales y Usos de la Tierra la información de referencia en cuanto a tipo y subtipo forestal). Además, incorpora la información de cada polígono a nivel región, provincia y comuna con la respectiva información de los periodos monitoreados: 2001-2013; 2013-2016; 2016-2017; 2017-2019; 2019-2021 (Tabla 6-9).

Cabe señalar que, para la región de Antofagasta, donde no se ha generado un Mapa de Usos y Cambios de Usos de la tierra mediante el método MIICA, se utilizó la información de la última actualización del *Catastro de Recursos Vegetacionales Nativos de Chile* (año 2018). Del mismo modo, para el territorio insular, se utilizó la información disponible del último Catastro de la región de Valparaíso (2019).

Para el cálculo de las superficies anuales de cambio, se utilizó una interpolación lineal simple, mediante el promedio entre dos periodos de actualización:

⁸⁹ <https://www.encrv.cl/estrategia-nacional>

$$A_i = \frac{A_{t_2} - A_{t_1}}{t_2 - t_1}$$

Dónde:

- A_i = Superficie anual de cambio (ha)
- A_t = Superficie en el periodo t (ha)
- t = Año de la actualización a evaluar

Para extender los datos hasta el año inicial, 1990, se utilizó la superficie anual de cambio calculada a partir de los periodos 2001-2013, a excepción de las regiones de Arica y Parinacota, Tarapacá y Atacama, que se calcularon a partir de los periodos 2013-2017.

En cuanto al año final 2022, este se calculó con diferentes periodos de actualización según la región. Para las regiones de Arica y Parinacota, Tarapacá y Atacama, se calculó a partir de los periodos 2013-2017. En las regiones de Coquimbo, Valparaíso, Metropolitana, O'Higgins se utilizaron los periodos 2017-2019. Para las regiones de Maule, Ñuble, Biobío, La Araucanía, Los Ríos y Los Lagos fueron utilizados los periodos 2019-2021. Para la región de Aysén se usó los periodos 2001-2013, mientras que para la región de Magallanes y de La Antártica chilena se utilizó los periodos 2013-2016.

Como se mencionó anteriormente, para la región de Antofagasta y el territorio insular de la región de Valparaíso, no se calculó ninguna interpolación, por solo contar con un año de información, por ende, ese dato fue utilizado para toda la serie 1990-2022.

Tabla 6-9. Actualizaciones hasta el año 2022 por región

Región	Método	Periodos monitoreados
Arica y Parinacota	SIMEF	2013-2017
Tarapacá	SIMEF	2013-2017
Antofagasta	Catastro	2018
Atacama	SIMEF	2013-2017
Coquimbo	SIMEF	2001-2019
Valparaíso	SIMEF	2001-2019
R. Metropolitana	SIMEF	2001-2019
L.B. O'Higgins	SIMEF	2001-2019
Maule	SIMEF	2001-2021
Ñuble	SIMEF	2001-2021
Biobío	SIMEF	2001-2021
Araucanía	SIMEF	2001-2021
Los Ríos	SIMEF	2001-2021
Los Lagos	SIMEF	2001-2021
Aysén G.C.I.C	SIMEF	2001-2013
Magallanes y Antártica chilena	SIMEF	2001-2016
Territorio Insular	Catastro	2019

Fuente: Equipo Técnico de CONAF para actualización del INGEI

Para esta actualización del INGEI, se trabajó en homogenizar la información histórica de los cambios en el uso de la tierra y tierras permanentes del país (particularmente Otras Tierras, Pastizales y Tierras Forestales) y la detección de los cambios en periodos de tiempo definidos, con el fin de tener mayor consistencia en la temporalidad y trazabilidad de los datos, permitiendo una base mejorada para la comparación y cálculo de las tasas de cambios entre regiones. A continuación, se indican los periodos a los cuales se tiene la información temporal por región:

- a) 2013- 2017 para las regiones de Arica y Parinacota, Tarapacá y Atacama.
- b) 2001- 2013; 2013-2016; 2016-2017 y 2017-2019 para las regiones de Coquimbo a O'Higgins.
- c) 2001-2013; 2013-2016; 2016-2017; 2017-2019 y 2019-2021 para las regiones de Maule a Los Lagos.
- d) 2001-2013 para la región de Aysén.
- e) 2001-2013; 2013-2016 para la región de Magallanes.

Se incorporaron las regiones del norte del país, Arica y Parinacota, Tarapacá y Atacama, a los Mapas Históricos. Adicionalmente, se actualizaron las regiones de Coquimbo a O'Higgins, entre los periodos 2017-2019, Para las regiones de Aysén y Magallanes se logró el trabajo de homogenización en la actualización de los periodos de reporte que abarcan entre el año 2001 al año 2013 para Aysén, y al 2016 para Magallanes. Se actualiza la cartografía del territorio insular chileno, el que considera Isla de Pascua y Archipiélago Juan Fernández (26.000 hectáreas aproximadamente), a partir de la información más actualizada del Catastro de Valparaíso, la cual está disponible para este periodo de actualización.

Se considera para la próxima actualización del INGEI (Serie 1990-2024) incorporar los períodos faltantes para lograr homogeneizar la información del país. Para las regiones de Arica y Parinacota hasta Atacama, incluyendo la región de Antofagasta, se incorporará el periodo 2001-2013. Por otra parte, para las regiones de Coquimbo a O'Higgins, Aysén y Magallanes, se incorporarán los periodos hasta el año 2021. Mientras que las regiones de Maule a Los Lagos se actualizarán hasta el 2023. De esta manera, todo el territorio nacional continental tendrá la misma base comparación, partiendo del año 2001, y desde las regiones de Coquimbo a Magallanes, se dispondrá hasta el 2021, con Maule a los Lagos hasta el 2023.

Con los cambios integrados en las coberturas regionales, se 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 IPCC 2006.

CONAF cuenta con información detallada para las tierras forestales, pero no tiene el mismo detalle para las otras categorías de tierras, distinguiendo las tierras gestionadas y no gestionadas de pastizales y humedales. Por esta razón, se contabilizan todos los cambios que incluyen a estas tierras, pero se mantienen clasificadas como no gestionadas. CONAF considera avanzar en el mejoramiento de esta información para los futuros inventarios sectoriales.

Tratamiento de superficie nacional de renovales y superficie de bosques adultos en áreas de conservación

A continuación, se detalla el procesamiento dado a las superficies de renovales, así como a bosques nativos presentes en áreas de conservación en el contexto de las series temporales que entrega el INGEI, por el rol de estas áreas en la captura y almacenamiento de carbono en el contexto del INGEI. Este trabajo toma como base datos de coberturas del Catastro de Recursos Vegetacionales Nativos que elabora CONAF, cobertura de áreas silvestres protegidas, capas de variables de estado para bosque nativo elaboradas por INFOR y datos de crecimiento de bosques del Inventario Forestal Nacional (IFN).

Para el establecimiento de las superficies involucradas se consideraron las coberturas del Catastro de Recursos Vegetacionales Nativos más recientes disponibles desde el sistema de Información Territorial (SIT) de CONAF (Tabla 6-10). De estas coberturas se filtraron los registros correspondientes a bosques nativos, manteniendo de las tablas originales los campos correspondientes a uso, subuso, estructura, tipo forestal y región. A estos datos se agregó información depurada de límites de áreas protegidas del estado, actualizada al 2021 por CONAF, considerando categorías de parque nacional, reserva y monumento natural. Por último, se agregó información de variables de estado de bosques, específicamente área basal y número de árboles por hectárea. Estas variables se calcularon al año 2021 para las regiones de Coquimbo a Aysén. Para ello se utilizaron técnicas de aprendizaje automático que tomaron como entrada datos de mosaicos de imágenes satelitales provistos por CONAF y datos de parcela del Inventario Forestal Nacional de INFOR.

Tabla 6-10. Coberturas Catastro Recursos Vegetacionales Nativos

Región	Año actualización cobertura catastro	Fecha descarga
Arica y Parinacota	2015	05-09-2023
Tarapacá	2016	05-09-2023
Antofagasta	2018/2019	05-09-2023
Atacama	2018	05-09-2023
Coquimbo	2014	05-09-2023
Valparaíso	2019	05-09-2023
Metropolitana	2013	05-09-2023
O'Higgins	2013	05-09-2023
Maule	2016	05-09-2023
Ñuble	2015	05-09-2023
BioBío	2015	05-09-2023
Araucanía	2017	20-11-2023
Los Ríos	2017	20-11-2023
Los Lagos	2018	20-11-2023
Aysén	2011	05-09-2023
Magallanes	2017/2019	05-09-2023

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

Los antecedentes descritos anteriormente se emplearon en conjunto con datos de incrementos periódicos anuales por tipo forestal y clase diamétrica para modelar el crecimiento en diámetro de los bosques asociados a las superficies de renovales de bosque nativo. Esto se efectuó para toda la serie temporal del INGEI, comprendiendo las categorías de bosque “Renoval” y “Bosque Adulto-Renoval”. En este contexto, renovales cuyo valor de diámetro medio cuadrático en la serie temporal superaron los 60 centímetros, se consideraron como superficies en equilibrio.

Para la situación de bosques nativos adultos en áreas de conservación, en tanto, bastó con la aplicación consultas tabulares simples sobre las coberturas para su identificación y cuantificación. Cabe destacar que las superficies determinadas a través de este flujo de procesamiento no consideran áreas con plan de manejo, considerando que esta última información se encuentra disponible sólo de forma tabular si se considera la totalidad del territorio nacional. La superficie de bosque nativo manejado que proviene del Sistema de Actualización y Fiscalización Forestal (SAFF) de CONAF, se detalla por tipo forestal, tipo de manejo y región administrativa es incorporada a la información de representación de tierras. De esta forma, la información de renovales, áreas de conservación y planes de manejo de bosque nativo se integra a la información de las matrices de cambio de uso elaboradas por CONAF para lograr la matriz final que distingue las áreas de gestión y sin gestión de las tierras forestales. Para el caso de la categoría Humedales, se considera bajo gestión a todas las conversiones que ocurren a Humedales que corresponden a terrenos inundados.

Información resultante de la representación de tierras

A continuación, se presenta la información de tierras por categorías del país (Tabla 6-11) y un ejemplo de la matriz de cambio de uso elaborada por CONAF (Tabla 6-12) y la matriz resultante con la integración de información de áreas gestionadas en tierras forestales que se utiliza para las estimaciones del INGEI (Tabla 6-13). En la Tabla 6-14 se puede ver la información de tierras gestionadas y sin gestión en la serie temporal.

Tabla 6-11. Uso de la tierra para el país (kha)

Categoría	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022
Tierras Forestales	16.909	17.216	17.522	17.828	18.135	18.313	18.282	18.277	18.272
Tierras de Cultivo	4.759	4.646	4.534	4.421	4.308	4.246	4.266	4.271	4.275
Pastizales	29.926	29.659	29.393	29.127	28.861	28.694	28.679	28.676	28.673
Humedales	2.264	2.264	2.264	2.264	2.264	2.264	2.263	2.263	2.263
Asentamientos	413	497	582	666	751	813	854	860	867
Otras tierras	21.249	21.237	21.225	21.213	21.201	21.190	21.176	21.173	21.170
Superficie total	75.519	75.519	75.519	75.519	75.519	75.519	75.519	75.519	75.519

Fuente: Elaboración del Equipo Técnico de UTCUTS en base a CONAF (2023)

Tabla 6-12. Ejemplo de matriz de cambio de uso de la tierra generada por CONAF Superficie (kha)

Uso de la Tierra/1989	Uso 1990											Total 1989
	AS	TC	PA	TF-BN_AD	TF-BN_R	TF-BN_AR	TF-BN_AC	TF-BN_M	TF-PF	HU	OU	
AS	395,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	395,9
TC	7,2	4.737,4	7,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	29,5	0,3	0,0	4.781,8
PA	5,6	18,7	29.903,9	0,1	7,2	0,2	0,2	0,8	41,4	0,3	0,4	29.978,7
TF-BN_AD	0,0	0,0	2,1	5.851,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,3	5.853,9
TF-BN_R	0,2	0,9	4,0	0,0	4.857,8	0,0	0,0	0,0	6,6	0,1	0,0	4.869,7
TF-BN_AR	0,1	0,0	0,7	0,0	0,0	1.274,5	0,0	0,0	0,4	0,0	0,2	1.275,8
TF-BN_AC	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	3.231,8	0,0	0,2	0,0	0,2	3.233,2
TF-BN_M	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	157,4	0,8	0,0	0,0	158,4
TF-PF	0,5	1,8	6,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	1.448,0	0,1	0,0	1.457,3
HU	0,1	0,1	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	2.262,8	0,2	2.263,6
OU	3,2	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,1	21.247,6	21.251,3
TOTAL 1990	412,8	4.759,2	29.925,5	5.851,1	4.865,0	1.274,7	3.232,0	159,1	1.527,5	2.263,6	21.248,9	75.519,5

Tabla 6-13. Ejemplo de matriz de cambio de uso de la tierra generada para INGEI a partir de matriz de CONAF 1989-1990 (Superficie kha)

TO:	Forest land (managed)	Forest land (unmanaged)	Cropland	Grassland (unmanaged)	Grassland (managed)	Wetlands (managed)	Wetlands (unmanaged)	Settlements	Other land	Total unmanaged land	Initial area
FROM:	(kha)										
Forest land (managed)	10.099,79	-	2,82	10,96	-	-	0,15	0,83	0,20		10.114,76
Forest land (unmanaged)	3,90	6.725,96	0,03	3,05	-	-	0,00	0,02	0,49		6.733,45
Cropland ⁽²⁾	29,71	-	4.737,37	7,22	-	-	0,29	7,19	0,02		4.781,80
Grassland (unmanaged)	49,61	0,24	18,67	29.903,94	-	-	0,27	5,62	0,40		29.978,74
Grassland (managed)	-	-	-	-	-	-	-	-	-		-
Wetlands (managed)	-	-	-	-	-	-	-	-	-		-
Wetlands (unmanaged)	0,07	-	0,10	0,34	-	-	2.262,80	0,07	0,19		2.263,57
Settlements	-	-	-	-	-	-	-	395,88	-		395,88
Other land	0,19	-	0,25	0,00	-	-	0,08	3,16	21.247,59		21.251,27
Total unmanaged land											-
Final area	10.183,27	6.726,20	4.759,24	29.925,51	-	-	2.263,59	412,78	21.248,88	0,0	75.519,466
Net change ⁽⁴⁾	68,51	-7,25	-22,6	-53,23		0,00	0,02	16,90	-2,39		

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

Tabla 6-14. Sector UTCUTS: Tierras gestionadas y no gestionadas por categoría de uso de la tierra (miles ha)

Año	Tierras Forestales			Tierras de Cultivo	Pastizales	Humedales	Asentamientos	Otras Tierras	País
	Gestionadas	No gestionadas	Total TF	Gestionadas	No gestionadas	No gestionadas	Gestionadas	Sin gestión	
1990	10.183	6.726	16.909	4.759	29.926	2.264	413	21.249	75.519
1991	10.255	6.716	16.971	4.737	29.872	2.264	430	21.246	75.519
1992	10.324	6.708	17.032	4.714	29.819	2.264	447	21.244	75.519
1993	10.392	6.701	17.093	4.692	29.766	2.264	463	21.242	75.519
1994	10.460	6.694	17.155	4.669	29.713	2.264	480	21.239	75.519
1995	10.528	6.688	17.216	4.646	29.659	2.264	497	21.237	75.519
1996	10.596	6.681	17.277	4.624	29.606	2.264	514	21.235	75.519
1997	10.664	6.674	17.338	4.601	29.553	2.264	531	21.232	75.519
1998	10.731	6.668	17.400	4.579	29.500	2.264	548	21.230	75.519
1999	10.798	6.662	17.461	4.556	29.446	2.264	565	21.227	75.519
2000	10.865	6.657	17.522	4.534	29.393	2.264	582	21.225	75.519
2001	10.931	6.652	17.583	4.511	29.340	2.264	599	21.223	75.519
2002	10.998	6.647	17.645	4.488	29.287	2.264	616	21.220	75.519
2003	11.064	6.642	17.706	4.466	29.234	2.264	632	21.218	75.519
2004	11.130	6.637	17.767	4.443	29.180	2.264	649	21.215	75.519
2005	11.197	6.631	17.828	4.421	29.127	2.264	666	21.213	75.519
2006	11.264	6.625	17.890	4.398	29.074	2.264	683	21.211	75.519
2007	11.331	6.620	17.951	4.376	29.021	2.264	700	21.208	75.519
2008	11.398	6.614	18.012	4.353	28.967	2.264	717	21.206	75.519
2009	11.464	6.609	18.073	4.331	28.914	2.264	734	21.203	75.519
2010	11.531	6.603	18.135	4.308	28.861	2.264	751	21.201	75.519
2011	11.599	6.597	18.196	4.285	28.808	2.264	768	21.199	75.519
2012	11.666	6.591	18.257	4.263	28.754	2.264	785	21.196	75.519
2013	11.734	6.584	18.318	4.240	28.701	2.264	801	21.194	75.519
2014	11.736	6.580	18.316	4.243	28.698	2.264	807	21.192	75.519
2015	11.737	6.576	18.313	4.246	28.694	2.264	813	21.190	75.519
2016	11.741	6.570	18.310	4.249	28.691	2.264	818	21.187	75.519
2017	11.737	6.561	18.298	4.255	28.693	2.264	828	21.183	75.519
2018	11.737	6.556	18.292	4.258	28.688	2.263	838	21.181	75.519
2019	11.737	6.550	18.287	4.261	28.682	2.263	847	21.179	75.519
2020	11.737	6.545	18.282	4.266	28.679	2.263	854	21.176	75.519
2021	11.738	6.539	18.277	4.271	28.676	2.263	860	21.173	75.519
2022	11.739	6.533	18.272	4.275	28.673	2.263	867	21.170	75.519

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

6.3.2 Métodos utilizados para las perturbaciones naturales

Chile considera que todas las emisiones provenientes de incendios forestales se deben a causas antrópicas, por lo tanto, estima todas las emisiones de incendios forestales en el inventario de gases de efecto invernadero. Hasta ahora, el país no considera un método para evaluar estas emisiones en el contexto de las perturbaciones naturales. Sin embargo, se observa que la frecuencia y severidad de los incendios ha aumentado en conjunto con una sequía prolongada en el país.

6.3.3 Métodos utilizados para los productos de la madera recolectada

El país estima las emisiones y absorciones procedentes de los productos de madera recolectada con el método de producción (ver 6.10).

6.4 Tierras forestales (4.A)

6.4.1 Descripción y tendencia de los GEI de la categoría

Las tierras forestales alcanzan en el 2022 una superficie de 18.271.608 ha en el país, de las cuales 82 % corresponden a tierras de bosque nativo, 17 % plantaciones forestales y 1 % a bosques mixtos. Las tierras forestales que al 2022 se consideran bajo gestión corresponden al 64 % del total de tierras forestales, lo que incluye a las plantaciones forestales, bosque nativo con plan de manejo, bosque nativo que está en áreas de conservación, bosque nativo de renovales (bosques de segundo crecimiento), el bosque nativo que se origina debido al cambio de uso de la tierra y del cambio de cobertura vegetal desde plantaciones forestales y bosques mixtos.

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 a 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. En *Tierras convertidas a 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 6-15 resume los componentes y gases considerados en la categoría de Tierras Forestales.

Tabla 6-15. Tierras forestales: subcategorías, componentes, subcomponentes y gases.

Subcategoría	Componente	Subcomponente	Gases		
Tierras Forestales que permanecen como tales	Plantaciones forestales	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: renovales	Bosque nativo en Sistema Nacional de Áreas Silvestres	CO ₂	
			Bosque nativo manejado de acuerdo con 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	Quemas forestales	CO ₂ y no-CO ₂		
			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

En 2022, el balance de GEI contabilizó -53.210,5 kt CO₂ eq. Durante casi toda la serie temporal el balance de esta categoría es favorable a la absorción, disminuyendo en 37,5 % desde 1990 y aumentando en 4,6 % desde 2020 (Tabla 6-16 y Figura 6-9), la excepción la constituye el año 2017 donde fue favorable a la emisión, por la magnitud de incendios forestales que ocurrieron ese año. En el 2022, las *tierras forestales que permanecen como tales* tienen un balance neto de -40.855,9 kt CO₂ eq disminuyendo su condición de sumidero en un 20,6 % respecto a 1990 y aumentando en 13,7 % respecto al 2020. En el análisis de tendencia, se observa que en el 2022 hay una disminución de la cosecha de trozas respecto al año 2020, que se debe a su vez a un descenso en la actividad de casi todos los rubros de la industria forestal primaria, con excepción de las industrias de pulpa mecánica y de tableros y chapas (Poblete et al., 2023), lo que provoca que aumente la condición de sumidero respecto al 2020. En el caso de la *Tierras convertidas en tierras forestales* presentan un balance neto de -12.354,6 kt CO₂ eq, disminuyendo su condición de sumidero en 63,3 % respecto a 1990 y en 17,3 % respecto al 2020.

Tabla 6-16. Tierras Forestales: balance de GEI por subcategoría (kt CO₂ eq)

Subcategoría	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022
Tierras Forestales que permanecen como tal	-51.486,8	-37.445,9	-45.407,8	-37.041,4	-37.537,3	-25.342,6	-35.938,5	-44.509,7	-40.855,9
Tierras convertidas a Tierras Forestales	-33.642,1	-38.640,7	-32.905,0	-29.474,9	-27.852,0	-20.334,7	-14.930,4	-13.476,5	-12.354,6
Tierras de Cultivo	-16.474,8	-18.479,1	-14.912,2	-12.943,2	-12.124,5	-8.304,3	-6.192,4	-5.589,9	-5.145,8
Pastizales	-16.976,8	-19.929,2	-17.775,8	-16.314,7	-15.519,6	-11.891,3	-8.643,2	-7.801,6	-7.131,1
Humedales	-38,0	-46,5	-42,4	-41,1	-39,5	-25,6	-15,9	-14,2	-13,0
Asentamientos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,4	-0,4	-0,4
Otras tierras	-152,5	-185,8	-174,6	-175,8	-168,4	-113,6	-78,6	-70,4	-64,5
Balance	-85.128,9	-76.086,6	-78.312,7	-66.516,3	-65.389,3	-45.677,4	-50.868,9	-57.986,2	-53.210,5

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI, con base en hoja **Table10s1** del CRT.

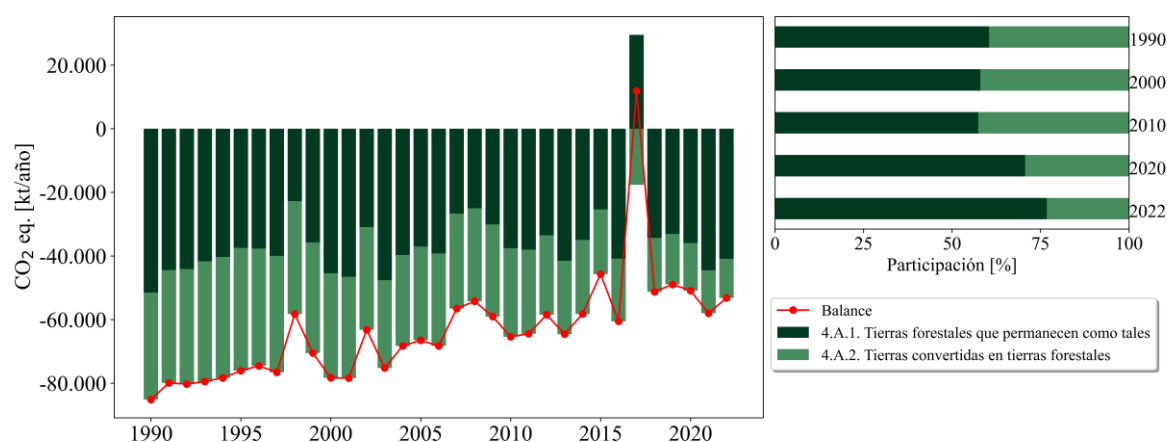


Figura 6-9. Tierras Forestales: balance de GEI por subcategoría (kt CO₂ eq), 1990-2022

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

Al evaluar las Tierras Forestales por depósito de carbono (Figura 6-10) se observa que, para los incrementos de la biomasa, en el 2022 el bosque nativo contribuye con 34% seguido de las plantaciones con 26 %. El incremento de biomasa de bosque nativo ha disminuido en 2,8 % desde 1990 y en 0,02 % desde 2020. Esto se debe a una disminución de las absorciones de renovales y bosques que se encuentran bajo conservación ya que alcanzan su madurez y pasan a tener un balance cero en emisiones y absorciones. Por otra parte, el incremento de biomasa de plantaciones forestales ha aumentado en un 79 % desde 1990 y ha disminuido un 1,3 % desde 2020. Esto muestra 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. No obstante, en los últimos años de la serie temporal ha disminuido la tasa de forestación y la superficie de plantaciones forestales ha sido afectada por incendios forestales.

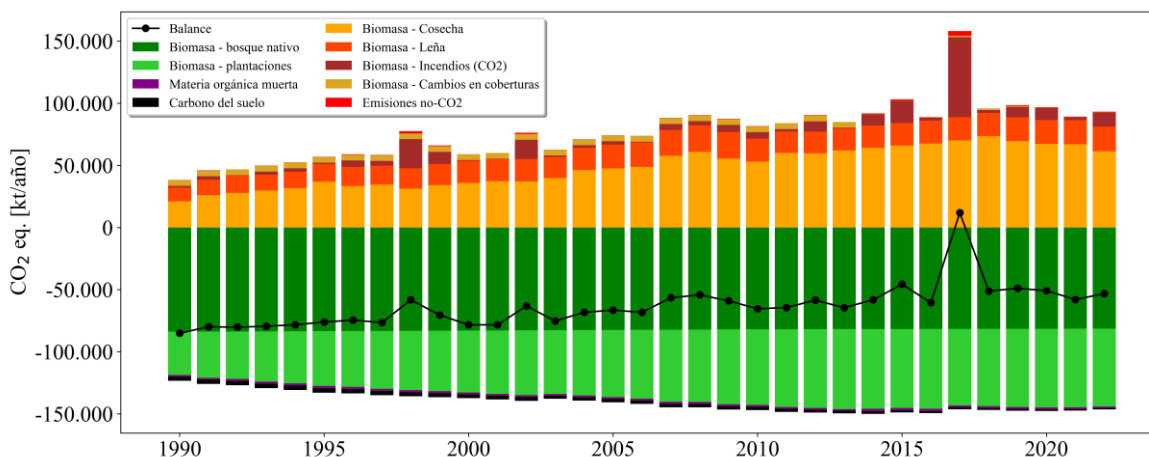


Figura 6-10. Tierras Forestales: Emisiones y absorciones de GEI por depósito de carbono (kt CO₂ eq); 1990-2022

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

En el caso de las pérdidas de biomasa, en 2022, las cosechas comerciales de trozas tienen la mayor participación en el balance con un 25,6 %, le sigue la leña con un 8,2 %, las pérdidas de carbono por incendios alcanzan un 4 % y las pérdidas de biomasa por cambio de cobertura vegetal llegan al 0,1 %. Las pérdidas de biomasa por cosecha han aumentado en 192 % desde 1990 y han disminuido en 8,7 % desde 2020, esta disminución de 2022 se debe a un descenso en la actividad de casi todos los rubros de la industria forestal primaria. En conjunto con el aumento de las cosechas comerciales de trozas en la serie temporal existe un aumento de la contribución de los *Productos de Madera recolectada*, que da cuenta de la permanencia del carbono retenido en los productos de madera provenientes de la cosecha, con una relación directa de aumentos de absorciones a medida que aumenta la producción de madera aserrada y tableros principalmente. 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 78 % desde 1990, y en un 2,2 % desde el 2020. 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 45 %, en consecuencia, las especies exóticas han aumentado su participación llegando al 55 % 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 97,1 % desde 1990 y no presenta cambios en las emisiones desde el 2020.

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 de otros usos de la tierra en bosque nativo y en plantaciones, este último caso ha podido ser incorporado en este inventario debido a la información publicada en el país que da cuenta de estos factores de emisión. En la serie temporal todos los cambios de DOM son absorciones netas que han disminuido en 3,5 % desde 1990 y han disminuido en 14,8 % desde 2020.

Los cambios en el carbono del suelo han disminuido en 53,6 % desde 1990 y en 5,8 % desde 2018. 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. Las emisiones no-CO₂ incluyen las emisiones de incendios y de quemas forestales y presentan fluctuaciones en la serie temporal en directa relación con los incendios 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.

En el caso de las *Tierras convertidas a Tierras forestales*, la tendencia de la serie temporal, que muestra la disminución de la absorción neta de CO₂ eq se explica porque ha disminuido la conversión de tierras a *Tierras forestales*, con una disminución de las tasas de forestación. De acuerdo a las matrices de cambio de uso de la tierra que elabora CONAF para el INGEI en el período 2020-2022, hay una tasa anual de 1.631 ha de tierras que pasan al uso de plantación forestal mientras que en el período 1990-2013, hubo una tasa anual promedio de 70.000 ha. Por otra parte, para la incorporación de bosque nativo desde otras tierras, que básicamente se debe a abandono de tierras, donde el bosque vuelve a regenerar, se observan tasas anuales de menos de 7.300 ha al año en el inicio de la serie temporal, disminuyendo a 3.200 ha al año en el período 2018-2019 y a cifras de menos de 2 ha/año en el período 2020-2022 (Figura 6-11(A)).

Además, se puede ver en la Figura 6-11(B) que la conversión de tierras forestales a otros usos (pérdidas de bosque nativo y plantaciones) ha disminuido en la serie temporal, para el caso de bosque nativo con tasas anuales de 9.268 ha para el período 1990-2013 a 5.545 ha/año para el período 2020-2022. En la serie temporal se tiene un total de 302.000 ha de bosque nativo y 225.000 ha de plantaciones que se han convertido a otros usos desde 1990. Las emisiones asociadas a las conversiones de tierras forestales a otros usos se pueden ver en este informe en las secciones de las categorías de uso distintas a las tierras forestales.

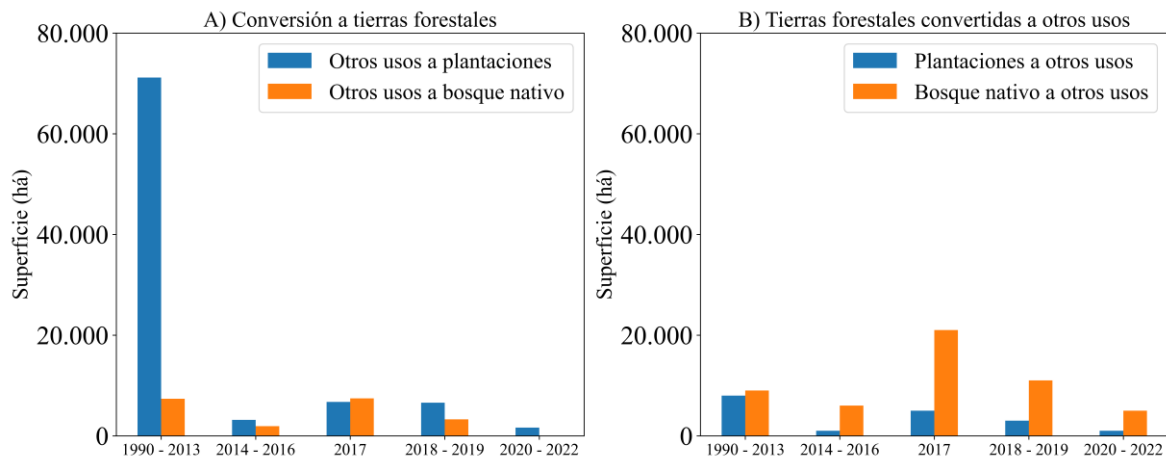


Figura 6-11. Sector UTCUTS: Superficie convertida a tierras forestales (A) y Superficie de tierras forestales convertida a otros usos (B) (ha)

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

6.4.2 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 (Tabla 6-5). 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 en algunos tipos de bosque. 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*. A continuación, se describe el método aplicado por tipo de depósito para cada subcategoría.

6.4.2.1 Biomasa

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 6-1).

Ecuación 6-1. 4.A.1. Tierras forestales que permanecen como tales: cambio anual en las existencias de carbono en la biomasa en tierras que permanecen en la misma categoría

$$\Delta C_B = \Delta C_G - \Delta C_L$$

Fuente: Ecuación 2.7; Capítulo 2; Volumen 4; *Directrices del IPCC de 2006*

Donde:

- ΔC_B = Cambio anual en las existencias de carbono en la biomasa (aérea y subterránea), para cada subcategoría de uso de la tierra, considerando la superficie total (t C año⁻¹),
- ΔC_G = Incremento anual de las existencias de carbono debido al crecimiento de la biomasa para cada subcategoría de uso de la tierra, considerando la superficie total (t C año⁻¹), y
- ΔC_L = Reducción anual de las existencias de carbono debida a la pérdida de biomasa para cada subcategoría de tierra, considerando la superficie total (t C año⁻¹).

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* (Ecuación 6-2).

Ecuación 6-2. 4.A.1. Tierras forestales que permanecen como tales: Incremento anual de las existencias de carbono en la biomasa en tierras que permanecen en la misma categoría de uso de la tierra

$$\Delta C_G = \sum (A \cdot G_{TOTAL} \cdot CF)$$

Fuente: Ecuación 2.9; Capítulo 2; Volumen 4; *Directrices del IPCC de 2006*

Donde:

- ΔC_G = Incremento anual de las existencias de carbono en la biomasa debido al crecimiento de la biomasa en Tierras que permanecen en la misma categoría de uso, por tipo de vegetación y zona climática (t C año⁻¹),
- A = Superficie que permanece en la misma categoría de uso de la Tierra (ha),
- G_{TOTAL} = Crecimiento medio anual de la biomasa (t materia seca ha⁻¹año⁻¹), y
- CF = Fracción de carbono de la materia seca (t C en ms).

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 ($BCEFI$). 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*), tal como se indica en la Ecuación 6-3:

Ecuación 6-3. 4.A.1. Tierras forestales que permanecen como tales: incremento promedio anual de la biomasa

$$G_{Total} = \sum \{I_V * BCEFI * (1 + R)\}$$

Fuente: Ecuación 2.10; Capítulo 2; Volumen 4; *Directrices del IPCC de 2006*

Donde:

- I_V = Incremento anual promedio de los bosques en Chile (m³ ha⁻¹año⁻¹),
- $BCEFI$ = Factor de conversión y expansión de biomasa para la conversión del incremento anual en volumen a crecimiento de biomasa aérea,
- R = Relación entre la biomasa subterránea y la biomasa aérea para cada tipo de vegetación.

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*, las que se detallan a continuación:

Ecuación 6-4. 4.A.1. Tierras forestales que permanecen como tales: pérdidas por cosecha de madera comercial

$$L_{remoción-bosques} = \{H * BCEF_R * (1 + R) * CF\}$$

Fuente: Ecuación 2.12; Capítulo 2; Volumen 4; *Directrices del IPCC de 2006*

Donde:

- $L_{remoción-bosques}$: pérdida anual de carbono debida a remoción de bosques, t C año⁻¹
- H = Remociones anuales de bosques, rollizos, (m³ año⁻¹),
- $BCEF_R$ = Factor de conversión y expansión de biomasa para la conversión de remociones en volumen venable a remociones totales de biomasa
- R = Relación entre la biomasa subterránea y la biomasa aérea para cada tipo de vegetación.
- CF = fracción de carbono de materia seca, t C (t d.m.)⁻¹

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.

Ecuación 6-5. 4.A.1. Tierras forestales que permanecen como tales: pérdidas por remoción de leña

$$L_{madera-combustible} = [\{FG_{árboles} \cdot BEF_R \cdot D \cdot (1 + R)\} + FG_{parte} \cdot D] \cdot CF$$

Fuente: Ecuación 2.13; Capítulo 2; Volumen 4; *Directrices del IPCC de 2006*

Donde:

- $L_{madera-combustible}$ = Pérdida anual de carbono debido a la remoción de madera para combustible (t C año⁻¹),
- $FG_{árboles}$ =Volumen anual de remoción de madera para combustible de árboles enteros (m³ año⁻¹),
- FG_{parte} = Volumen anual de remoción de madera para combustible como parte de árboles (m³ año⁻¹),
- BEF_R = Factor de expansión de biomasa para expandir las remociones de madera comercial a volumen total de biomasa aérea para incluir los componentes no comerciales del árbol y el bosque,
- D = Densidad básica de la madera (t ms m⁻³),
- R =Relación entre biomasa subterránea y aérea para cada tipo de vegetación, y
- CF =Fracción de carbono de la biomasa (t C en ms).

Como pérdidas de biomasa y de carbono por perturbaciones, se consideran a 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) y la información de factores se detalla en la sección de factores de emisión.

Ecuación 6-6. 4.A.1. Tierras forestales que permanecen como tales: pérdidas por perturbaciones

$$L_{\text{perturbación}} = \{A_{\text{perturbación}} \cdot B_W \cdot (1 + R) \cdot CF \cdot fd\}$$

Fuente: Ecuación 2.14; Capítulo 2; Volumen 4; *Directrices del IPCC de 2006*

Donde:

- $L_{\text{perturbación}}$ = Otras pérdidas anuales de carbono (t C año⁻¹),
- $A_{\text{perturbación}}$ = Superficie afectada por perturbaciones (ha año⁻¹),
- B_W = Biomasa aérea promedio (existencias) de superficies de Tierra afectadas por perturbaciones (t ms ha⁻¹),
- R = Relación entre biomasa subterránea y aérea para cada tipo específico de vegetación,
- CF = Fracción de carbono de materia seca (t C ms⁻¹), y
- fd = Fracción de biomasa perdida por perturbaciones.

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.

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 6-7).

Ecuación 6-7. 4.A.2. Tierras convertidas en tierras forestales: cambio anual en las existencias de carbono en biomasa en tierras convertidas a otra categoría de uso de la tierra (Nivel 2)

$$\Delta C_B = \Delta C_G + \Delta C_{CONVERSIÓN} - \Delta C_L$$

Fuente: Ecuación 2.15; Capítulo 2; Volumen 4; *Directrices del IPCC de 2006*

Donde:

- ΔC_B = Cambio anual en las existencias de carbono de la biomasa en tierras convertidas a otra categoría de uso de la tierra (t C año⁻¹),
- ΔC_G = Incremento anual en las existencias de carbono de la biomasa debido al crecimiento en tierras convertidas (t C año⁻¹),
- $\Delta C_{CONVERSIÓN}$ = Cambio inicial en las existencias de carbono de la biomasa en tierras convertidas a otra categoría de uso de la tierra, (t ms C año⁻¹),
- ΔC_L = Reducción anual en las existencias de carbono de la biomasa debido a pérdidas producidas por cosechas, recogida de madera combustible y perturbaciones en tierras convertidas (t C año⁻¹).

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*, correspondiente a la Ecuación 6-8.

Ecuación 6-8. 4.A.2. Tierras convertidas en tierras forestales: cambio inicial en las existencias de carbono en la biomasa de tierras convertidas a otra categoría de tierra

$$\Delta C_{Conversión} = \sum_i \{ (B_{Después} - B_{Antes}) * \Delta A_{A_OTRASI} \} * CF$$

Fuente: Ecuación 2.16; Capítulo 2; Volumen 4; *Directrices del IPCC de 2006*

Donde:

- $\Delta C_{Conversión}$ = Cambio inicial en las existencias de carbono de la biomasa en tierras convertidas a otra categoría de uso (t ms C año⁻¹),
- $B_{Después}$ = Existencias de biomasa en el uso de la tierra i inmediatamente después de la conversión (t ms ha⁻¹),
- B_{Antes} = Existencias de biomasa en el tipo de tierra i antes de la conversión (t ms ha⁻¹),
- ΔA_{A_OTRASI} = Superficie de uso de la tierra i convertida a otra categoría de uso de la tierra en un año dado (ha año⁻¹),
- CF = Fracción de carbono de materia seca (t C/t- ms), e
- i = Tipo de uso de la tierra convertido a otra categoría de uso de la tierra.

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_i). Luego, mediante el factor R, se estimó la biomasa total, es decir, la biomasa aérea más la biomasa subterránea.

6.4.2.2 Materia orgánica muerta

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. En este caso y al igual que la conversión desde otros usos Tierras forestales, se utiliza una metodología de Nivel 1, por lo que se considera la emisión de toda la materia orgánica muerta en el año del cambio de cobertura, y una acumulación de materia orgánica para la nueva cobertura por un período de transición de 20 años, aplicando la Ecuación 6-9.

Ecuación 6-9. 4.A.2. 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

$$\Delta C_{DOM} = \frac{(C_n - C_o) \cdot A_{on}}{T_{on}}$$

Fuente: Ecuación 2.23; Capítulo 2; Volumen 4; *Directrices del IPCC de 2006*

Donde:

- ΔC_{DOM} = Cambio en las existencias anuales de carbono en madera muerta (t C año⁻¹),
- C_o = Existencias de madera muerta bajo la categoría anterior de uso de la tierra (t C año⁻¹),
- C_n = Existencias de madera muerta bajo la nueva categoría de uso de la tierra (t C año⁻¹),
- A_{on} = Superficie convertida a la nueva categoría de uso de la tierra (ha), y
- T_{on} = Lapso en el que se produce la transición de la antigua a la nueva categoría de uso de la tierra, años (20 años).

6.4.2.3 Carbono del suelo

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, se usan los valores de referencia que entrega el *Refinamiento 2019 de las Directrices del IPCC de 2006*. 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. Para el caso de *tierras convertidas en tierras forestales* se considera la aplicación de la Ecuación 6-10 para suelos minerales.

Ecuación 6-10. Tierras convertidas en otras tierras: cambio anual en las existencias de carbono de suelos minerales debido a la conversión en el uso de la tierra

$$\Delta C_{El\ Mineral} = \frac{(SOC_0 - SOC_{(0-T)})}{D}$$

$$SOC = \sum_{c,s,i} (SOC_{REF\ c,s,i} * F_{LU\ c,s,i} * F_{MG\ c,s,i} * A_{c,s,i})$$

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
- FLU = 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.
- FMG = factor de cambio de existencias para el régimen de gestión, sin dimensión
- FI = 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.

6.4.2.4 Emisiones no-CO₂

La Ecuación 6-11 cuenta de la fórmula usada para calcular las emisiones no-CO₂ producto del fuego y corresponde 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.

Ecuación 6-11. Estimación de emisiones de GEI a causa del fuego

$$L_{fuego} = A * M_B * C_f * G_{ef} * 10^{-3}$$

Fuente: Ecuación 2.27; Capítulo 2; Volumen 4; *Directrices del IPCC de 2006*

Donde:

- Lfuego = cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero provocada por el fuego, t de GEI.
- A = superficie quemada, ha.
- MB = masa de combustible disponible para la combustión, t ha-1. Incluye biomasa, hojarasca molida y madera muerta. Cuando se aplican métodos de Nivel 1, entonces se supone que los depósitos de hojarasca y de madera muerta equivalen a cero, a excepción de los casos en los que hay un cambio en el uso de la tierra (véase la Sección 2.3.2.2, Capítulo 2; Volumen 4; Directrices del IPCC de 2006).
- Cf = factor de combustión, sin dimensión (valores por defecto del Cuadro 2.6)
- Gef = Factor de emisión, g kg-1 de materia seca quemada (valores por defecto del Cuadro 2.5).

6.4.2.5 Datos de actividad específicos de la categoría

Se realizó una revisión exhaustiva de los datos de actividad estadísticos colectados para la construcción de la serie 1990-2020 y se colectaron nuevos datos de actividad considerando la serie 1990-2022. La información de datos de actividad con sus fuentes se detalla en la Tabla 6-17 y se describe a continuación:

Tabla 6-17. Datos de actividad y fuentes de UTCUTS y tierras forestales

Subcategoría	Descripción	Fuente
Plantaciones forestales	Cobertura (ha), corresponde a la superficie de plantaciones que está creciendo o en pie en el país.	Programa de Actualización Permanente de Plantaciones Forestales en Anuario Forestal, INFOR
Plantaciones forestales	Uso de la tierra (ha), corresponde a la superficie total de uso de la tierra clasificada como plantaciones, incluye caminos, canchas de acopio y cobertura.	Matrices de cambio de uso de la tierra de CONAF
Bosques de segundo crecimiento (Renovales)	Considera a los Renovales y Bosque adulto renoval (ha)	Catastro de los recursos vegetacionales de CONAF.
Superficie de reservas y parques nacionales	Considera la superficie de bosque nativo y se excluye la superficie que clasifica como renoval y adulto renoval, ya que esta contabilizada en la categoría Renovales (ha)	Cobertura del Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado (SNASPE) publicada en IDE Chile por el Ministerio de Bienes Nacionales (2021)
Superficie de bosque nativo manejado	Planes de manejo aprobados para bosque nativo (ha)	Sistema de Actualización y Fiscalización Forestal (SAFF) de CONAF
Superficie de cambios de cobertura dentro de tierras forestales	Cambios de cobertura plantaciones – bosque nativo (ha)	Matriz de cambio de uso de la tierra de CONAF.
Superficie de tierras convertidas a tierras forestales	Superficie de tierras que se convierte a tierras forestales (ha)	Matriz de cambio de uso de la tierra de CONAF.
Cosecha de madera comercial	Volumen de cosecha comercial de trozas (m ³)	Anuario forestal, INFOR
Cosecha de leña	Volumen (m3)	Anuario Forestal, INFOR hasta el año 2010 Programa "Observatorio Biomasa", INFOR desde 2011 a la fecha. (https://simef.minagri.gob.cl/)
Superficie de Incendios en UTCUTS forestales y quemas forestales	Superficie anual de incendios de bosque nativo, de plantaciones forestales, superficie de incendios en tierras forestales con residuos forestales, tierras de cultivo y Pastizales y superficie de quemas forestales	Gerencia Manejo del Fuego, CONAF

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

Superficie de plantaciones forestales: la información de superficie de plantaciones se origina de dos fuentes de información. La cobertura de plantaciones que da cuenta de la superficie de plantaciones que está creciendo anualmente en el país y cuya fuente es el Programa de Actualización Permanente de Plantaciones Forestales de INFOR. La superficie del uso de la tierra de plantaciones, que proviene de las matrices de uso de la tierra que elabora CONAF y que da cuenta de la superficie de total de plantaciones incluyendo cobertura, caminos, cachas de acopio (Tabla 6-19).

Superficie de bosques de segundo crecimiento (Renovales): la información de la superficie proviene del Catastro (CONAF) y considera a los *Renovales* y *Bosque adulto renoval*. Los bosques se mantienen bajo crecimiento hasta alcanzar los 60 cm de diámetro medio cuadrático, al superar este diámetro pasan a ser bosques en equilibrio. En base a la información de variables de estado del IFN (INFOR) se aplica una regla simple de transición de estado, basada en el incremento periódico anual en área basal, por tipo forestal (Tabla 6-19).

Superficie de reservas y parques nacionales: esta información proviene de la cobertura del Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado (SNASPE) publicada a través de la IDE Chile por el Ministerio de Bienes Nacionales (2021), información emitida en conjunto por los ministerios de Medio Ambiente, Bienes Nacionales y Agricultura. Constituye representación cartográfica digital representativa del Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado (SNASPE). 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 (Tabla 6-19).

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”. Se excluyen las actividades de manejo que se realizan en renovales, para evitar doble contabilidad, las actividades excluidas se detallan en Tabla 6-18.

Tabla 6-18. Tierras forestales que permanecen como tales: actividades de manejos de renovales

Fases	Tipo de manejo
Renovales	corta intermedia, clareos, 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, entresacas

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

Tabla 6-19. Superficie de Tierras forestales según categoría (kha).

Año	Renovales	Áreas de conservación	Planes de manejo	Bosques en equilibrio	Plantaciones forestales	Bosques no gestionados	Total de Tierras Forestales
1990	6.440,3	2.045,4	7,5	3,4	1.528	6.885	16.909,5
1991	6.434,4	2.045,4	14,1	3,5	1.598	6.876	16.970,7
1992	6.428,5	2.045,3	18,1	3,7	1.668	6.868	17.032,0
1993	6.422,6	2.045,3	21,1	3,8	1.738	6.862	17.093,2
1994	6.416,7	2.045,3	24,2	4,0	1.809	6.856	17.154,5
1995	6.410,8	2.045,2	26,6	4,1	1.879	6.850	17.215,8
1996	6.404,9	2.045,2	29,2	4,3	1.949	6.845	17.277,0
1997	6.399,0	2.045,2	32,3	4,4	2.019	6.838	17.338,3
1998	6.393,1	2.045,1	34,2	4,6	2.089	6.833	17.399,5
1999	6.387,1	2.045,0	36,3	4,8	2.160	6.828	17.460,8
2000	6.381,2	2.045,0	37,9	5,0	2.230	6.823	17.522,1
2001	6.375,3	2.044,9	38,9	5,2	2.300	6.819	17.583,3
2002	6.369,3	2.044,9	40,4	5,4	2.370	6.814	17.644,6
2003	6.363,3	2.044,8	41,6	5,6	2.441	6.810	17.705,8
2004	6.357,4	2.044,8	42,6	5,8	2.511	6.806	17.767,1
2005	6.351,4	2.044,7	44,6	6,1	2.581	6.800	17.828,4
2006	6.345,4	2.044,6	46,3	6,4	2.651	6.795	17.889,6
2007	6.339,4	2.044,6	47,7	6,6	2.722	6.791	17.950,9
2008	6.333,4	2.044,4	49,4	7,0	2.792	6.786	18.012,1
2009	6.327,4	2.044,3	50,5	7,3	2.862	6.782	18.073,4
2010	6.321,4	2.044,2	52,6	7,7	2.932	6.776	18.134,7
2011	6.315,3	2.044,1	55,4	8,1	3.003	6.770	18.195,9
2012	6.309,2	2.043,9	57,6	8,6	3.073	6.765	18.257,2
2013	6.303,1	2.043,7	60,2	9,1	3.143	6.759	18.318,4
2014	6.299,4	2.043,4	62,5	9,8	3.146	6.755	18.315,7
2015	6.295,6	2.043,1	65,1	10,5	3.148	6.751	18.313,0
2016	6.291,9	2.042,8	69,5	11,2	3.150	6.744	18.310,3
2017	6.281,6	2.042,4	73,5	12,2	3.155	6.733	18.297,7
2018	6.274,2	2.042,1	77,0	13,1	3.160	6.726	18.292,3
2019	6.266,6	2.041,6	80,8	14,1	3.166	6.718	18.286,8
2020	6.261,3	2.041,2	85,1	15,1	3.166	6.712	18.281,7
2021	6.255,9	2.040,8	90,7	16,2	3.167	6.706	18.276,7
2022	6.250,4	2.040,3	95,8	17,3	3.168	6.699	18.271,6

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

Superficie de cambios de cobertura: A partir de las matrices de cambio de uso de la tierra, se estiman las superficies de cambios de cobertura que ocurren dentro de las tierras forestales que permanecen como tal, bosque nativo convertido en plantaciones y plantaciones convertidas en bosque nativo.

Superficie de tierras convertidas a tierras forestales: La superficie de tierras que se convierte a tierras forestales proviene de la matriz de cambio de uso de la tierra que genera CONAF. La información se diferencia entre bosque nativo y plantaciones. 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 de la biomasa no se contabilizan en la categoría de conversión pues ya están consideradas en la categoría renoval, y así se evita una doble contabilidad.

Consumo de trozas industriales: el dato estadístico principal es el volumen de cosecha comercial de trozas, dato generado por INFOR (2023) (Tabla 6-20).

Consumo de leña: Los datos de actividad se obtienen de la publicación del Anuario Forestal de INFOR hasta el año 2010, los volúmenes provienen de las cifras de consumo de leña (en miles de toneladas) del Balance de Energía (CNE) y fueron transformadas en volumen sólido, según antecedentes aportados por el estudio de INFOR (1994). Desde el año 2012 se produjo un vacío de información, el que comenzó a ser abordado por el programa “Observatorio Biomasa” del Instituto Forestal que genera información hasta la fecha (Tabla 6-20 y Anexo sección 11.5.2).

Tabla 6-20. 4.A Tierras Forestales: consumo de trozas industriales y consumo de leña (miles m3)

Año	Trozas industriales	Leña
1990	14.259	7.596
1991	17.045	8.494
1992	18.805	9.420
1993	19.982	8.732
1994	21.401	9.158
1995	24.881	9.792
1996	22.938	10.497
1997	23.606	10.450
1998	21.315	11.217
1999	23.178	11.624
2000	24.437	12.142
2001	25.682	12.118
2002	25.491	12.312
2003	27.491	11.652
2004	31.998	12.305
2005	32.660	13.123
2006	33.218	13.499
2007	38.415	14.222
2008	39.869	14.590
2009	36.401	14.630
2010	34.560	12.663
2011	39.151	11.688
2012	39.075	11.839
2013	41.040	11.964
2014	42.590	12.109
2015	43.634	12.240
2016	44.556	12.368
2017	45.770	12.541
2018	47.854	12.678
2019	45.307	12.830
2020	43.564	12.959
2021	43.872	13.117
2022	40.552	13.265

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

Superficie de incendios sector UTCUTS y quemas en tierras forestales: el dato estadístico es la superficie anual de incendios, se diferencia para tierras forestales en bosque nativo, plantaciones forestales e incendios en tierras forestales con residuos forestales. Además, se cuenta con la información de solicitudes de quemas de residuos, y en particular se considera la información de quemas en tierras forestales. La información proviene de la Gerencia Manejo del Fuego de CONAF (Figura 6-12, Figura 6-13 y Anexo Sección 11.5.2).

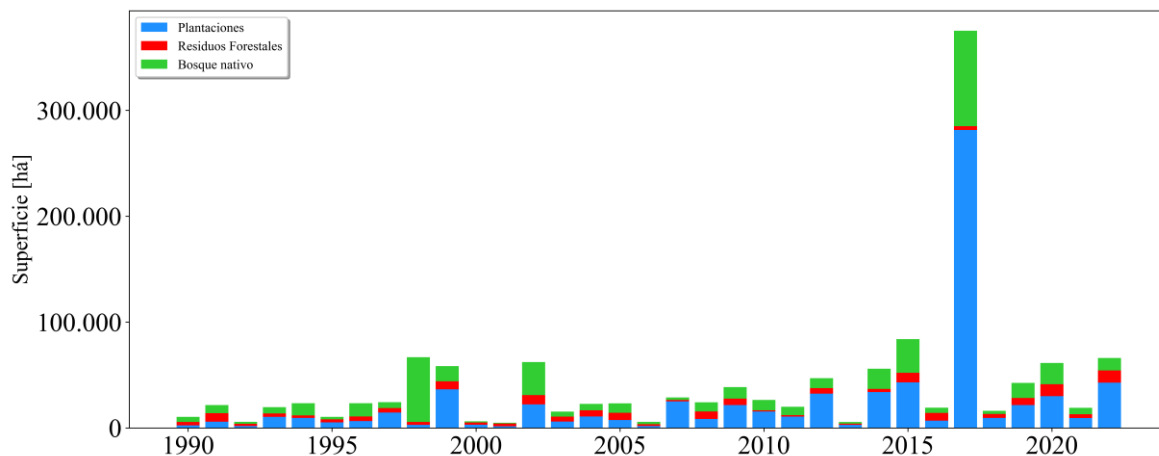


Figura 6-12. 4.A Superficie de incendios en tierras forestales (ha)

Fuente: Gerencia Manejo del Fuego (CONAF)

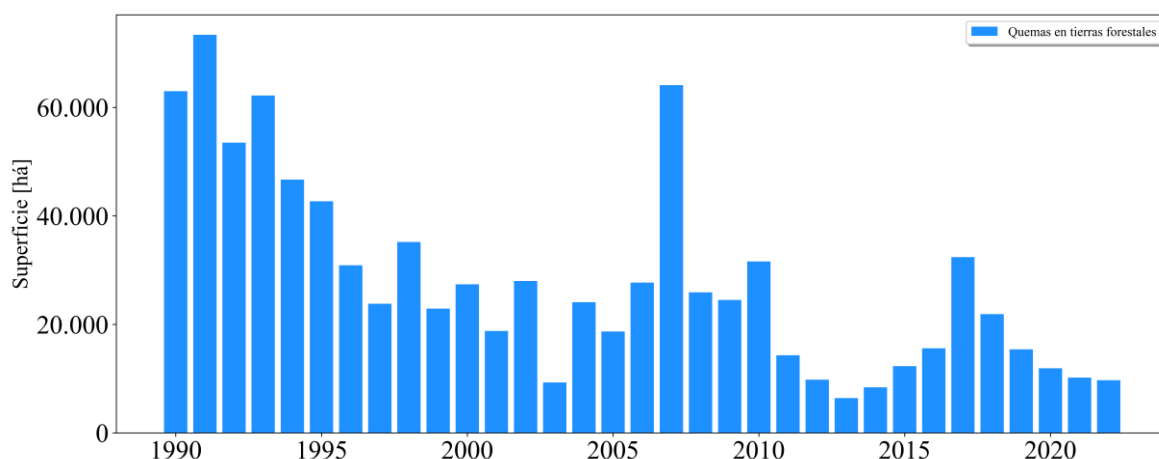


Figura 6-13. 4.A Superficie de quemas en tierras forestales (ha)

Fuente: Gerencia Manejo del Fuego (CONAF)

6.4.2.6 Factores de emisión aplicados en la categoría

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.

Biomasa

Crecimiento anual de plantaciones forestales y existencias: Los crecimientos anuales de volumen comercial de *Pinus radiata*, *Eucalyptus globulus* y *Eucalyptus nitens* utilizados han sido actualizados de acuerdo a los crecimientos del último estudio de disponibilidad de madera publicado por INFOR *Estudio de disponibilidad de madera de plantaciones de pino insigne y eucaliptos*. Periodo 2021-2051 (Büchner et al., 2022). Para el resto de las especies, se utilizaron las tasas de incremento de distintas fuentes bibliográficas según se detalla en la Tabla 6-21. Los valores se presentan en incremento anual de biomasa aérea, los detalles de volumen, factores de expansión y densidad básica se detallan en el Anexo 11.5.3.

Crecimiento anual de bosque nativo: Se utiliza la información de crecimiento que reporta el IFN, los datos de crecimiento corresponden al incremento periódico anual medio y se llevan a incremento anual de biomasa aérea (Tabla 6-22). Para el caso los bosques: Renovales, Reservas y Parques Nacionales, la información utilizada está detallada por clases diamétricas. Mayores detalles en Anexo 11.5.3.

Existencias forestales: los datos de volumen medio acumulado (existencias) se determinan por región (Tabla 6-23), por tipo forestal y etapa de desarrollo del bosque y provienen de los datos del IFN. Entre las regiones de Arica y Parinacota y Atacama se utilizaron los datos de biomasa acumulada presentada en inventarios anteriores (MMA, 2011). Para el caso de las existencias de plantaciones, se considera la información de crecimiento anual y la edad promedio de cosecha. Los detalles se encuentran en Anexo Sección 11.5.3.

Tabla 6-21. 4.A Tierras Forestales: incremento medio anual de plantaciones por especie y región administrativa (t/ha/año)

Especie/región	Ari	Tar	Ant	Ata	Coq	Val	Met	OHi	Mau	Ñub	Bio	Ara	Rio	Lag	Ais	Mag
Pino radiata						5,8	5,8	6,0	11,1	12,0	12,0	14,4	14,9	15,7		
E. globulus	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,0	3,1	5,6	6,4	13,5	11,4	9,3	9,4	9,4	9,4
E. nitens								15,0	23,2	24,2	26,7	26,7	22,7	27,1	27,1	27,1
E. gloni									15,3	17,3	20,0	21,5	19,1	20,0		
Esp. nativas	1,2	1,2	1,2	1,2	1,8	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	6,2	6,5	6,6	5,5	5,3	4,3
Otras especies	1,2	1,2	1,2	1,2	10,2	7,2	2,6	10,5	12,2	10,4	9,8	9,0	9,7	8,9	5,0	

Fuente: INGEI 1984/2006 (MMA, 2011), Büchner et al. (2022); INFOR – CONAF (1997), Moya et al. 2011, Quiroz et al. 2003, Pinilla et al. 2010 y Equipo Técnico de INFOR a partir de base de datos de parcelas permanentes del IFN (2021).

Tabla 6-22. 4.A Tierras Forestales: incremento periódico anual de bosque nativo por tipo forestal (t/ha/año)

Tipo forestal	Alerce	CGuai	Araucaria	CCor	Lenga	CoMag	Ro-Hua	Ro-Ra-Co	Co-Ra-Te	Escler	SV
Incremento periódico anual	0,4	3,4	4,0	4,3	4,3	3,1	6,1	6,6	4,8	1,2	5,2

Fuente: Equipo Técnico de INFOR a partir de base de datos de parcelas permanentes del IFN (2021).

Tabla 6-23. 4.A Tierras Forestales: existencias de bosque nativo por región (t/ha)

Región	Ari	Tar	Ant	Ata	Coq	Val	Met	OHi	Mau	Ñub	Bio	Ara	Rio	Lag	Ais	Mag
Bosque Nativo	9,0	9,0	9,0	9,0	25,0	22,5	29,0	42,6	124,3	182,1	182,1	243,8	289,0	235,1	250,0	216,4

Fuente: INGEI 1984/2006 (MMA, 2011) y Equipo Técnico de INFOR a partir de base de datos de parcelas permanentes del IFN (2021)

Relación entre biomasa subterránea (raíces) con biomasa aérea (R): los factores R provienen de información levantada en el país (Tabla 6-24). 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 6-24. 4.A Tierras Forestales: factor R (relación entre raíces y biomasa aérea) para especies de árboles forestales

Especie	Factor R
Especies Nativas	0,29
Pinus radiata	0,25
Eucalyptus spp.	0,22
Pseudotsuga menziesii	0,28
Otras especies	0,25 ¹

¹El valor de "Otras especies" corresponde al promedio de P. radiata, Eucaliptus y P. menziesii.

Fuente: Gayoso et al. (2002), Gayoso 2006

Materia orgánica muerta

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 6-25), se considera un contenido de carbono país específico de acuerdo con estudio de Gayoso *et al.* (2002).

Tabla 6-25. 4.A Tierras forestales: madera muerta (residuos gruesos y árboles muertos en pie) por tipo forestal (t/ha)

Tipo forestal	Biomasa Residuos gruesos	Biomasa Árboles Muertos en pie	Total (t/ha)	Factor de carbono ¹	Biomasa madera muerta (tC/ha)
ALERCE ¹	26,9	73,9	100,8	0,43	43,3
CIPRES DE LAS GUAITECAS				0,43	
ARAUCARIA ²	11,6	37,2	48,8	0,43	20,9
CIPRES DE LA CORDILLERA	1,0	36,2	37,2	0,43	16,0
LENGA	15,8	44,7	60,5	0,43	26,0
COIHUE DE MAGALLANES	77,5	54,5	132,0	0,43	56,7
ROBLE HUALO	5,4	62,6	68,0	0,43	29,2
ROBLE-RAULI-COIHUE	41,2	31,2	72,4	0,43	31,1
COIHUE-RAULI-TEPA	110,3	39,2	149,4	0,43	64,1
ESCLEROFILO	9,7	32,2	41,9	0,43	18,0
SIEMPREVERDE	56,1	52,8	108,9	0,43	46,7

* 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 actualizado al 2022.

Para la información de la hojarasca de plantaciones de pino radiata, *Eucaliptus globulus* y *Eucaliptus nitens* se utilizan valores específicos para el país. Para las especies nativas de plantaciones y el bosque nativo, se usan los valores de referencia del *Refinamiento de las Directrices del IPCC de 2006* para el clima sistema montañoso templado, según Tabla 2.2, Cap. 2, Vol.4 (Tabla 6-26).

Tabla 6-26. 4.A Tierras forestales: hojarasca por especie forestal por regiones (tC/ha)

Especie	País	Ari	Tar	Ant	Ata	Coq	Val	Met	OHi	Mau	Ñub	Bio	Ara	Rio	Lag	Ais	Mag
Pino radiata*	-			10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	8,3	8,3	11,5	9,5	8,7	9,4		
E. globulus*	-			9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,8	13,6	10,3	9,2	9,9		
E. nitens*	-			7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	9,1	12,9	10,4	9,5	10,4		
Esp. Nativas**	-	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4
Bosque Nativo**	-	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4

Fuente: * Olmedo et al. 2020, **Tabla 2.2, Cap. 2, Vol. 4, Refinamiento 2019 de *Directrices del IPCC de 2006*.

Carbono del suelo

Para cada una de las regiones del país se estimó el valor de carbono de referencia del suelo, considerando la participación de los distintos tipos de suelo (Tabla 6-27). Los detalles de la estimación por regiones se encuentran en el Anexo Sección 11.5.3.

Tabla 6-27. 4.A Tierras forestales: carbono de referencia por región administrativa (tC/ha)

Especie/región	SOC Ref (tC/ha)															
	Ari	Tar	Ant	Ata	Coq	Val	Met	OHi	Mau	Ñub	Bio	Ara	Rio	Lag	Ais	Mag
SOC Ref	12,8	18,4	18,4	17,0	21,2	24,0	24,0	24,0	27,2	122,4	122,4	112,3	102,1	114,3	114,4	103,9

Fuente: Elaborado por equipo sectorial Agricultura y UTCUTS a partir de Valores de Referencia de *Refinamiento 2019* de las *Directrices del IPCC de 2006*: Tabla 2.3 updated.

Perturbaciones

En el caso de las perturbaciones se consideran los incendios forestales, tanto de plantaciones forestales como de vegetación nativa. Se usa la Ecuación 2.14 de las *Directrices del IPCC de 2006*, donde el parámetro “fd” que define la proporción de biomasa que se pierde de la biomasa total acumulada (depósito de biomasa) se ha determinado para el país (Tabla 6-28). Los factores “fd” para incendios en plantaciones forestales de pino radiata y *Eucalyptus* spp se determinaron de acuerdo con información levantada en terreno en empresas asociadas de CORMA y fueron validadas en taller de expertos de incendios forestales. En el caso de plantaciones forestales de otras especies e incendios de bosque nativo, se mantienen los parámetros utilizados en el INGEI 1984-2006 que provienen de diagramas de flujo elaborados por juicio de expertos.

Emisiones no-CO2

Para el caso del factor de combustión en incendios de plantaciones forestales de pino radiata y *Eucalyptus* spp, se usa información actualizada de acuerdo con Olmedo *et al.* (2022) donde se hizo un trabajo de investigación con datos de terreno en incendios de plantaciones en el país que permitió obtener un factor de combustión diferenciado por especie para pino radiata y *Eucalyptus* spp. y además en el caso de pino radiata diferenciado por edad de la plantación afectada al momento del incendio. Para el resto de las plantaciones y bosques afectados por incendios forestales se utiliza el factor de combustión las *Directrices del IPCC de 2006* y corresponde a “todos los demás bosques de zonas templadas” (Tabla 6-28). Para el caso del factor de emisión, se utiliza el valor de la categoría “bosque tropical extra” según el Cuadro 2.5 de las *Directrices del IPCC de 2006*, ya que es la categoría que incluye todos los demás tipos de bosques.

Tabla 6-28. Factor fd y factor de combustión para incendios

Especie	Edad	Factor combustión	Factor “fd”	Fuente
Pino radiata	0-10	0,41	0,81	Factor combustión: Olmedo et al. (2022) Fd: CORMA (2022)
Pino radiata	11-17	0,31	0,58	
Pino radiata	> 18	0,27	0,45	
Eucalyptus	-	0,21	0,70	IPCC, 2006 (Tabla 2.6, Cap.2 Vol.4) Fd: Criterio experto
Plantaciones otras especies	-	0,45	0,81	
Bosque Nativo		0.45	0,73	

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

Pérdidas de biomasa de otros usos de la tierra

Para las *tierras que se convierten a tierras forestales* se utilizó la información de referencia de las *Directrices del IPCC de 2006* de biomasa (Tabla 6-29).

Tabla 6-29. Tierras convertidas en tierras forestales: biomasa acumulada

Categoría	Biomasa acumulada antes de la conversión (t ha ⁻¹)
Tierras de cultivo (Cultivo anual)	10,0
Pastizales ARI-MAU (warm temperate – dry)	6,1
Pastizales ÑUB-LAG (warm temperate –wet)	13,5
Pastizales AIS-MAG (cold temperate – wet)	12,0*
Humedales	Sin información
Asentamientos	2,0
Otras Tierras	0,0

Fuente: *Directrices del IPCC de 2006*: Cultivos anuales Tabla 5.9, Pastizales Tabla 6.4 (*: corresponde a valor de biomasa aérea de 2,4 de tabla 6.4 y R 4,0 de Tabla 6.1). Criterio Experto ISGEI 1984-2006 para Asentamientos

6.4.3 Descripción de cualquier flexibilidad aplicada en la categoría

No se ha implementado flexibilidad en esta categoría.

6.4.4 Incertidumbre y coherencia de la serie temporal de la categoría

La incertidumbre combinada de categoría, para el 2022, ha sido estimada para cada componente o especie. Un resumen de los resultados de la incertidumbre combinada se presenta en la Tabla 6-30.

Tabla 6-30. Tierras Forestales: incertidumbre combinada por fuente o sumidero de GEI

Fuente o sumidero	Gas	Incertidumbre en los datos de actividad		Incertidumbre en el factor de emisión		Incertidumbre combinada	
		(-)%	(+)%	(-)%	(+)%	(-)%	(+)%
Renovales	CO ₂	7%	7%	18%	18%	19%	19%
Planes de manejo (Ley Bosque nativo)	CO ₂	32%	32%	18%	18%	37%	37%
Parques y reservas nacionales	CO ₂	7%	7%	18%	18%	19%	19%
Plantaciones forestales	CO ₂	8%	8%	21%	21%	22%	22%
Cosecha	CO ₂	10%	10%	20%	20%	22%	22%
Leña	CO ₂	2%	2%	14%	14%	14%	14%
Perturbaciones – Bosque nativo	CO ₂	15%	15%	18%	18%	24%	24%
Perturbaciones – Plantaciones	CO ₂	15%	15%	21%	21%	26%	26%
Perturbaciones – Bosque nativo	CH ₄	15%	15%	107%	107%	108%	108%
Perturbaciones - Plantaciones	CH ₄	15%	15%	83%	83%	84%	84%
Perturbaciones – Bosque nativo	N ₂ O	15%	15%	89%	89%	90%	90%
Perturbaciones – Plantaciones	N ₂ O	15%	15%	58%	58%	60%	60%
Quema controlada de residuos forestales	CH ₄	15%	15%	107%	107%	108%	108%
Quema controlada de residuos forestales	N ₂ O	15%	15%	90%	90%	91%	91%
Tierras forestales con cambio de vegetación	CO ₂	14%	14%	22%	22%	26%	26%
Tierras convertidas en tierras forestales	CO ₂	22%	22%	17%	17%	28%	28%

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

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.

Para mantener la consistencia de la serie temporal 1990-2022 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.

6.4.5 AC/CC de la categoría

Se realiza aseguramiento de la calidad con controles de los datos de actividad y factores de emisión, revisión de estimaciones al interior del grupo de trabajo del sector UTCUTS y luego con validación por parte de la coordinación del SNICHile.

6.4.6 Nuevos cálculos

Para esta subcategoría se realizaron mejoras en la gestión de los datos de actividad, y se actualizaron datos paramétricos de crecimiento de plantaciones y materia orgánica muerta de bosque nativo. Esto llevó a realizar recálculos en las siguientes áreas:

Superficie de bosque nativo manejado

Se hizo una revisión de la superficie con planes de manejo en la serie histórica, debido a que existían dos o más actividades de manejo para un mismo rodal en años consecutivos. Además, se revisaron las actividades que corresponden a renovales. El principio de contabilidad requiere considerar a la unidad de bosque por una sola vez cuando ingresa por tener plan de manejo y luego se mantiene en la contabilidad durante toda la serie temporal. En la revisión se detectó que una misma unidad de bosque tenía varias actividades de manejo registradas y por lo tanto ingresaba más de una vez con la consecuente doble contabilidad, y además de detectaron actividades que correspondían a los renovales. La información se depuró y para el período 1990-2020 resultó en una disminución de un 88 % de la superficie total respecto al inventario anterior.

Actualización de la superficie de renovales

Se actualizó la información de la superficie de renovales considerando las coberturas del Catastro de Recursos Vegetacionales Nativos más recientes disponibles desde el sistema de Información Territorial (SIT) de CONAF. La información de superficie se actualizó en toda la serie temporal y para el año 2020 significó un aumento del 41 % de la superficie.

Cambio en los crecimientos de plantaciones forestales de las especies *Pinus radiata*, *Eucalyptus globulus* y *Eucalyptus nitens*

Se actualizó la última información disponible de crecimiento de plantaciones con el estudio de Disponibilidad de Madera de Plantaciones de Pino Radiata y Eucaliptos publicado en 2022. En este estudio, los crecimientos de plantaciones fueron actualizados debido a que las empresas contaron con mayor información de terreno, mejorando las cifras de crecimiento, y donde se puede mencionar la sequía y el efecto de plagas como factores importantes del cambio. En la Tabla 6-31 se pueden ver los cambios porcentuales de crecimiento, donde el mayor cambio se concentra en la disminución del crecimiento en las especies *Eucalyptus spp*, con el consecuente cambio en la disminución de absorciones anuales de carbono.

Tabla 6-31. Variaciones en crecimiento de las plantaciones de pino y *Eucalyptus spp* respecto a INGEI 5IBA

Región	E. globulus	E. nitens	P. radiata
Valparaíso	-18%		-18%
Metropolitana	-17%		-16%
O'Higgins	-17%		-11%
Maule	-33%	-2%	-9%
Ñuble	-32%	-7%	-2%
Biobío	-26%	-2%	4%
Araucanía	-23%	2%	9%
Los Ríos	-24%	-11%	31%
Los Lagos	-33%	-3%	33%

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

Diferenciación de especies forestales en plantaciones forestales

En este inventario se separó la información de plantaciones de *Eucalyptus gloni*, especie híbrida de *Eucalyptus* asignando sus tasas de crecimiento específicas. Además, se identificó la información de especies nativas que estaban clasificadas como otras especies. De esta manera es posible realizar un mejor seguimiento de las plantaciones. La información se actualizó dentro de toda la serie temporal.

Actualización de información de materia orgánica muerta de bosque nativo

Se actualizó la información de los valores de materia orgánica muerta de bosque nativo de acuerdo con el IFN actualizado al 2022, los valores cambiaron por tipo forestal y se pueden verificar en las tablas correspondientes de cada informe del INGEI.

Actualización de matriz de cambios de usos de la tierra

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, cambios entre las coberturas vegetacionales y cambios en las conversiones a tierras forestales.

Los resultados de todos los recálculos se presentan en la Tabla 6-32.

Tabla 6-32. Tierras Forestales: comparación entre el inventario previo y el inventario actual (kt CO₂ eq)

INGEI	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022
INGEI 5to IBA	-70.820,8	-65.579,1	-70.224,7	-61.995,2	-63.467,5	-44.041,6	-49.430,2		
INGEI 1er IBT	-85.128,9	-76.086,6	-78.312,7	-66.516,3	-65.389,3	-45.677,4	-50.868,9	-57.986,2	-53.210,5
Diferencia	-14.308,1	-10.507,5	-8.088,0	-4.521,1	-1.921,8	-1.635,8	-1.438,7		
Diferencia %	20,2%	16,0%	11,5%	7,3%	3,0%	3,7%	2,9%		

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

6.5 Tierras de cultivo (4.B)

6.5.1 Descripción y tendencia de los GEI 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 4.275.354 ha en el año 2022, y han disminuido desde 1990 en 10,2 %.

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 de los cultivos perennes y 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.

En 2022, el balance de GEI en *Tierras de cultivo* contabilizó una emisión neta de 859,3 kt CO₂ eq, aumentando en un 193,8 % desde 1990 y disminuyendo en un 5,2 % desde 2020 (Tabla 6-33 y Figura 6-14). 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. Por otra parte, la participación de cultivos perennes ha tenido un aumento de 36,6 % desde 1990 en su aporte a las absorciones de CO₂ y tiene una disminución de un 1,4 % de absorciones netas desde 2020.

Tabla 6-33. 4.B Tierras de Cultivo: balance de GEI por subcategoría (kt CO₂ eq)

Subcategoría	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022
Tierras de cultivo que permanecen como tal	-321,0	-330,2	-356,7	-441,6	-333,6	-468,2	-444,8	-328,2	-438,6
Tierras convertidas a tierras de Cultivo	642,4	925,1	1.207,8	1.490,5	1.716,7	1.464,2	1.389,0	1.343,5	1.297,9
Tierras Forestales	326,6	383,0	439,4	495,8	540,9	583,3	666,4	659,7	653,0
Pastizales	316,2	544,5	772,8	1.001,1	1.183,8	888,6	728,0	689,1	650,2
Humedales	0,2	0,9	1,7	2,5	3,1	3,0	4,9	4,8	4,7
Asentamientos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1
Otras tierras	-0,6	-3,3	-6,1	-8,9	-11,2	-10,8	-10,4	-10,3	-10,1
Balance	321,4	594,9	851,1	1.048,9	1.383,1	995,9	944,2	1.015,2	859,3

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

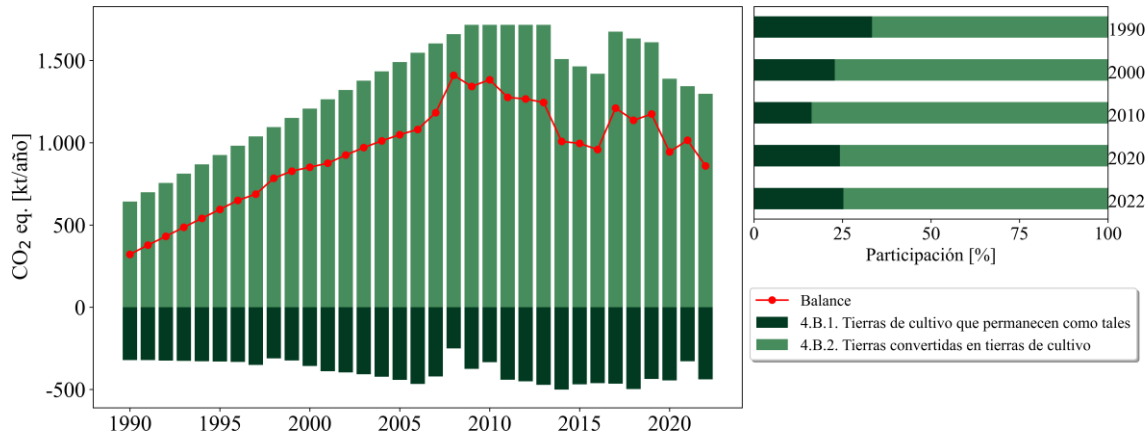


Figura 6-14. 4.B Tierras de Cultivo: balance de GEI por subcategoría (kt CO2 eq), 1990-2022

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

En el caso específico de las conversiones de tierras a tierras de cultivo, las tierras forestales y pastizales son las que tienen una mayor participación en las conversiones, y en particular, se destaca un leve incremento de conversiones de tierras forestales a tierras de cultivo en el período 2017-2019 y que luego desciende en los tres últimos años de la serie temporal (Figura 6-15).

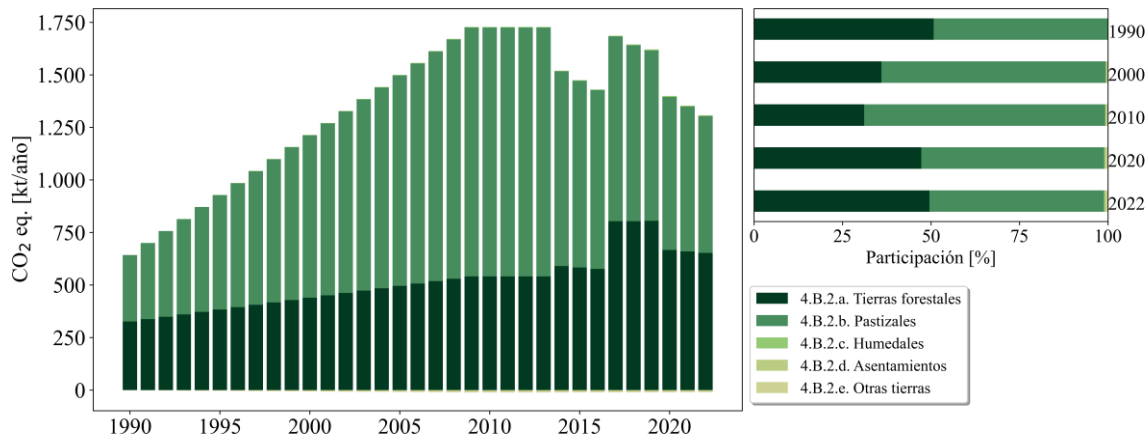


Figura 6-15. 4.B.2 Tierras convertidas a tierras de cultivo: emisiones de GEI por subcategoría (kt CO2 eq), 1990-2022

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 6-16) donde las pérdidas de carbono de suelo tienen la mayor importancia, alcanzando en el 2022 una participación del 42,1 %. Las pérdidas de carbono del suelo provienen de los cambios de tierras a tierras de cultivo, que al convertirse en *tierras de cultivo* tienen una pérdida de carbono asociado al manejo del suelo, por otra parte, las pérdidas de biomasa y de materia orgánica muerta provienen de las pérdidas por conversión de *tierras forestales* en *tierras de cultivo*. También se observa la importancia de las absorciones de carbono en la biomasa a través de los cultivos perennes que han aumentado su absorción neta en la serie temporal en la medida que aumentan las superficies de frutales perennes, participando en un 25 % en términos absolutos en el año 2022.

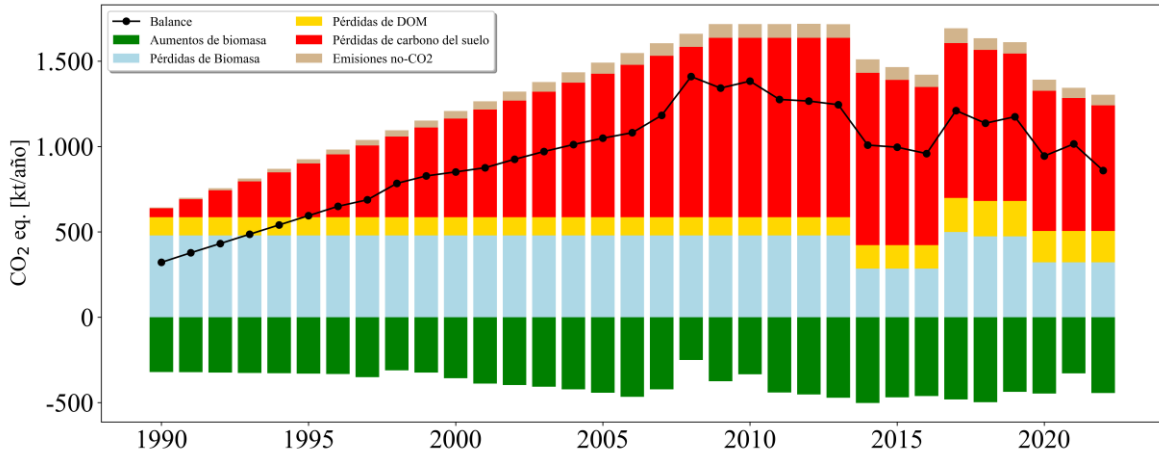


Figura 6-16. 4.B Tierras de cultivo: emisiones y absorciones de por depósito de carbono (kt CO2 eq), 1990-2022

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

6.5.2 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* (Tabla 6-5). El método Nivel 2 proviene de las estimaciones realizadas para las *Tierras forestales*. Ambos métodos de acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006*. La descripción por depósito de carbono se detalla a continuación.

6.5.2.1 Biomasa

Para las *tierras de cultivo que permanecen como tal*, el cambio anual de la biomasa se estima usando la Ecuación 2.7 de las *Directrices del IPCC de 2006* (Ecuación 6-1). Los cultivos perennes se agrupan en las categorías de, frutales, olivos y vid y se considera el crecimiento anual en base al *Refinamiento 2019 de las Directrices del IPCC de 2006*. Por otra parte, se estima la cosecha anual, por la diferencia anual que existe en la superficie de cada categoría. De esta manera, se tiene un crecimiento y una pérdida anuales para cada una de las categorías de cultivos perennes.

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.

6.5.2.2 Materia Orgánica Muerta

Para las *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.

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.

6.5.2.3 Carbono del suelo

Para las *tierras de cultivo que permanecen como tal* 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.

Para el caso de tierras convertidas en tierras de cultivo se considera la aplicación de la Ecuación 6-10, con base en las Directrices del IPCC de 2006.

6.5.2.4 Emisiones no-CO₂

Las emisiones no-CO₂ asociadas a incendios en tierras de cultivo sigue la metodología de la Sección 6.5.1.4.

6.5.2.5 Emisiones de N₂O desde suelos manejados

Se han estimado las emisiones directas de óxido nitroso producto de la mineralización de Nitrógeno asociado a las pérdidas de materia orgánica del suelo que resulta del cambio de uso de la tierra a tierras de cultivo. Esto se realiza con método Nivel 1 de las Directrices del IPCC del 2006, de acuerdo a la Ecuación 6-12.

Ecuación 6-12. N mineralizado en suelos minerales como resultado de la pérdida de carbono del suelo debido a cambios de uso de la tierra

$$F_{SOM} = \sum_{LU} \left[\left(\Delta C_{Mineral,LU} * \frac{1}{R} \right) * 1000 \right]$$

Fuente: Ecuación 11.8; Cap. 11, Vol 4. de las *Directrices del IPCC de 2006*

6.5.2.6 Datos de actividad específicos de la categoría

Superficie de frutales

Se cuenta con información de la superficie de frutales (Tabla 6-34) 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 que realiza el equipo del sector Agricultura del INGEI.

Superficie de incendios

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 claramente diferenciada entre 2003-2022, 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 6-17 y Anexo Sección 11.5.2 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.

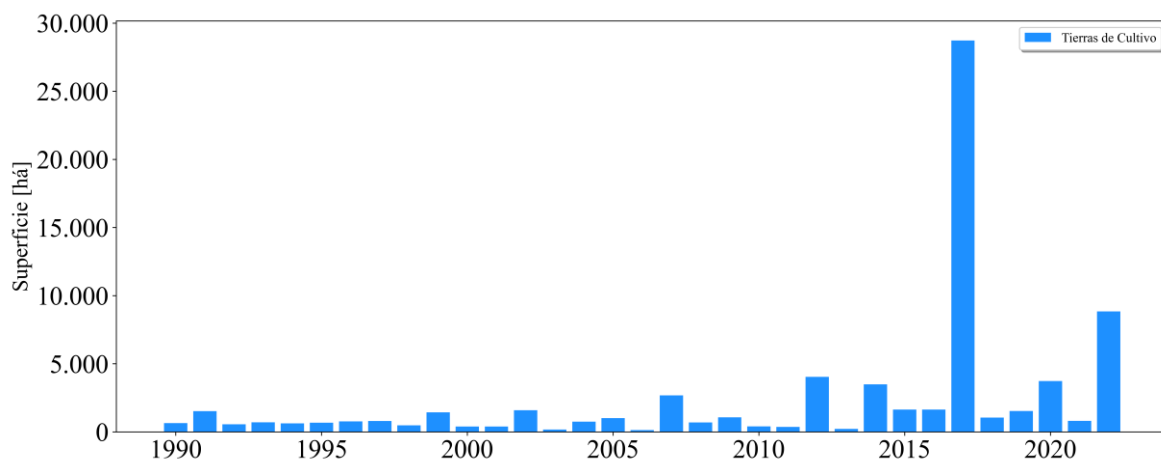


Figura 6-17. 4.B.1 Superficie de incendios en tierras de cultivo (ha), 1990-2022

Fuente: Gerencia Manejo del Fuego (CONAF)

Tabla 6-34. 4.B Tierras de Cultivo: Datos de actividad, superficie de cultivos perennes por tipo de frutales (frutales mayores, olivos y vid) (ha)

Año	Frutales mayores	Olivo	Vid
1990	128.498	5.323	111.353
1991	128.498	5.323	112.266
1992	128.926	5.325	113.578
1993	129.355	5.328	114.890
1994	129.784	5.330	116.202
1995	130.495	5.366	117.298
1996	133.881	5.538	118.256
1997	137.455	5.732	126.039
1998	138.687	5.684	136.944
1999	139.967	5.642	146.996
2000	142.167	6.006	165.359
2001	145.258	6.398	168.909
2002	148.203	7.252	170.888
2003	152.133	8.291	173.153
2004	158.679	9.724	176.391
2005	166.474	11.395	180.818
2006	176.420	13.629	185.453
2007	191.481	16.392	192.898
2008	190.446	17.100	185.045
2009	188.939	18.221	187.570
2010	188.495	18.596	185.399
2011	188.640	19.444	192.131
2012	189.001	20.210	193.344

Año	Frutales mayores	Olivo	Vid
2013	190.330	21.082	193.599
2014	193.402	21.264	199.267
2015	196.473	21.446	197.172
2016	200.610	21.635	195.074
2017	205.676	22.042	193.125
2018	210.814	22.125	193.384
2019	217.753	21.473	188.878
2020	227.668	20.460	185.164
2021	233.981	19.417	181.293
2022	231.551	19.923	180.393

Fuente: Superficie de frutales perennes elaborada por equipo de INGEI Sector Agricultura; superficie de incendios en tierras de cultivo CONAF

6.5.2.7 Factores de emisión aplicados en la categoría

Biomasa

Para los cultivos perennes en tierras de cultivo que permanecen como tal se estiman los cambios en los stocks de carbono utilizando los valores actualizados del *Refinamiento 2019 de las Directrices del IPCC de 2006* (Tabla 6-35). Para el caso de las tierras que se convierten a tierras de cultivo, se utilizan los valores paramétricos que corresponden a cada categoría de tierras.

Materia Orgánica Muerta

Para el caso de las tierras convertidas en tierras de cultivo se considera para las tierras forestales convertidas a tierras de cultivo y los datos paramétricos se encuentran en la sección respectiva.

Carbono del suelo

En base a los valores de referencia para el carbono del suelo (Tabla 6-27) se consideran los factores de cambio (Tabla 6-35), que fueron establecidos por criterio de expertos del Sector Agricultura del INGEI.

Emisiones no-CO2 incendios

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 6-35).

Emisiones de N2O desde suelos manejados

Se utilizan los factores de emisión por defecto de las *Directrices del IPCC de 2006* (Tabla 6-35).

Tabla 6-35. 4.B Tierras de Cultivo: factores de emisión aplicados por fuente o sumidero de GEI

Fuente o sumidero de GEI	GEI	Valor	Unidad	Variable
Cultivos perennes – Frutales	CO ₂	0,43	tC/ha/año	Incremento medio anual biomasa aérea
Cultivos perennes - Olivos	CO ₂	0,46	tC/ha/año	Incremento medio anual biomasa aérea
Cultivos perennes – Vid	CO ₂	0,28	tC/ha/año	Incremento medio anual biomasa aérea
Cultivos perennes – Frutales	CO ₂	8,5	tC/ha	Stock máximo biomasa aérea
Cultivos perennes - Olivos	CO ₂	9,1	tC/ha	Stock máximo biomasa aérea
Cultivos perennes – Vid	CO ₂	5,5	tC/ha	Stock máximo biomasa aérea
Cultivos perennes – Frutales	CO ₂	20	años	Edad cosecha/madurez
Cultivos perennes - Olivos	CO ₂	20	años	Edad cosecha/madurez
Cultivos perennes – Vid	CO ₂	20	años	Edad cosecha/madurez
Biomasa Cultivos incendios	No- CO ₂	10,0	t/ha	Biomasa cultivos
Biomasa Cultivos incendios	No- CO ₂	0,7		Factor de biomasa incendiada*
Biomasa Cultivos incendios	No- CO ₂	8,4	t/ha	Biomasa total incendiada
Carbono del suelo	CO ₂	0,8		FLU Regiones Ari - Mau

Fuente o sumidero de GEI	GEI	Valor	Unidad	Variable
Carbono del suelo	CO ₂	0,69		FLU Regiones Ñub - Mag
Carbono del suelo	CO ₂	1		FMG País
Carbono del suelo	CO ₂	1		FI País
Emisiones directas de N ₂ O	N ₂ O	0.01	Kg N ₂ O-N (kgN) ⁻¹	EF1 para N mineralizado

Fuente: Directrices del IPCC de 2006 (Tabla 5.9 y Tabla 11.1), Refinamiento 2019 de las Directrices del IPCC de 2006 (Tabla 5.3), y *Factor biomasa incendiada juicio experto

6.5.3 Descripción de cualquier flexibilidad aplicada en la categoría

No se ha implementado flexibilidad en esta categoría.

6.5.4 Incertidumbre y coherencia de la serie temporal de la categoría

La incertidumbre combinada de categoría, para el 2022, ha sido estimada para cada componente o especie. Un resumen de los resultados de la incertidumbre combinada se presenta en la Tabla 6-36.

Tabla 6-36. 4.B Tierras de Cultivo: incertidumbre combinada por fuente o sumidero de GEI

Fuente o sumidero de GEI	GEI	Incertidumbre de datos de actividad		Incertidumbre de factores de emisión		Incertidumbre combinada	
		(-) %	(+) %	(-) %	(+) %	(-) %	(+) %
Tierras de cultivo que permanecen como tales	CO ₂	52,7%	52,7%	39,1%	39,1%	65,6%	65,6%
Tierras de cultivo que permanecen como tales	CH ₄	15,0%	15,0%	127,9%	127,9%	128,8%	128,8%
Tierras de cultivo que permanecen como tales	N ₂ O	15,0%	15,0%	138,5%	138,5%	139,3%	139,3%
Tierras convertidas en tierras de cultivo	CO ₂	22,0%	11,1%	7,8%	7,8%	23,4%	23,4%

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

Para mantener la consistencia de la serie temporal 1990-2022 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.

6.5.5 AC/CC de la categoría

Se realiza aseguramiento de la calidad con controles de los datos de actividad y factores de emisión, revisión de estimaciones al interior del grupo de trabajo del sector UTCUTS y luego con validación por parte de la coordinación del SNICHile.

6.5.6 Nuevos cálculos

Estimación de cambios de stocks carbono en cultivos perennes

Se ha incluido la información de cambios de stocks de carbono de los cultivos perennes con un nivel metodológico 1.

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.

Estimación de las emisiones directas de N2O

Se ha incorporado las estimaciones de las emisiones directas de óxido nitroso asociado a la pérdida de materia orgánica producto del cambio de uso de la tierra a tierras de cultivo.

En la Tabla 6-37 se observa cómo variaron las emisiones de GEI de esta categoría respecto del inventario anterior. Esto generó, en suma, una disminución de las emisiones de GEI de la categoría en un promedio de 122,4 kt CO₂ eq anuales durante la serie 1990-2020.

Tabla 6-37. 4.B Tierras de cultivo: comparación entre el inventario previo y el inventario actual (kt CO₂ eq)

INGEI	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022
INGEI 5to IBA	474,7	702,0	929,1	1.217,8	1.488,3	1.073,2	1.164,1		
INGEI 1er IBT	321,4	594,9	851,1	1.048,9	1.383,1	995,9	944,2	1.015,2	859,3
Diferencia	-153,4	-107,1	-78,0	-169,0	-105,3	-77,2	-219,9		
Diferencia %	-32,3%	-15,3%	-8,4%	-13,9%	-7,1%	-7,2%	-18,9%		

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

6.6 Pastizales (4.C)

6.6.1 Descripción y tendencia de los GEI 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 2022 se cuenta con una superficie de 28.672.813 ha (Equipo CONAF para INGEl) y ha disminuido desde 1990 en 4,2%.

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.

En 2022, el balance de GEI contabilizó una emisión de 677,1 kt CO₂ eq. Las emisiones han disminuido en 85% desde 1990 y han aumentado en 14 % desde 2020 (Tabla 6-38, Figura 6-18). Para el caso de las tierras de pastizales que permanecen como tales, se contabilizan las emisiones no-CO₂ de incendios que ocurren en esta categoría. En 2022, el balance de GEI de esta subcategoría contabilizó 65,06 kt CO₂ eq, aumentando en 336% desde 1990 y aumentando en un 46% desde 2020. Se observa una variabilidad en la serie temporal que se relaciona directamente con la variabilidad de ocurrencia de incendios en el país.

Tabla 6-38. 4. C Pastizales: balance de GEI por subcategoría (kt CO2 eq)

Subcategoría	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022
Pastizales que permanecen como tal	14,92	13,21	10,01	35,42	29,96	45,08	44,62	18,76	65,06
Tierras convertidas a pastizales	4.447,1	4.293,3	4.139,6	3.991,0	3.862,8	2.248,3	551,0	581,5	612,1
Tierras Forestales convertidas a Pastizales	4.345,4	4.345,4	4.345,4	4.350,6	4.345,4	2.788,0	1.023,2	1.023,2	1.023,2
Tierras de Cultivo convertidas a Pastizales	101,7	-52,1	-205,8	-359,5	-482,5	-539,6	-431,6	-401,1	-370,6
Humedales convertidos a Pastizales	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Asentamientos convertidos a Pastizales	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Otras Tierras convertidas a Pastizales	-0,0	-0,0	-0,0	-0,1	-0,1	-0,1	-40,5	-40,5	-40,5
Balance	4.462,0	4.306,5	4.149,6	4.026,4	3.892,8	2.293,3	595,6	600,3	677,1

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

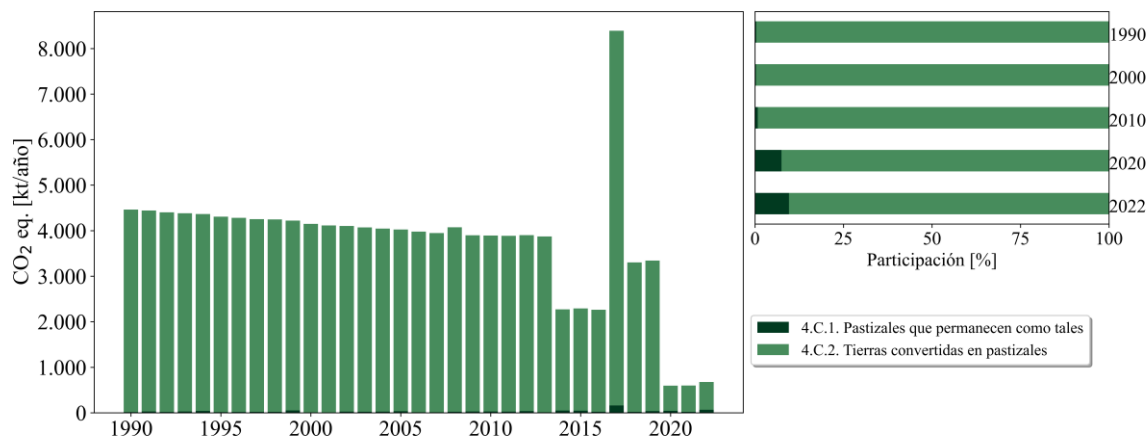


Figura 6-18. 4. C Pastizales: balance de GEI por subcategoría (kt CO2 eq), 1990-2022

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

Las tierras convertidas a pastizales son las más importantes en términos de emisiones, en 2022, el balance de CO₂ de esta subcategoría contabilizó 612,1 kt CO₂ eq, disminuyendo en 86 % desde 1990 y aumentando en 11 % desde 2020 (Figura 6-19). 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.

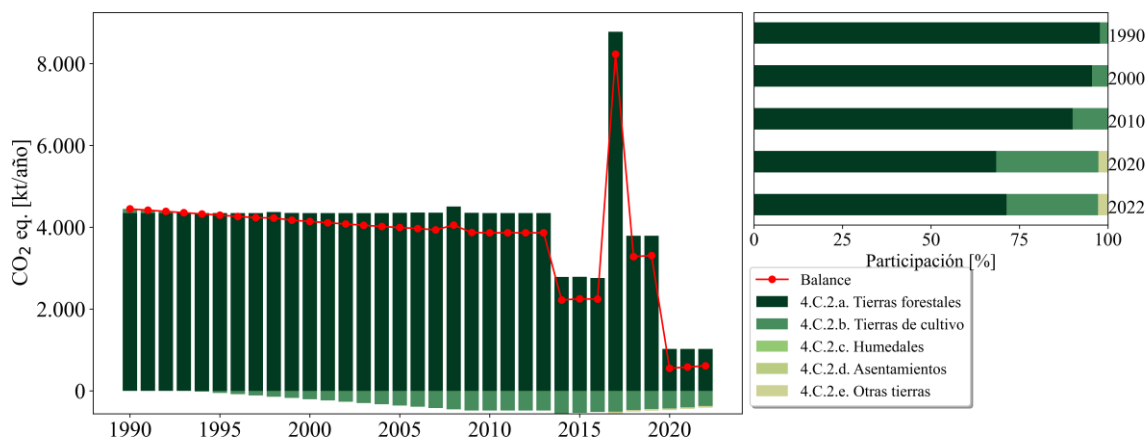


Figura 6-19. 4.C.2 Tierras convertidas a Pastizales: balance de GEI por subcategoría (kt CO2 eq), 1990-2022

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

El impacto de las conversiones de tierras a pastizales se refleja en los depósitos de carbono (Figura 6-20), en el 2022, la pérdida de biomasa alcanza un 49 %, seguido por los aumentos de carbono del suelo con un 28 %. Las pérdidas de carbono de la biomasa y de la materia orgánica muerta provienen del cambio de tierras forestales a pastizales, y el aumento del depósito de carbono del suelo, se debe al cambio de tierras de cultivo a pastizales.

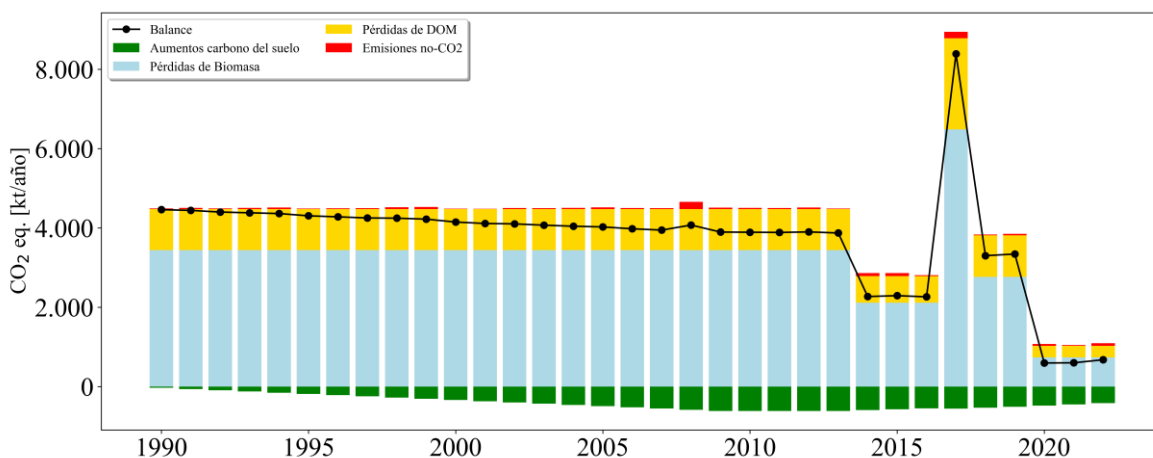


Figura 6-20. 4.C.2 Tierras convertidas a Pastizales: emisiones y absorciones por depósito de carbono (kt CO2 eq), 1990-2022

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

6.6.2 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* (Tabla 6-5). El método Nivel 2 se aplica en las estimaciones realizadas para las *Tierras forestales* en *Tierras convertidas en pastizales*.

6.6.2.1 Biomasa

Para el caso de los *Pastizales que permanecen como tal* 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 la Ecuación 6-11.

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.

6.6.2.2 Materia Orgánica Muerta

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.

6.6.2.3 Carbono del suelo

Para los *pastizales que permanecen como tal*, 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 6-10 (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).

6.6.2.4 Emisiones no-CO₂

Las emisiones no-CO₂ asociadas a incendios en pastizales sigue la metodología de la Sección 6.5.1.4.

6.6.2.5 Datos de actividad específicos de la categoría

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 6-21 y Anexo 11.5.2 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.

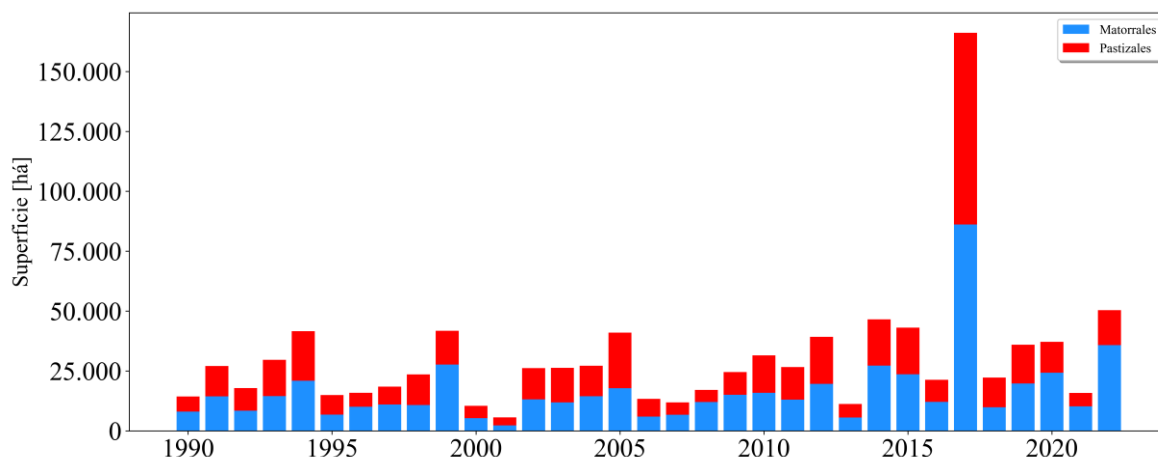


Figura 6-21. 4.C.1 Superficie de incendios en Pastizales (ha)

Fuente: Gerencia Manejo del Fuego (CONAF)

6.6.2.6 Factores de emisión aplicados en la categoría

Biomasa

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, que permitan avanzar a una metodología de nivel superior. 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.

Materia Orgánica Muerta

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

Carbono del suelo

Se consideran los factores de cambio de acuerdo con la Tabla 6-39.

Emisiones no-CO2

Para el caso de los valores de consumo de biomasa combustible que se considera para las emisiones no-CO2, se usa para incendios en matorrales la información de las *Directrices del IPCC de 2006* reportadas en la tabla 2.4 para el tipo de vegetación “todos los matorrales”. Para el caso de incendios en tierras de pastizales se usa la información de biomasa de la Tabla 6-29 y el factor de combustión de la tabla 2.6 *Directrices del IPCC de 2006* que corresponden a sabana (Tabla 6-39).

Tabla 6-39. Pastizales: factores de cambio de existencias de carbono del suelo.

Fuente o sumidero de GEI	GEI	Valor	Unidad	Variable
Incendios Matorrales	No- CO ₂	14,3	t/ha	Biomasa incendiada matorrales
Incendios Matorrales	No- CO ₂	1		Factor de combustión matorrales
Incendios Pastizales	No- CO ₂	0,86		Factor de combustión pastizales
Carbono del suelo	CO ₂	1		FLU
Carbono del suelo	CO ₂	1		FMG
Carbono del suelo	CO ₂	1		FI

Fuente: Directrices del IPCC de 2006 (Tabla 2.4; Tabla 2.6);

6.6.3 Descripción de cualquier flexibilidad aplicada en la categoría

No se ha implementado flexibilidad en esta categoría.

6.6.4 Incertidumbre y coherencia de la serie temporal de la categoría

La incertidumbre combinada de categoría, para el 2022, ha sido estimada para cada componente o especie. Un resumen de los resultados de la incertidumbre combinada se presenta en la Tabla 6-40.

Tabla 6-40. 4.C Pastizales: incertidumbre combinada por fuente o sumidero de GEI

Fuente o sumidero de GEI	GEI	Incertidumbre de datos de actividad		Incertidumbre de factores de emisión		Incertidumbre combinada	
		(-) %	(+) %	(-) %	(+) %	(-) %	(+) %
Pastizales que permanecen como tal	CH ₄	15,0%	15,0%	127,0%	127,0%	127,9%	127,9%
Pastizales que permanecen como tal	N ₂ O	15,0%	15,0%	137,7%	137,7%	138,5%	138,5%
Tierras convertidas a Pastizales	CO ₂	22,0%	22,0%	10,8%	10,8%	24,5%	24,5%

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

Para mantener la consistencia de la serie temporal 1990-2022 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.

6.6.5 AC/CC de la categoría

Se realiza aseguramiento de la calidad con controles de los datos de actividad y factores de emisión, revisión de estimaciones al interior del grupo de trabajo del sector UTCUTS y luego con validación por parte de la coordinación del SNICHile.

6.6.6 Nuevos cálculos

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.

En la Tabla 6-41 se observa cómo variaron las emisiones de GEI de esta categoría respecto del inventario anterior. 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 1.654,2 kt CO₂ eq anuales durante la serie 1990-2020.

Tabla 6-41. 4.C Pastizales: comparación entre el inventario previo y el inventario actual (kt CO₂ eq)

INGEI	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022
INGEI 5to IBA	7.975,9	7.841,4	7.705,5	5.301,1	3.591,8	2.935,6	4.201,3		
INGEI 1er IBT	4.462,0	4.306,5	4.149,6	4.026,4	3.892,8	2.293,3	595,6	600,3	677,1
Diferencia	-3.513,9	-3.534,9	-3.555,9	-1.274,7	301,1	-642,3	3.605,7		
Diferencia %	-44,1%	-45,1%	-46,1%	-24,0%	8,4%	-21,9%	-85,8%		

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

6.7 Humedales (4.D)

6.7.1 Descripción y tendencia de los GEI 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 2.262.536 ha en el año 2022 disminuyendo en 0,05 % desde 1990 (CONAF, 2024).

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.

En 2022, el balance de GEI contabilizó una emisión de 11,8 kt CO₂ eq. Las emisiones han disminuido en 64 % desde 1990 y no presenta cambios desde 2020 (Tabla 6-42). Las tierras convertidas a humedales son las que generan emisiones por las pérdidas del depósito de carbono de la biomasa. Para el caso de la subcategoría *Humedales que permanecen como tales* no se estiman las emisiones por falta de información suficiente de datos de actividad. Respecto de las emisiones de GEI, las *tierras forestales convertidas a humedales* son las de mayor impacto en las emisiones de los Humedales con un 98 %. La 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 (Figura 6-22).

Tabla 6-42. 4.D Humedales: balance de GEI por subcategoría (kt CO₂ eq)

Subcategoría	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022
Humedales que permanecen como tal	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
Tierras convertidas en Humedales	32,9	32,9	32,9	32,9	32,9	13,7	11,8	11,8	11,8
Tierras Forestales	21,6	21,6	21,6	21,6	21,6	12,6	11,6	11,6	11,6
Tierras de Cultivo	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3	0,2	0,1	0,1	0,1
Pastizales	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	0,8	0,2	0,2	0,2
Asentamientos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Otras tierras	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Balance	32,9	32,9	32,9	32,9	32,9	13,7	11,8	11,8	11,8

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI, con base en hoja **Table10s1** del CRT.

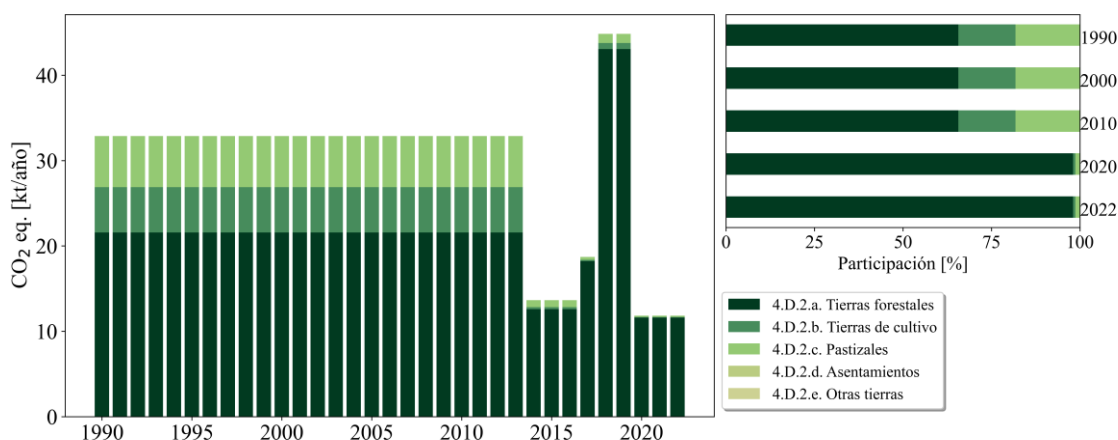


Figura 6-22.4.D Humedales: Tierras convertidas a humedales, balance de GEI por subcategoría (kt CO₂ eq), 1990-2022

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

6.7.2 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* (Tabla 6-5).

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, según la Ecuación 7.10 de las *Directrices del IPCC de 2006* (Cap. 7, Vol 4).

6.7.2.1 Datos de actividad específicos de la categoría

Los datos de actividad provienen de la matriz de cambio de usos de la tierra, que entrega las conversiones a humedales, específicamente a tierras inundadas.

6.7.2.2 Factores de emisión aplicados en la categoría

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 uso 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 Descripción de cualquier flexibilidad aplicada en la categoría

No se ha implementado flexibilidad en esta categoría.

6.7.4 Incertidumbre y coherencia de la serie temporal de la categoría

La incertidumbre combinada de categoría, para el 2022, ha sido estimada para cada componente o especie. Un resumen de los resultados de la incertidumbre combinada se presenta en la Tabla 6-43.

Tabla 6-43. 4. D Humedales: incertidumbre combinada por fuente o sumidero de GEI

Fuente o sumidero de GEI	GEI	Incertidumbre de datos de actividad		Incertidumbre de factores de emisión		Incertidumbre combinada	
		(-) %	(+) %	(-) %	(+) %	(-) %	(+) %
Tierras convertidas a humedales	CO ₂	22,0%	22,0%	17,9%	17,9%	28,4%	28,4%

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

Para mantener la consistencia de la serie temporal 1990-2022 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.

6.7.5 AC/CC de la categoría

Se realiza aseguramiento de la calidad con controles de los datos de actividad y factores de emisión, revisión de estimaciones al interior del grupo de trabajo del sector UTCUTS y luego con validación por parte de la coordinación del SNICHile.

6.7.6 Nuevos cálculos

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.

En la Tabla 6-44 se observa cómo variaron las emisiones de GEI de esta categoría respecto del inventario anterior. La diferencia se debe al cambio de las superficies de conversión de tierras a humedales. Esto generó una disminución de las emisiones GEI de la categoría en un promedio de 22,6 kt CO₂ eq anuales durante la serie 1990-2020.

Tabla 6-44. 4.D Humedales: comparación entre el inventario previo y el inventario actual (kt CO₂ eq)

INGEI	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022
INGEI previo	82,3	82,3	82,3	63,4	41,8	4,5	4,7	0,0	0,0
INGEI actual	32,9	32,9	32,9	32,9	32,9	13,7	11,8	11,8	11,8
Diferencia	-49,4	-49,4	-49,4	-30,6	-8,9	9,2	7,2		
Diferencia %	-60,0%	-60,0%	-60,0%	-48,2%	-21,3%	206,6%	60,7%		

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

6.8 Asentamientos (4.E)

6.8.1 Descripción y tendencia de los GEI 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 (2024), los asentamientos abarcan una superficie de 866.706 ha en el país, y esta superficie ha aumentado desde 1990 en 110 %, en directa relación con 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.

En 2022, el balance de GEI contabilizó una emisión de 651,6 kt CO₂ eq. Las emisiones han aumentado en un 97 % desde 1990 y han aumentado en 5,2 % desde 2020 (Tabla 6-45), estas emisiones corresponden a las conversiones de tierras a asentamientos. 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. Las *Tierras Forestales* convertidas a asentamientos son las de mayor aporte en las emisiones con un 64,5 % seguido por *Pastizales* con un 19,7 % y *Tierras de cultivo* con un 15,6 % (Figura 6-23). 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 6-45. 4.E Asentamientos: balance de GEI por subcategoría (kt CO2 eq)

Subcategoría	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022
Asentamientos que permanecen como tales									
Tierras convertidas a Asentamientos:	331,1	406,6	482,0	557,4	617,7	419,9	619,2	661,0	651,6
Tierras Forestales	109,4	118,0	126,6	135,2	142,0	135,7	367,5	419,4	420,1
Tierras de Cultivo	137,7	166,7	195,6	224,6	247,8	126,2	111,4	106,5	101,6
Pastizales	84,0	121,5	158,9	196,4	226,3	156,5	138,9	133,7	128,6
Humedales	0,1	0,5	0,9	1,3	1,6	1,5	1,4	1,4	1,4
Otras Tierras	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Balance	331,1	406,6	482,0	557,4	617,7	419,9	619,2	661,0	651,6

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

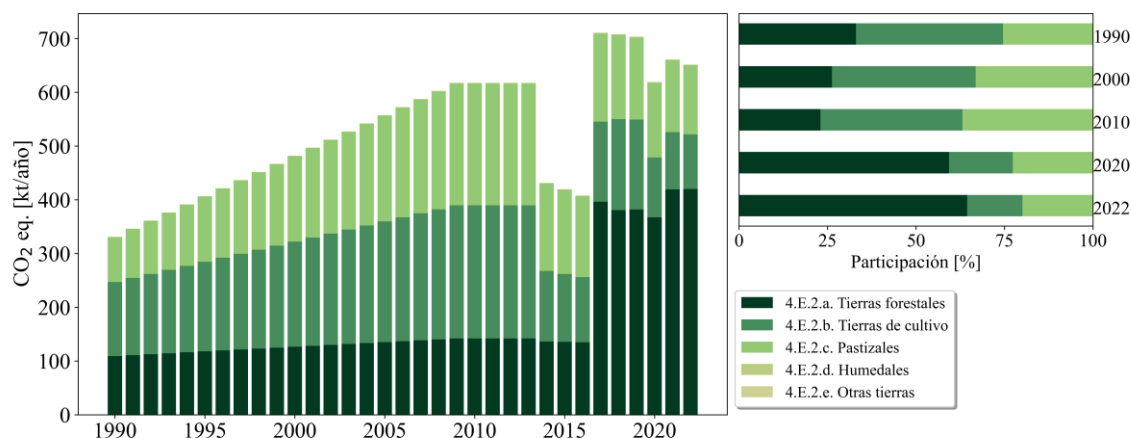


Figura 6-23. 4.E Asentamientos: balance de GEI por subcategoría (kt CO2 eq), 1990-2022

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

6.8.2 Aspectos metodológicos de la categoría

Para la estimación de las emisiones y absorciones de CO₂ de la categoría Asentamientos se aplicó método Nivel 1 y Nivel 2 de acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006* (Tabla 6-5). El método Nivel 2 se aplica en las estimaciones realizadas para las Tierras forestales convertidas en Asentamientos.

Asentamientos que permanecen como tal

Las emisiones y absorciones de CO₂ de *Asentamientos que permanecen como tales* se consideran metodológicamente según un nivel 1 de las *Directrices del IPCC de 2006*, para todos los depósitos de carbono, biomasa, materia muerta y hojarasca y carbono del suelo (Tabla 6-5).

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_{DESPUÉS}) es, por lo tanto, cero.

Para la materia orgánica muerta se considera que 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.

Para el carbono del suelo se considera la aplicación de la Ecuación 6-10. 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).

Emisiones de N₂O desde suelos manejados

Se han estimado las emisiones directas de óxido nitroso producto de la mineralización de Nitrógeno asociado a las pérdidas de materia orgánica del suelo que resulta del cambio de uso de la tierra a tierras de cultivo. Esto se realiza con método Nivel 1 de las Directrices del IPCC del 2006, de acuerdo con la Ecuación 6-12.

6.8.2.1 Datos de actividad específicos de la categoría

Los datos de actividad estadísticos provienen de las tasas anuales de cambio de usos de la tierra.

6.8.2.2 Factores de emisión aplicados en la categoría

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.

Se toman los valores de referencia para el carbono del suelo de acuerdo con el *Refinamiento 2019 de las 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 6-46, establecidos por criterio experto.

Emisiones de N₂O desde suelos manejados

Se utilizan los factores de emisión por defecto de las *Directrices del IPCC de 2006* (Tabla 6-35).

Tabla 6-46. 4.E Asentamientos: factores de cambio para carbono de 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 Descripción de cualquier flexibilidad aplicada en la categoría

No se ha implementado flexibilidad en esta categoría.

6.8.4 Incertidumbre y coherencia de la serie temporal de la categoría

La incertidumbre combinada de categoría, para el 2022, ha sido estimada para cada componente o especie. Un resumen de los resultados de la incertidumbre combinada se presenta en la Tabla 6-47.

Tabla 6-47. 4. E Asentamientos: incertidumbre combinada por fuente o sumidero de GEI

Fuente o sumidero de GEI	GEI	Incertidumbre de datos de actividad		Incertidumbre de factores de emisión		Incertidumbre combinada	
		(-) %	(+) %	(-) %	(+) %	(-) %	(+) %
Tierras convertidas en asentamientos	CO ₂	22,0%	22,0%	11,8%	11,8%	25,0%	25,0%

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

Para mantener la consistencia de la serie temporal 1990-2022 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.

6.8.5 AC/CC de la categoría

Se realiza aseguramiento de la calidad con controles de los datos de actividad y factores de emisión, revisión de estimaciones al interior del grupo de trabajo del sector UTCUTS y luego con validación por parte de la coordinación del SNICHile.

6.8.6 Nuevos cálculos

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. En la Tabla 6-48 se observa cómo variaron las emisiones de GEI de esta categoría respecto del inventario anterior. La diferencia se debe al cambio de superficie de conversión de tierras a asentamientos. Esto generó un aumento de las emisiones GEI de la categoría en un promedio de 227,9 kt CO₂ eq anuales durante la serie 1990-2020.

Tabla 6-48. 4.E Asentamientos: comparación entre el inventario previo y el inventario actual (kt CO₂ eq)

INGEI	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022
INGEI 5to IBA	220,6	246,7	286,4	318,9	336,4	254,2	304,6		
INGEI 1er IBT	331,1	406,6	482,0	557,4	617,7	419,9	619,2	661,0	651,6
Diferencia	110,5	159,9	195,6	238,5	281,4	165,7	314,6		
Diferencia %	50,1%	64,8%	68,3%	74,8%	83,7%	65,2%	50,8%		

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

6.9 Otras tierras (CRT 4.F)

6.9.1 Descripción y tendencia de los GEI de la categoría

Esta categoría incluye las áreas 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 2022 la superficie de otras tierras en el país alcanza 21.170.449 ha, y tiene una leve disminución desde 1990 de 0,4 %, por cambios de uso hacia asentamientos.

Las matrices de cambio de uso de la tierra muestran conversiones de la categoría de Otras Tierras, pero estas no se contabilizan como emisiones, porque se consideran cambios por causas naturales como por ejemplo erupciones volcánicas y no son de origen antropogénico.

6.9.2 AC/CC de la categoría

Se realiza aseguramiento de la calidad con controles de los datos de actividad y factores de emisión, revisión de estimaciones al interior del grupo de trabajo del sector UTCUTS y luego con validación por parte de la coordinación del SNICHile.

6.9.3 Nuevos cálculos

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 y además se tomó la decisión de considerar las conversiones a otras tierras como fenómenos de origen natural, como las erupciones volcánicas. En la Tabla 6-49 se observa cómo variaron las emisiones de GEI de esta categoría respecto del inventario anterior.

Tabla 6-49. Otras tierras: comparación entre el inventario previo y el inventario actual (kt CO₂ eq)

INGEI	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022
INGEI previo	200,1	251,0	301,8	460,1	659,7	576,9	401,2	0,0	0,0
INGEI actual	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Diferencia	-200,1	-251,0	-301,8	-460,1	-659,7	-576,9	-401,2	0,0	0,0
Diferencia %	-100 %	-100%	-100%	-100%	-100%	-100%	-100%	0,0	0,0

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

6.10 Productos de madera recolectada (CRT 4.G)

6.10.1 Descripción y tendencia de los GEI 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 de madera durante períodos de tiempo de diferente duración, dependiendo del tipo de producto.

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, donde se considera a los productos de madera cosechada en Chile, es decir 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.

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 95,2 % y ha disminuido en 3,6 % desde 2020 (Tabla 6-50 y Figura 6-24). 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 6-25).

Tabla 6-50. 4.G. Productos de madera recolectada: balance de GEI por subcategoría (kt CO2 eq)

Subcategoría	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022
PMR	-2.903,9	-3.538,8	-4.902,3	-7.256,4	-5.631,0	-6.857,5	-5.882,1	-6.702,2	-5.668,1
Balance	-2.903,9	-3.538,8	-4.902,3	-7.256,4	-5.631,0	-6.857,5	-5.882,1	-6.702,2	-5.668,1

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

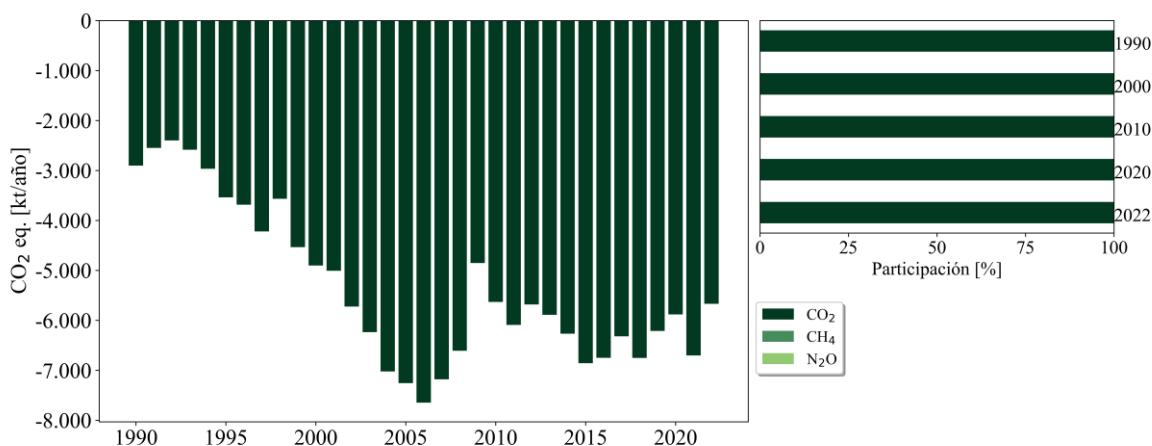


Figura 6-24. Productos de madera recolectada: balance de GEI por subcategoría (kt CO2 eq), 1990-2022

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

6.10.2 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 y para el caso de los factores de emisión se utilizaron los valores por defecto. Ambos métodos de acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006* (Tabla 6-5).

Se utiliza el método de producción que estima los cambios en las existencias de carbono del depósito productos de madera recolectada (PMR) consistente de productos que provienen de madera cosechada en el país. El depósito PMR se compone de todos los productos hechos de madera que es cosechada en el país, incluye los productos que son consumidos nacionalmente y los productos que se exportan y almacenan en usos en otros países, siempre que provengan de la cosecha nacional. En otras palabras, al aplicar el enfoque de “producción”, el “país productor” informa los cambios en las reservas de carbono de los PMR producidos por ese país, independientemente de dónde se consuman y utilicen dichos PMR. 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 la estimación de la contribución de los PMR en el método de producción se utilizan las Ecuación 6-13 y Ecuación 6-14 de las *Directrices del IPCC de 2006* y 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*. Las estimaciones se realizaron con el software del IPCC, versión 2.9 del 9 de febrero de 2024.

Ecuación 6-13. Estimación de las existencias de carbono y su cambio anual en los depósitos de PMR del país.

$$C(i + 1) = e^{-k} * C(i) + \left[\frac{(1 - e^{-k})}{k} \right] * Flujo_{entrada(i)}$$

Con $C(1900)=0,0$

$$\Delta C(i) = C(i + 1) - C(i)$$

Fuente: Ecuación 12.1; Capítulo 12; Volumen 4; *Directrices del IPCC de 2006*

Donde:

- i = año
- $C(i)$ = las existencias de carbono del depósito de PMR al comienzo del año i , Gg C
- k = constante de descomposición de la descomposición de primer orden expresada en unidades, año⁻¹ ($k = \ln(2) / HL$, donde HL es la vida media del depósito de PMR en años. La vida media es la cantidad de años que tarda en perder la mitad del material que existe actualmente en el depósito.)
- $Flujo_{entrada}(i)$ = el flujo de entrada al depósito de PMR durante el año i , Gg C año⁻¹
- $\Delta C(i)$ = cambio en las existencias de carbono del depósito de PMR durante el año i , Gg C año⁻¹

Ecuación 6-14. Estimación de las existencias de carbono y su cambio anual en los depósitos de PMR del país.

$$Flujo_{entrada_{DH}} = P * \left[\frac{IRW_H}{IRW_H + IRW_{IM} + IRW_{EX} + WCH_{EX} + WR_{IM} - WR_{EX}} \right]$$

Fuente: Ecuación 12.3; Capítulo 12; Volumen 4; *Directrices del IPCC de 2006*

Donde:

- IRWH = recolección de rollizos industriales en el país declarante. Se trata de la recolección de madera para elaborar productos de madera maciza y papel, incluso la IRW, para exportación. [La variable de la FAO se denomina Producción de RW industrial], Gg C año⁻¹
- IRWIM , IRWEX = importaciones y exportaciones de rollizos industriales, respectivamente, Gg C año⁻¹
- WCHIM, WCHEX = importaciones y exportaciones de astillas de madera (*chips*), respectivamente, Gg C año⁻¹
- WRIM, WREX = residuos de madera de las importaciones y exportaciones de las plantas de productos de madera, respectivamente Gg C año⁻¹

6.10.2.1 Datos de actividad específicos de la categoría

Se utilizó la información del país y en los casos en que no existía información publicada se completó el dato con la base FAOSTAT. La información estadística de los productos madera aserrada, tableros y papel (Figura 6-25) se generó completamente con datos país que provienen de INFOR publicados en los anuarios forestales, desde el año 1961 al 2022. Los detalles de la información y fuentes de datos se encuentran en la Tabla 6-51.

Tabla 6-51. 4.G. Productos de madera recolectada: balance de GEI por subcategoría (kt CO₂ eq)

Variables	Productos desagregados	Fuentes
Madera aserrada	Madera aserrada	Producción, exportaciones, importaciones: 1961–2022 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: 1961-2022 Estadísticas INFOR
Papel	Papel para impresión y escritura Papeles para envolver y para fabricación de envases Papeles de uso doméstico	Producción, exportaciones, importaciones: 1961 - 2022 Estadísticas INFOR
Trozos		Producción 1961–1974 FAOSTAT; 1975-2022 Estadísticas INFOR Exportaciones, importaciones 1961–2022 Estadísticas INFOR
Trozos industriales		Producción: 1961-1973 FAOSTAT; 1974 – 2022 Estadísticas INFOR Exportaciones, importaciones: 1961-2022 Estadísticas INFOR
Pulpa de madera y papel recubierto		Exportaciones, importaciones: 1961–2022 Estadísticas INFOR
Astillas		Exportaciones: 1986–1990 FAOSTAT; 1991–2022 Estadísticas INFOR

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

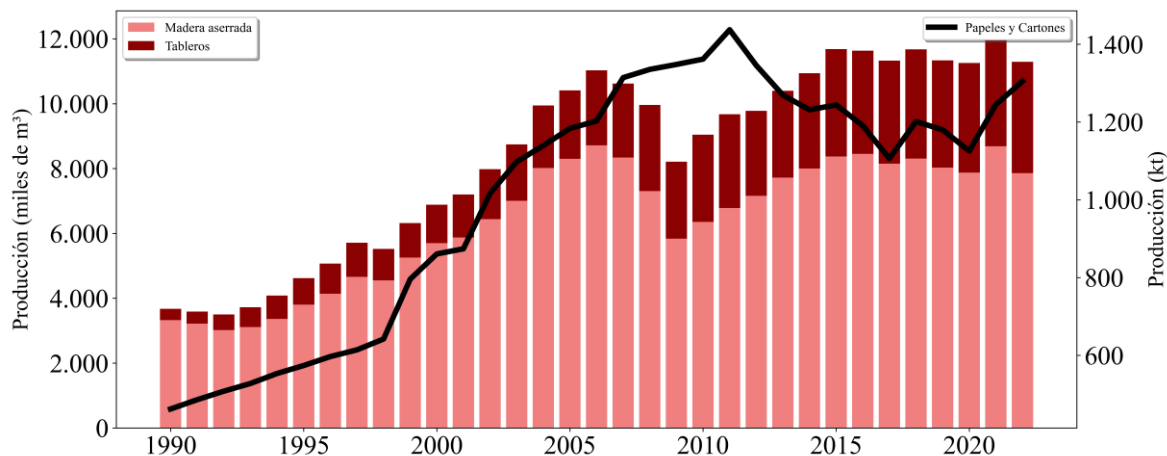


Figura 6-25. Producción de madera aserrada, tableros (miles m3) y papeles y cartones (miles t)
Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

6.10.2.2 Factores de emisión aplicados en la categoría

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. Todos los detalles de factores utilizados se detallan en la Tabla 6-52.

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 0,022.

Tabla 6-52. 4.G. Productos de madera recolectada: Factores de emisión

	Densidad (Mg/m³)	Fracción de carbono	Factor de conversión Cf (Mg C/m³)	Vida media	Fuente
Madera aserrada	0,458	0,5	0,229	35	Refinamiento 2019 de las Directrices del IPCC de 2006
Tableros	0,595	0,454	0,269	25	
	Peso seco relativo (Mg/Mg)		Factor de conversión Cf (Mg C/Mg)		
Papel	0,9		0,386	2	

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

6.10.3 Descripción de cualquier flexibilidad aplicada en la categoría

No se ha implementado flexibilidad en esta categoría.

6.10.4 Incertidumbre y coherencia de la serie temporal de la categoría

La incertidumbre combinada de categoría, para el 2022, ha sido estimada para cada componente o especie. Un resumen de los resultados de la incertidumbre combinada se presenta en la Tabla 6-53

Tabla 6-53. 4.G. Productos de madera recolectada: incertidumbre combinada por fuente o sumidero de GEI

Fuente o sumidero	Gas	Incertidumbre en los datos de actividad		Incertidumbre en el factor de emisión		Incertidumbre combinada	
		(-)%	(+)%	(-)%	(+)%	(-)%	(+)%
Productos de madera recolectada	CO ₂	10%	10%	27%	27%	29%	29%

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

Para mantener la consistencia de la serie temporal 1990-2022 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.

6.10.5 AC/CC de la categoría

Se realiza aseguramiento de la calidad con controles de los datos de actividad y factores de emisión, revisión de estimaciones al interior del grupo de trabajo del sector UTCUTS y luego con validación por parte de la coordinación del SNICHile.

6.10.6 Nuevos cálculos

Se utiliza la información de factores de emisión y vida útil en base al Refinamiento 2019 de las Directrices del IPCC de 2006, esto genera los nuevos cálculos de la categoría PMR (Tabla 6-54).

Tabla 6-54. 4.G PMR: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI 5to IBA (serie 1990-2020) e INGEI 1er IBT (serie 1990-2022)

INGEI	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022
INGEI 5to IBA	-3.944,3	-4.307,1	-5.300,0	-7.711,2	-6.265,9	-7.245,8	-6.373,1		
INGEI 1er IBT	-2.903,9	-3.538,8	-4.902,3	-7.256,4	-5.631,0	-6.857,5	-5.882,1	-6.702,2	-5.668,1
Diferencia	1.040,4	768,3	397,7	454,8	634,9	388,4	491,0		
Diferencia %	-26%	-18%	-8%	-6%	-10%	-5%	-8%		

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

6.11 Emisiones de N₂O desde suelos manejados

Se han estimado las emisiones directas de óxido nitroso producto de la mineralización de Nitrógeno asociado a las pérdidas de materia orgánica del suelo que resulta del cambio de uso de la tierra.

6.12 Mejoras planificadas del sector UTCUTS

En la siguiente tabla se detallan las mejoras planificadas para el sector UTCUTS.

Tabla 6-55. Tierras Forestales: mejoras planificadas para la categoría

ID	Categoría	Mejoras detectadas por el equipo técnico del sector	Estatus	Acciones implementadas, en implementación o acciones previstas
U1	4.A.1. Tierras Forestales	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. Se considera para la próxima actualización del INGEI (Serie 1990-2024) incorporar los períodos faltantes de tal forma de lograr homogeneizar la información del país.	En progreso	CONAF señala que todas estas mejoras se implementarán en la próxima actualización del INGEI.
U2	4.A.1. Tierras forestales	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.	No implementado	No dependen del equipo del SNiChile y se esperan avances del MMA al respecto, Ministerio responsable de estas áreas de conservación
U4	4.A.1. Tierras forestales	Se requiere avanzar en el mejoramiento de los datos de actividad de los planes de manejo ejecutados en el país con información georreferenciada	En progreso	CONAF se encuentra avanzando en este desarrollo y se espera que, en el próximo inventario se pueda tener un avance incorporado en el INGEI.
U5	4.A.1. Tierras forestales	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.	En progreso	INFOR se encuentra recopilando información de carbono del suelo de bosque nativo como parte del IFN.
U6	4.A.1. 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 progreso	Se incorporó información de hojarasca de plantaciones de acuerdo a publicación con datos específicos del país, queda pendiente avanzar con información de hojarasca de bosque nativo
U7	4.A.1. Tierras forestales	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.	No implementado	No dependen del equipo del SNiChile. Depende de los avances en investigación en el país.
U8	4.A.1. Tierras forestales	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.	No implementado	No dependen del equipo del SNiChile. Depende de los avances en investigación en el país.
U9	4.A.1. Tierras forestales	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	No implementado	No dependen del equipo del SNiChile. Depende de los avances en investigación en el país.

ID	Categoría	Mejoras detectadas por el equipo técnico del sector	Estatus	Acciones implementadas, en implementación o acciones previstas
		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.		
U10	4.B. Tierras de cultivo	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.	No implementado	No dependen del equipo del SNiChile. Depende de los avances en investigación en el país.
U11	4.C. Pastizales	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.	No implementado	No dependen del equipo del SNiChile. Depende de los avances en investigación en el país.
U12	4.C. Pastizales	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.	No implementado	No dependen del equipo del SNiChile. Depende de los avances en investigación en el país.
U13	4.D. Humedales	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.	No implementado	No dependen del equipo del SNiChile. Depende de los avances en investigación en el país.
U14	4.G. Productos de madera recolectada	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.	No implementado	Evaluar la información país disponible para ver si existe suficiente soporte para avanzar a tier 2
U15	Representación tierras	Se requiere avanzar en separación y seguimiento de tierras gestionadas y no gestionadas de pastizales y humedales	No implementado	Se evaluará a partir del próximo inventario las mejoras con a información disponible que tiene CONAF
U16	Representación tierras	Se requiere tener información de superficie de suelos orgánicos para el sector UTCUTS.	No implementado	No dependen del equipo del SNiChile. Depende de los avances en investigación en el país.

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

6.13 Referencias

- 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).
- Büchner, C., Martin Stuken, M., Sagardía Parga, R., et al (2018). Disponibilidad de madera de plantaciones de Pino radiata y Eucalipto (2017-2047). Santiago, Chile: INFOR. <https://doi.org/10.52904/20.500.12220/28294>
- Büchner, C., Martin Stuken, M., Sagardía Parga, R., et al (2022). Disponibilidad de madera en plantaciones de pino radiata y eucaliptos (2021-2051). Santiago, Chile: INFOR. <https://doi.org/10.52904/20.500.12220/32647>
- 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.
- Moya Navarro, I., Acuña Aroca, B., Barrera Barrera, V. (2011). Evaluación de ensayos existentes de lenga (Nothofagus pumilio) y Pino ponderosa (Pinus ponderosa), en la región de Aysén. Coyhaique, Chile: INFOR. <https://doi.org/10.52904/20.500.12220/19074>
- 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.

- Pinilla Suárez, J., Barros Asenjo, S., Hernández C., G., et al (2010). Informe Técnico 179: Avances de la investigación con especies del género *Acacia* en Chile. Santiago, Chile: INFOR. <https://doi.org/10.52904/20.500.12220/18550>
- 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.
- Quiroz Marchant, I., Rojas Ponce, Y. (2003). Pino ponderosa y Pino oregón: coníferas para el sur de Chile. Valdivia, Chile: INFOR.
- 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.

7 Sector Residuos (5)

7.1 Panorama general

7.1.1 Descripción del sector

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; por la descomposición anaeróbica de excretas humanas y el tratamiento 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.

Desde 1990 hasta hoy, el país ha mejorado la gestión de sus residuos, reemplazando sitios de disposición de residuos sólidos como basurales y vertederos por rellenos sanitarios que cumplen con las normas sanitarias y ambientales exigidas; asimismo, aunque existe un aumento en el interés por la valorización de residuos a través de procesos como el compostaje, el principal destino de los residuos aún son los sitios de disposición final. Respecto al tratamiento y descarga de aguas residuales hay un crecimiento significativo en la cobertura de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales (en este último caso, a raíz de la implementación de reglamentación en el tratamiento y descarga de aguas residuales industriales).

Las *Directrices del IPCC de 2006* usan ciertos términos diferentes a los utilizados a nivel nacional para el sector *Residuos*. La Tabla 7-1 muestra estas denominaciones y la adaptación de éstas.

Tabla 7-1. 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)
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 8% de las emisiones de GEI totales (Figura 7-1) y el 5% del balance de GEI del país (Figura 7-2) para el 2020. En 2022, las emisiones de GEI del sector contabilizaron 8.898,6 kt CO₂ eq, incrementándose en un 429% desde 1990 y en un 7,6% desde 2020 (Tabla 7-2 y Figura 7-3).

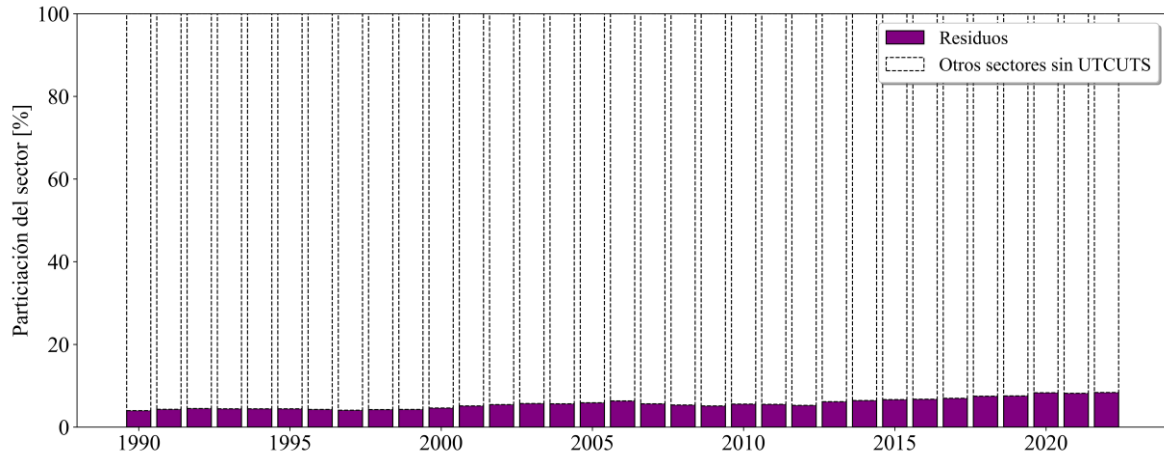


Figura 7-1 Sector Residuos: participación del sector en las emisiones de GEI totales (excluyendo UTCUTS).

Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

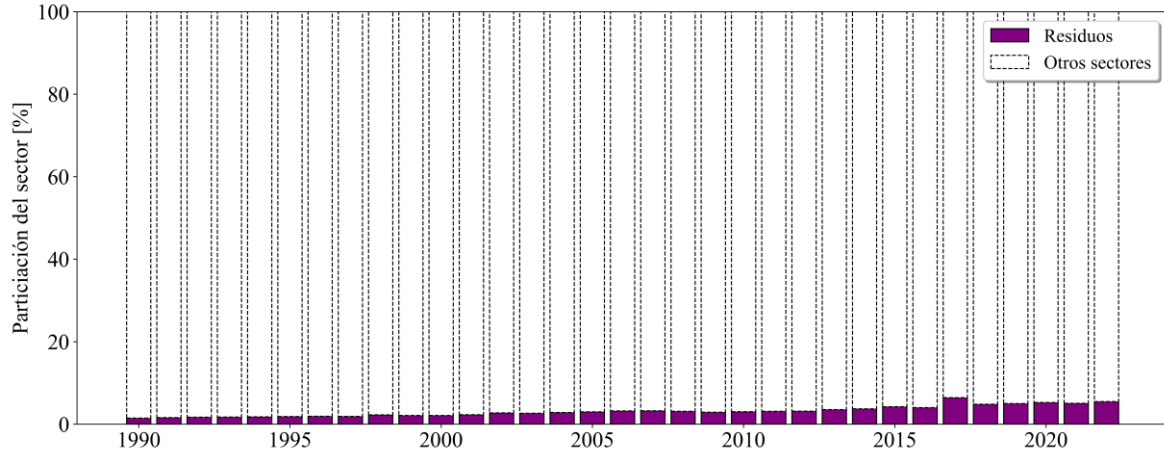


Figura 7-2. Sector Residuos: participación del sector en el balance de GEI (incluyendo UTCUTS).

Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

Tabla 7-2. Sector Residuos: emisiones de GEI (kt) por categoría, serie 1990 - 2022

Código IPCC	Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	HFC	PFC	SF ₆	NO _x	CO	COVDM	SO ₂	kt CO ₂ eq
5.	Residuos	65,2	284,1	3,3	-	-	-	0,9	15,8	16,0	0,0	8.898,6
5.A.	Disposición de residuos sólidos		251,0							16,0		7.027,9
5.A.1.	Sitios gestionados (Rellenos sanitarios)		221,1							15,8		6.190,6
5.A.2.	Sitios no gestionados (Vertederos y Basurales)		29,9							0,2		837,3
5.A.3.	Sitios no categorizados		NO							NO		NO
5.B.	Tratamiento biológico de residuos sólidos	NO	1,8	0,1						NO		79,3
5.C.	Incineración y quema abierta de residuos	65,2	1,9	0,1				0,9	15,8		0,0	137,7
5.C.1.	Incineración de residuos	0,4	0,1	0,0				0,0	0,0		0,0	9,9
5.C.2.	Incineración abierta de residuos	64,9	1,8	0,0				0,9	15,8		0,0	127,8
5.D.	Tratamiento y descarga de aguas residuales		29,4	3,1						0,1		1.653,7
5.D.1.	Tratamiento y descarga de aguas residuales domésticas		17,3	3,1						0,0		1.316,6
5.D.2.	Tratamiento y descarga de aguas residuales industriales		12,0							0,0		337,1
5.E.	Otros											NO

Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

De acuerdo con las emisiones estimadas para el año 2022, la mayoría de las emisiones de GEI provienen del metano generado por la disposición de residuos sólidos, seguido de las emisiones de nitroso generadas por el tratamiento y descarga de aguas residuales. Las emisiones generadas por el 5.B. *Tratamiento biológico de residuos sólidos* y la 5.C. *Incineración y quema de residuos* poseen una participación considerablemente menor que las demás categorías.

Tabla 7-3. Sector Residuos: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por categoría, serie 1990-2022

Categoría	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022
5.A. Disposición de residuos sólidos	838,1	1.245,8	1.974,4	2.971,7	2.781,8	4.496,3	6.483,7	6.801,4	7.027,9
5.B. Tratamiento biológico de residuos sólidos	15,8	15,8	18,9	44,4	60,1	58,4	59,5	69,0	79,3
5.C. Incineración y quema abierta de residuos	60,0	64,2	68,0	77,4	91,7	107,7	122,4	128,4	137,7
5.D. Tratamiento y descarga de aguas residuales	767,7	964,7	963,6	1.286,6	1.635,9	1.762,2	1.603,4	1.698,2	1.653,7
Total	1.681,7	2.290,5	3.024,8	4.380,1	4.569,5	6.424,5	8.268,9	8.697,0	8.898,6

Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

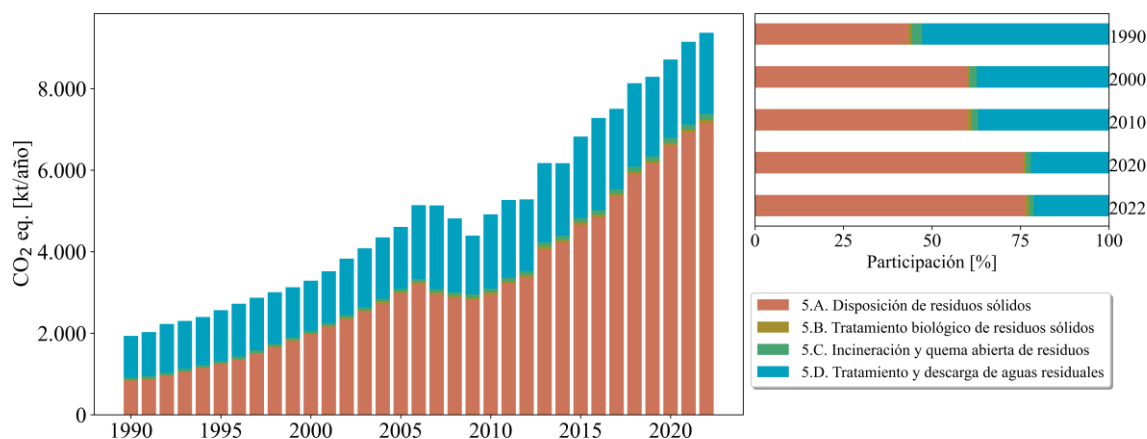


Figura 7-3. Sector Residuos: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por categoría, serie 1990-2022

Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

Las principales causas de la tendencia 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 algunos sitios de eliminación de residuos sólidos, asociada a los Certificados de Reducción de Emisiones (CER) desde los proyectos de Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL). Sin embargo, con el transcurso del tiempo 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 suavizado el crecimiento de las emisiones por aumento de población. Adicionalmente, se observan variaciones interanuales relacionadas 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.

Respecto a las subcategorías del sector (Tabla 7-4 y Figura 7-4), para el 2022 el 67,9 % de las emisiones de GEI del sector corresponden a la subcategoría 5.A.1. *Sitios gestionados*, seguido de un 18,1 % de la subcategoría 5.A.1. *Tratamiento y descarga de aguas residuales domésticas* y luego con un 9,0% la subcategoría 5.A.2. *Sitios no gestionados*. Las demás subcategorías, por si solas, no alcanzan a ser el 3% de las emisiones del sector.

Tabla 7-4. Sector Residuos: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por subcategoría, serie 1990-2022

Categoría	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022	% 2022
5.A.1. Sitios gestionados (Rellenos sanitarios)	NO	318,8	1.013,3	2.064,3	2.294,6	3.893,7	5.798,0	6.086,5	6.325,3	67,5%
5.A.2. Sitios no gestionados (Vertederos y Basurales)	838,1	927,0	961,1	907,9	651,3	767,9	812,3	838,9	837,7	8,9%
5.B. Tratamiento biológico de residuos sólidos	15,8	15,8	18,9	44,4	60,1	58,4	59,5	69,0	79,3	0,8%
5.C.1. Incineración de residuos	1,7	1,8	2,3	3,3	5,0	8,3	11,3	9,5	9,9	0,1%
5.C.2. Incineración abierta de residuos	58,3	62,3	65,6	74,1	86,7	99,5	111,2	118,9	127,8	1,4%
5.D.1. Tratamiento y descarga de aguas residuales domésticas	898,5	991,6	991,4	1.257,0	1.339,6	1.510,1	1.671,4	1.692,4	1.691,1	18,0%
5.D.2. Tratamiento y descarga de aguas residuales industriales	124,1	247,8	237,7	258,1	478,4	487,6	251,7	334,6	300,6	3,2%
Total	1.936,5	2.565,0	3.290,3	4.609,0	4.915,7	6.825,4	8.715,3	9.150,0	9.371,8	100,0%

Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

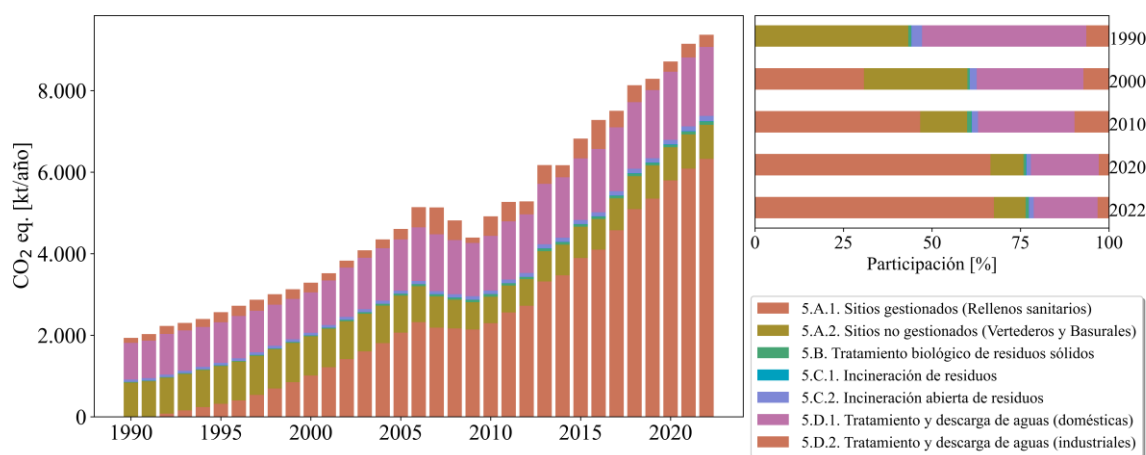


Figura 7-4. Sector Residuos: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por subcategoría, serie 1990-2022

Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

Respecto de los GEI emitidos durante el año 2022, se contabilizaron las emisiones de CO₂, CH₄ y N₂O, siendo el principal contribuyente al total de emisiones del sector, el CH₄ (85,9 % de las emisiones de GEI del sector). Lo sigue el N₂O con un 13,4 % y el CO₂ con menos del 1 % (Tabla 7-5 y Figura 7-5).

Tabla 7-5. Sector Residuos: emisiones por tipo de GEI (kt CO₂ eq), serie 1990-2022

GEI	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022	% 2022
CO ₂	29,6	31,6	33,4	37,7	44,2	50,9	56,8	60,8	65,2	0,7%
CH ₄	1.513,8	2.039,1	2.696,7	3.732,5	3.947,0	5.735,1	7.441,6	7.859,3	8.049,4	85,9%
N ₂ O	393,0	494,3	560,2	838,8	924,4	1.039,3	1.217,0	1.229,9	1.257,2	13,4%
Total	1.936,5	2.565,0	3.290,3	4.609,0	4.915,7	6.825,4	8.715,3	9.150,0	9.371,8	100,0%

Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

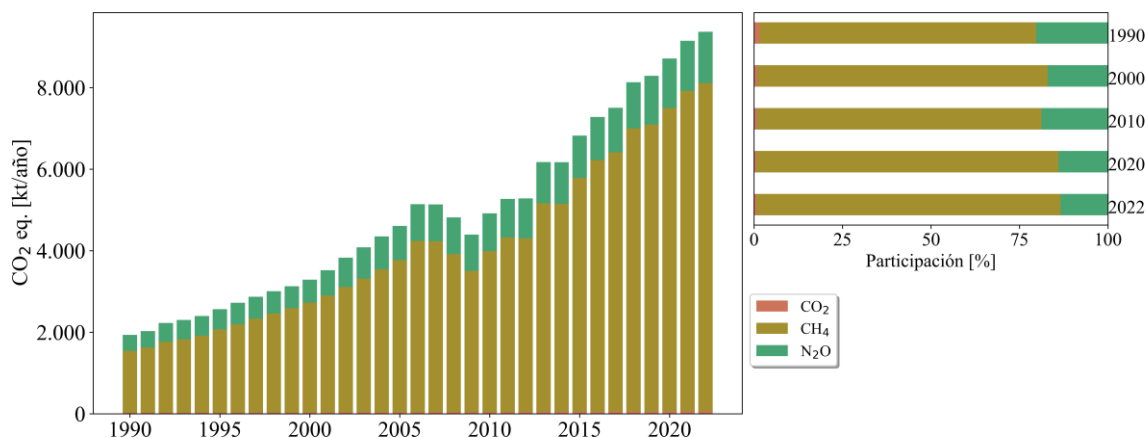


Figura 7-5. Sector Residuos: emisiones por tipo de GEI (kt CO₂ eq), serie 1990-2022

Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

Al año 2022, la estimación de emisiones de CO₂ se ha incrementado en un 120 % desde 1990 y en un 14,8 % desde 2020, mientras que las emisiones de CH₄ han aumentado en un 432 % desde 1990 y en un 8,2 % desde el 2020. Las emisiones de N₂O, por su parte, han aumentado en un 220 % desde 1990 y en un 3,3 % desde 2020.

Dentro del seguimiento de los gases se consideran también los precursores CO, NO_x, COVDM y SO₂ que son especies que contribuyen tanto a la formación de GEI como a ozono troposférico, o partículas de sulfato que tienen forzamiento climático; por ejemplo, el monóxido de carbono (CO), los óxidos de nitrógeno (NO_x) y los COVDM en presencia de la luz solar contribuyen a la formación de ozono troposférico (gas de efecto invernadero), o las emisiones de dióxido de azufre que producen la formación de partículas de sulfato (*Directrices del IPCC de 2006*, sección 7.1; Capítulo 7; Volumen 1).

Respecto de las estimaciones de precursores, mientras las emisiones de NO_x SO₂ y CO provienen exclusivamente de procesos de combustión vinculados a la quema de residuos, las emisiones de COVDM provienen de las actividades de eliminación de residuos sólidos, de la categoría 5.A. *Disposición de residuos sólidos* y de la categoría 5.D. *Tratamiento y descarga de aguas residuales*. Las emisiones fueron estimadas considerando factores de emisión por defecto aplicando metodologías nivel 1, por lo tanto, la tendencia de las emisiones de los precursores es la tendencia de los niveles de actividad de cada una de las categorías. Los resultados generales del sector se pueden observar en la Tabla 7-6 y las figuras: Figura 7-6; Figura 7-7; Figura 7-8 y Figura 7-9.

Tabla 7-6. Sector Residuos: emisiones por tipo de precursor (kt), serie 1990-2022

Precursores (kt)	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022
NO _x	0,41	0,44	0,47	0,53	0,62	0,71	0,79	0,85	0,91
CO	7,23	7,73	8,14	9,19	10,75	12,33	13,79	14,75	15,84
COVDM	5,31	7,11	8,07	10,59	13,63	16,99	16,25	17,09	16,03
SO ₂	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03

Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

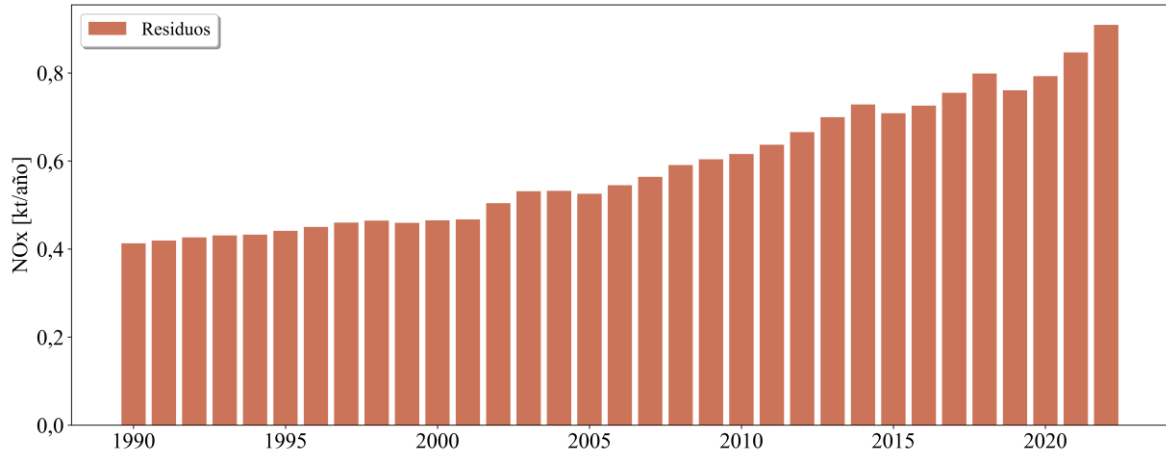


Figura 7-6. Sector Residuos: emisiones de NOx (kt), serie 1990-2022

Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

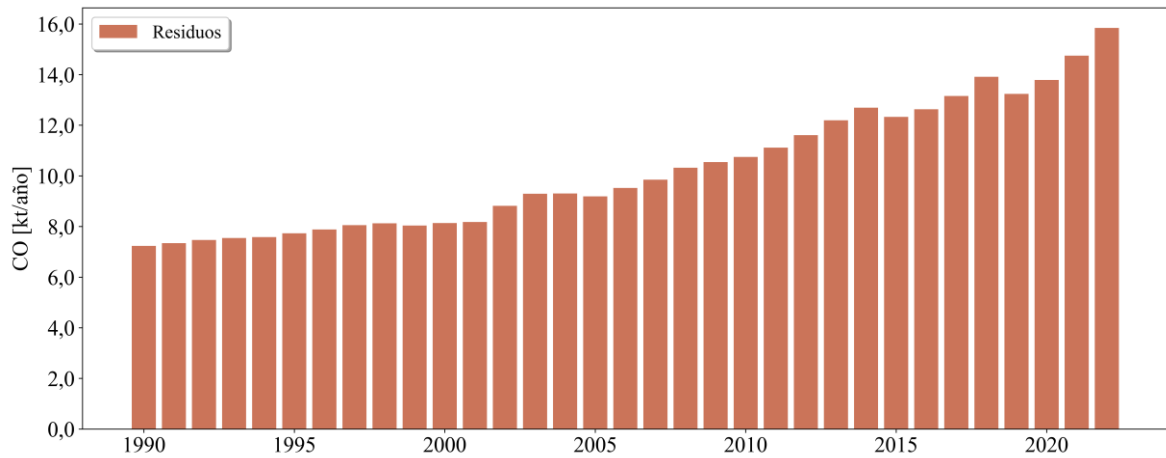


Figura 7-7. Sector Residuos: emisiones de CO (kt), serie 1990-2022

Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

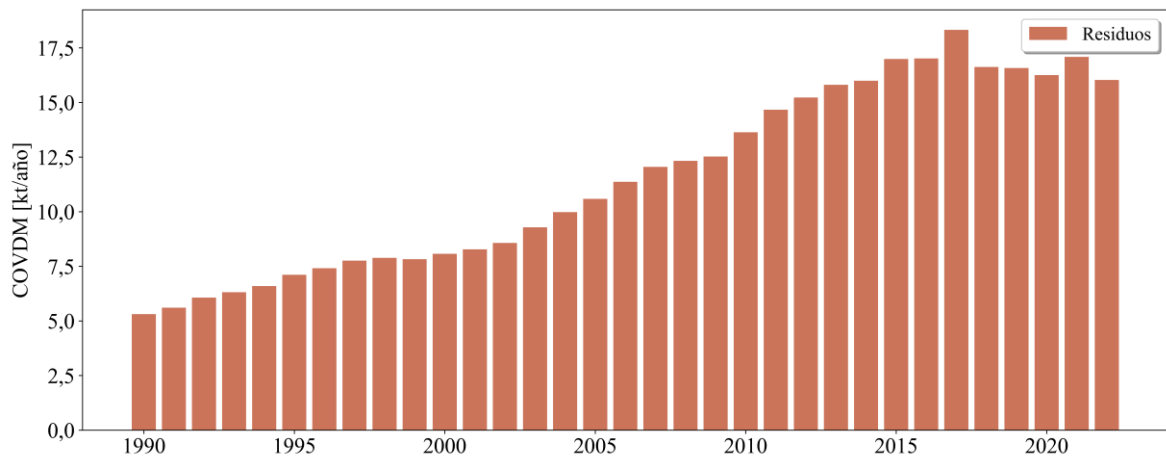


Figura 7-8. Sector Residuos: emisiones de COVDM (kt), serie 1990-2022

Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

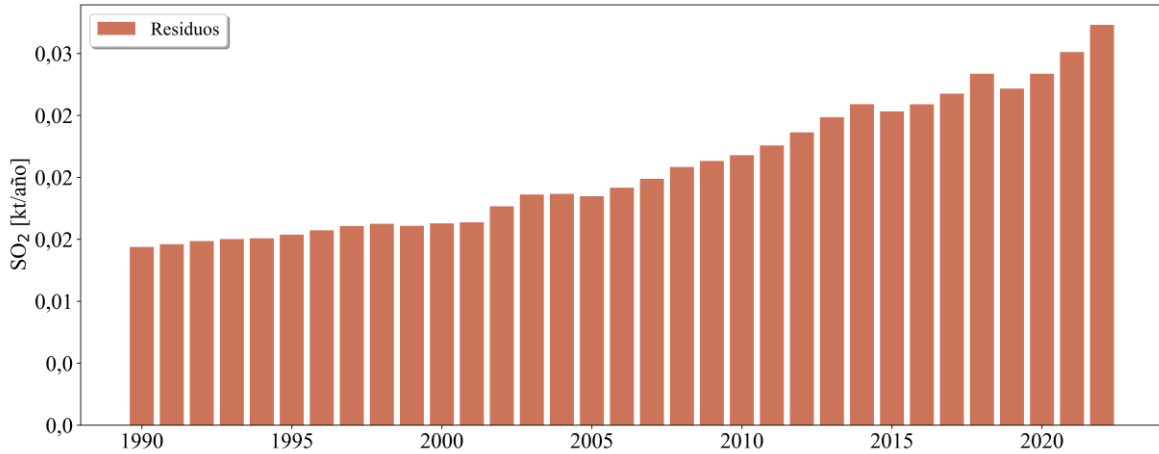


Figura 7-9. Sector Residuos: emisiones de SO₂ (kt), serie 1990-2022

Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

7.1.3 Aspectos metodológicos generales del sector

Para la estimación de emisiones de GEI de la categoría 5.A. *Disposición de residuos sólidos*, categoría principal del sector 5. *Residuos*, se cuenta con información detallada y factores país específico que permitieron aplicar un método de estimación nivel 2. En esta subcategoría se aplicó el método de estimación de Decaimiento de Primer Orden (FOD, por su sigla en inglés) con parámetros por defecto. Las categorías 5.B *Tratamiento biológico de residuos sólidos* y 5.C *Incineración y quema abierta de residuos* fueron estimadas con un nivel 1. Estas categorías no corresponden a una categoría principal. Para las subcategorías 5.D.1 *Tratamiento y descarga de aguas residuales domésticas* y 5.D.2. *Tratamiento y descarga de aguas residuales industriales* se utilizaron las ecuaciones y parámetros dispuestos en el *Refinamiento de las Directrices del IPCC de 2019*. Si bien en este inventario se incluyeron tanto las emisiones directas (por tratamiento de aguas) como las indirectas (por descarga de aguas), las emisiones de N₂O provenientes del tratamiento de aguas industriales no fue estimado, por falta de información. Tanto el tratamiento como la descarga fueron estimadas con métodos de nivel 1 y factores por defecto. En la Tabla 7-7 se observa un resumen de los métodos aplicados por categoría y por GEI.

Tabla 7-7. 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, NE	D, CS, NE	T1, NE	D, NE
5.A. Disposición de residuos sólidos			T2, NE	D, CS, NE		
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			T1	D	T1, NE	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

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.). Para la estimación de emisiones por eliminación de residuos sólidos, se utilizaron las bases de datos disponibles en el Registro Emisiones y Transferencia Contaminantes (RETC) provenientes del Sistema Nacional de Declaración de Residuos (SINADER), de aquí se obtuvieron series históricas para los residuos eliminados. Para los residuos tratados biológicamente, se considera información por empresas de valorización de residuos y las declaraciones publicadas en las bases de datos del RETC. Por su parte, la estimación de emisiones para la quema de residuos considera bases de datos por empresas, hospitales y estadísticas de mortalidad y cremaciones. Finalmente, para las aguas residuales se considera información levantada desde la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS), para aguas domésticas e información del RETC y la Superintendencia del Medio Ambiente para aguas industriales.

7.1.5 Factores de emisión del sector

Los factores de emisión utilizados y los parámetros para realizar las estimaciones consideran factores por defecto de las *Directrices del IPCC de 2006* y su *Refinamiento de 2019*. El inventario del sector 5. *Residuos* está desagregado a nivel de fuentes (sitio de eliminación, tipo de tratamiento, etc.) debido a que los niveles de actividad cuentan con un alto nivel de detalle, por lo que es posible aplicar factores de emisión o parámetros específicos a cada fuente de emisión.

7.2 Disposición de residuos sólidos (5.A.)

7.2.1 Descripción y tendencia de los GEI de la categoría

La categoría 5.A. *Disposición de residuos sólidos* contabiliza las emisiones generadas por los residuos almacenados, dispuestos o eliminados en diferentes sitios de disposición final (SDF), siendo estos: rellenos sanitarios, vertederos, basurales u otros. El tratamiento y la eliminación de los residuos sólidos generan cantidades significativas de CH₄ dependiendo de las condiciones del sitio de disposición final. Además del CH₄, los SDRS producen también CO₂ biogénico y COVDM, así como cantidades más pequeñas de N₂O, NO_x y CO. En el INGEI de Chile sólo se contabilizan las emisiones de CH₄ y COVDM. Las subcategorías que componen esta categoría, definidas por el IPCC son las siguientes:

- 5.A.1. Sitios gestionados.
- 5.A.2. Sitios no gestionados.
- 5.A.3. Sitios no categorizados.

Dependiendo de las características de cada SDF, las emisiones de este se contabilizan en cada una de las subcategorías antes mencionadas. Para esto, cada SDF a nivel nacional ha sido homologado a según las *Directrices del IPCC de 2006* (Cuadro 3.1; Capítulo 3; Volumen 5). Los diferentes SDF y su homologación según las Directrices del IPCC se muestran en la Tabla 7-8.

Tabla 7-8. Homologación tipos de SDRS a nivel nacional según las Directrices del IPCC de 2006

Nombre	Normativa de cumplimiento	Homologación <i>Directrices del IPCC de 2006</i>
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.	5.A.1 <i>Sitios gestionados</i>
Vertedero y Basural	No cumple con normativa o solo cumple con la Res. N° 2.444/1980 del MINSAL: Normas sanitarias mínimas para la operación de basurales.	5.A.2 <i>Sitios no gestionados</i>
No categorizado	No aplica	5.A.3 <i>Sitios no categorizados</i>

Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

La categoría 5.A. *Disposición de residuos sólidos* es la principal categoría emisora de GEI del sector Residuos representando el 76,4% de las emisiones de GEI del sector. En 2022, las emisiones de GEI contabilizaron 7.027,9 kt CO₂ eq, incrementándose en un 739% desde 1990 y en un 8,4% desde 2020 (Tabla 7-9 y Figura 7-10). El principal causante de la tendencia y las variaciones interanuales de esta categoría 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 dan lugar a una mayor formación de metano en comparación con los Vertederos y Basurales, lo que poseen características más aeróbicas, vale decir, son sitios más abiertos. Respecto de las emisiones de las subcategorías, en 2022 un 88% de las emisiones se produjeron en 5.A.1. *Sitios gestionados*, vale decir, rellenos sanitarios, mientras que el resto de las emisiones (12%) se produjeron en 5.A.2. *Sitios no gestionados*. Es importante destacar que las emisiones contabilizadas en esta categoría agrupan las emisiones generadas por los residuos que finalmente son eliminados o contabilizados en los SDF. Los esfuerzos de reciclaje o valorización de los residuos deberían estar reflejados en la tendencia de las emisiones. El efecto de la valorización de los residuos más notorio es la recuperación de biogás, como se detalla más adelante.

Tabla 7-9. 5.A. Disposición de residuos sólidos: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por subcategoría, serie 1990-2022

Subcategoría	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022
5.A.1. Sitios gestionados (Rellenos sanitarios)	NO	318,8	1.013,3	2.064,1	2.137,9	3.729,1	5.671,8	5.962,8	6.190,6
5.A.2. Sitios no gestionados (Vertederos y Basurales)	838,1	927,0	961,1	907,6	643,9	767,1	811,8	838,7	837,3
5.A.3. Sitios no categorizados	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	838,1	1.245,8	1.974,4	2.971,7	2.781,8	4.496,3	6.483,7	6.801,4	7.027,9

Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

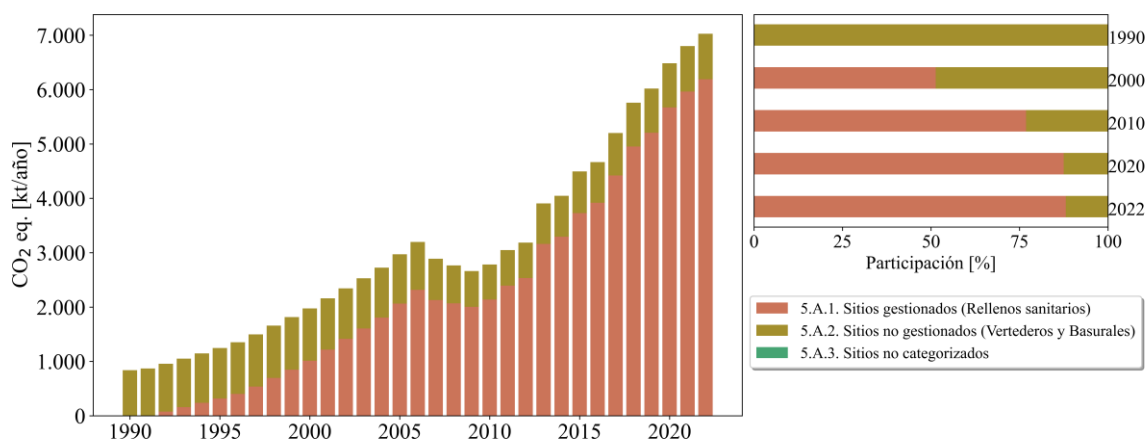


Figura 7-10. 5.A. Disposición de residuos sólidos: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por subcategoría, serie 1990-2022

Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

Considerando la serie 1990 – 2022, se observa que el aumento en la participación de los sitios gestionados, debido a las regulaciones sanitarias y la construcción de rellenos sanitarios para la eliminación de residuos. Por otro lado, se observa una baja en las emisiones entre los años 2007 y 2010, debido a la recuperación de biogás en algunos SDF. 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 *Certified Emissions Reductions* (CER) desde los proyectos del Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL). En consecuencia, desde 2013 las emisiones de GEI volvieron a aumentar potenciadas además por un aumento en la eliminación de residuos industriales.

7.2.1.1 Sitios gestionados (5.A.1.)

Los sitios gestionados corresponden a los SDF llamados rellenos sanitarios. Estos se caracterizan por tener condiciones más anaeróbicas que otros SDF. Esta característica genera condiciones propicias para la producción de metano a partir de la materia orgánica en descomposición. Las regulaciones de Chile impulsan a que los residuos, en primer orden, sean valorizados, y en segundo sean eliminados en un relleno sanitario. Esto trae un aumento en las emisiones de metano. Sin embargo, las condiciones de los rellenos sanitarios permiten la recuperación de biogás, lo que disminuye considerablemente las emisiones cuando los sistemas están bien operados. Existen rellenos sanitarios en casi todas las regiones del país y la mayoría de los residuos son eliminados en estos SDF.

7.2.1.2 Sitios no gestionados (5.A.2.)

Las emisiones contabilizadas en sitios no gestionados corresponden a las emisiones producidas por los residuos dispuestos en basurales y vertederos. Estos SDF poseen características más aeróbicas que los rellenos sanitarios, por lo que su capacidad de generar emisiones de metano es menor. Los basurales y vertederos no cumplen con todas las regulaciones sanitarias, por lo que, si bien generan menos emisiones, la disposición de residuos en rellenos sanitarios es mejor por regulaciones sanitarias y posible valorización del biogás generado. Los vertederos y basurales están presentes en casi todas las regiones, pero su participación (residuos eliminados) es mucho menor a los rellenos sanitarios.

7.2.2 Aspectos metodológicos de la categoría

Para la estimación de emisiones de GEI de la categoría 5.A. *Disposición de residuos sólidos* se utilizó una metodología de nivel 2 de acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006*. La estimación se basa en el modelo de Decaimiento de Primer Orden (FOD, por su sigla en inglés), el cual considera un factor exponencial que describe la fracción de material degradable que se descompone cada año en CH₄ y CO₂, según datos de actividad y algunos parámetros país específicos. Se considera que los sitios no categorizados son “No Estimados” (NE) por la no inclusión de basurales o vertederos ilegales, ya que no se cuenta con estadísticas sobre cantidad de residuos y o lugar en donde se eliminan. Sin embargo, se espera que estas emisiones sean bastante menores a las categorías estimadas, por las condiciones aeróbicas que deberían tener estos sitios de eliminación. Los métodos aplicados en la subcategoría se muestran en la Tabla 7-10.

Tabla 7-10. 5.A. Disposición de residuos sólidos: métodos aplicados por subcategoría

Subcategoría	CO ₂		CH ₄		N ₂ O	
	Método aplicado	Factor de emisión	Método aplicado	Factor de emisión	Método aplicado	Factor de emisión
5.A. Disposición de residuos sólidos			T2, NE	D, CS, NE		
5.A.1. Sitios gestionados (Rellenos sanitarios)			T2	D, CS		
5.A.2. Sitios no gestionados (Vertederos y Basurales)			T2	D, CS		
5.A.3. Sitios no categorizados			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 Residuos del MMA

Para estimar de manera más precisa las emisiones, 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 templado 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 húmeda. 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 información levantada a nivel nacional. La base para el cálculo es la cantidad de carbono orgánico degradable disuelto (*DDOC_m*), el que corresponde a la parte del carbono orgánico que se degrada bajo condiciones anaeróbicas en los SDF, que es igual al producto de la cantidad de residuos sólidos, la fracción de carbono orgánico degradable contenido en los residuos (*DOC*), la fracción de carbono orgánico degradable que se descompone bajo condiciones anaeróbicas (*DOC_f*) y la parte de los residuos que se descomponen bajo condiciones anaeróbicas en los SDF, la cual se interpreta a través del Factor de Conversión de Metano (*MCF*, por su sigla en inglés).

Además se utilizaron ecuaciones de descomposición de primer orden para calcular el *DDOCm* acumulado en los SDF y *DDOCm* 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.

Posteriormente, para determinar la cantidad de metano que se forma a partir del material en descomposición, se multiplicó la fracción de metano contenida en el gas generado por el cociente de pesos moleculares CH_4/C , como se muestra en la Ecuación 7-1.

Ecuación 7-1. 5.A. Disposición de residuos sólidos: CH_4 generado a partir de los *DDOCm* en descomposición

$$CH_4 \text{ generado}_T = DDOCm \text{ descomp}_T \times F \times 16/12$$

Fuente: Ecuación 3.6; Capítulo 3; Volumen 5; *Directrices del IPCC de 2006*.

Donde:

- $CH_4 \text{ generado}_T$: cantidad CH_4 generado a partir del material en descomposición
- $DDOCm \text{ descomp}_T$: CH_4 descompuesto durante el año T, kt
- F : fracción volumétrica de CH_4 en el gas de vertedero generado (fracción)

Finalmente, las emisiones de metano anuales procedentes de la disposición de residuos sólidos, se estimaron a través de la Ecuación 7-2, la cual considera la diferencia entre la sumatoria del metano generado por diversos tipos de residuos eliminados (RSM, industriales 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 0,1 que, según criterio de expertos del sector, representa el mejor valor para la capa oxidativa existente en los rellenos sanitarios del país.

Ecuación 7-2. 5.A. Disposición de residuos sólidos: emisiones de CH_4 provenientes de los SDRS

$$Emisiones \ de \ CH_4 = \left[\sum_i CH_4 \text{ generado}_{i,T} - R_T \right] \times (1 - OX_T)$$

Fuente: Ecuación 3.1; Capítulo 3; Volumen 5; *Directrices del IPCC de 2006*.

Donde:

- Emisiones de CH_4 : CH_4 emitido durante el año T, kt
- T: año del inventario
- i: categoría o tipo de residuo y/o material
- R_T : CH_4 recuperado durante el año T, kt
- OX_T : factor de oxidación durante el año T, (fracción)

7.2.2.1 Datos de actividad de la categoría

Los datos de actividad considerados abarcan tres orígenes para los residuos sólidos depositados en los diferentes SDF: Residuos sólidos municipales, residuos industriales y lodos de plantas de tratamiento de aguas servidas (PTAS). Por otro lado, también se considera el biogás recuperado en algunos SDF. A continuación, se detalla la fuente de información de cada uno de los datos de actividad utilizados en esta categoría.

Residuos sólidos municipales

Respecto a la disposición de residuos sólidos municipales, se consideran datos anuales reportados para cada región. La información sobre disposición o eliminación de residuos sólidos considera datos desde 1950, por lo que la construcción de la serie temporal incluye diferentes fuentes de información que se detallan a continuación.

- 1950-2000: Estimación a partir de la tasa de crecimiento de residuos que calcula el modelo del Banco Mundial, What a Waste 2.0 (2018), a partir de la población y el producto interno bruto del país.
- 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.
- 2012 y 2013: Interpolación lineal entre 2011 y 2014 por región.
- 2014 a 2022: Datos levantados por el 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). En 2020, el nivel de reporte por parte de las municipalidades fue afectado por la pandemia, por lo que se hizo estimaron los residuos depositados para las comunas que no reportaron en base a la información reportada en 2019.

Respecto de los SDF, se utilizaron los datos del SINADER, desde 2018 al 2022, los catastros de la Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo (SUBDERE) de 2012, 2014 y 2017, y los 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 su Resolución de Calificación Ambiental (RCA) y autorización sanitaria en rellenos sanitarios, vertederos o basurales. Para completar la serie entre 1990 y 2009 se consideraron los datos de 2010 de residuos depositados en cada SDF junto con los años de inicio de operación, obtención de (RCA) y autorización sanitaria para marcar el inicio en que se comienza a operar cada sitio como relleno sanitario o vertedero. Los SDF que no cuentan con RCA y autorización sanitaria son considerados basurales. La cantidad de residuos eliminados, desde 1990 a 2022, se presentan en la Tabla 7-11. Los datos históricos, desde 1950 a 1989, se presentan en el Anexo 11.6.1.

Residuos sólidos industriales

Respecto de los residuos sólidos industriales, estos se componen de una serie temporal desde 1950 a 2022. La cantidad de residuos eliminados se obtuvieron del SINADER, para los años 2015 a 2022, mientras que para los años anteriores a 2015, los datos se extrapolaron utilizando el producto interno bruto como indicador. 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. La información reportada en el 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.
- 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 voluminosos (incluyendo muebles).
- 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.
- A diferencia del inventario anterior, se consideran los residuos municipales reportados como residuos industriales, ya que de acuerdo con lo informado por los encargados de SINADER, estos son residuos adicionales a los reportados por las municipalidades, vale decir, residuos sólidos municipales.

La fracción de residuos industriales que se dispone en Rellenos sanitarios, Vertederos o Basurales se obtiene para los años 2015 al 2020 de los mismos datos reportados por las empresas y para el resto de la serie de tiempo se mantienen los porcentajes de distribución de los residuos sólidos municipales. La serie temporal se presenta en la Tabla 7-11. Los datos históricos, desde 1950 a 1989, se presentan en el Anexo 11.6.2.

Lodos de plantas de tratamiento de aguas servidas

Los lodos generados por el tratamiento de aguas residuales, que son tratados y enviados a SDF se suman a la cantidad de residuos sólidos eliminados. Los datos de actividad se obtienen de información levantada por la SMA y por el RETC; los datos provenientes del RETC también son insumo para determinar la cantidad de lodos de plantas de tratamiento de aguas servidas que se utilizan como mejorador de suelos agrícolas y forestales. Las emisiones generadas por la aplicación de estos lodos son contabilizadas en el sector de Agricultura. Los lodos son dispuestos solamente en rellenos sanitarios y vertederos. La cantidad anual utilizada en el inventario se presenta en la Tabla 7-11.

Metano recuperado

En distintos SDF se captura el biogás generado por los residuos eliminados. Este biogás está compuesto en gran parte por metano, por lo que esta fracción es restada de las emisiones estimadas para los SDF. La información sobre el biogás recuperado es levantada con cada empresa encargada de gestionar los sistemas de captura. La cantidad de metano recuperado a nivel nacional es presentada en la Tabla 7-11.

Tabla 7-11. 5.A. Disposición de residuos sólidos: Datos de actividad (t), serie 1990 - 2022

Año	Residuos sólidos municipales			Residuos sólidos industriales			Lodos		Metano recuperado
	Rellenos sanitarios	Vertederos	Basurales	Rellenos sanitarios	Vertederos	Basurales	Rellenos sanitarios	Vertederos	
1990	NO	2.386.252	691.437	NO	270.145	55.248	NO	NO	NO
1991	1.019.411	1.509.730	683.192	125.917	184.785	61.080	5.136	3.525	NO
1992	1.095.571	1.600.917	730.800	152.973	226.045	72.650	5.411	3.710	NO
1993	1.136.014	1.668.195	748.371	164.067	242.935	77.421	5.410	3.711	NO
1994	1.173.078	1.819.144	665.218	190.213	292.106	77.873	5.262	3.873	NO
1995	1.226.952	1.942.713	654.206	245.062	383.239	93.425	6.010	4.358	NO
1996	1.910.256	1.383.173	673.446	388.210	280.106	98.538	11.449	2.509	NO
1997	2.261.123	1.218.801	643.683	482.397	250.908	101.477	12.804	1.208	NO
1998	2.319.756	1.257.107	653.249	463.233	241.756	96.629	16.807	1.619	NO
1999	2.503.856	1.090.766	656.061	460.026	189.663	89.005	18.475	2.092	NO
2000	2.802.516	968.936	603.281	517.410	163.272	84.416	21.051	6.671	NO
2001	2.866.805	991.858	607.637	472.725	149.349	75.408	122.661	8.667	NO
2002	2.897.931	1.285.042	413.527	464.891	160.091	60.285	162.815	36.108	NO
2003	2.988.322	1.391.284	397.394	504.284	177.402	61.622	339.482	75.995	NO
2004	3.326.471	1.249.072	388.557	724.464	170.046	80.378	368.900	65.549	0,2
2005	3.536.657	1.201.966	375.077	904.990	203.698	99.623	377.376	62.573	0,2
2006	3.674.524	1.255.255	381.121	1.139.201	257.969	123.851	374.703	58.861	1,5
2007	4.075.212	1.041.778	375.910	1.310.949	260.006	134.981	433.426	63.992	22,5
2008	4.193.965	983.133	430.902	1.364.209	257.206	143.799	438.763	65.543	37,9
2009	4.318.315	1.014.063	447.122	1.309.159	246.826	137.996	466.375	67.225	52,5
2010	4.682.280	874.527	378.893	1.745.905	286.564	114.986	410.450	52.947	58,6
2011	4.850.725	955.848	377.258	2.010.623	339.066	129.059	461.198	49.395	61,2
2012	5.067.353	970.694	367.641	2.165.263	342.005	117.604	457.400	45.668	69,0
2013	5.082.208	1.037.126	527.630	2.226.775	347.344	161.418	465.320	43.150	56,3
2014	5.230.436	1.147.177	477.435	2.090.395	331.587	138.224	518.137	66.846	63,4
2015	5.595.627	1.218.730	451.179	2.150.826	635.518	37	523.988	68.594	59,1
2016	5.609.908	1.230.278	484.212	2.194.153	555.838	262	448.250	97.366	65,5
2017	6.333.156	1.222.388	270.150	2.634.385	494.153	2.635	512.727	49.528	56,4
2018	6.700.299	1.105.555	147.452	1.529.439	354.231	4.046	508.287	74.373	50,3
2019	6.779.185	852.700	107.295	1.756.816	282.753	7.567	406.757	55.844	51,9
2020	7.215.256	677.175	110.316	903.728	662.978	5.820	439.876	44.737	45,2
2021	7.593.022	638.911	110.255	1.057.508	572.181	11.137	596.218	44.692	44,3
2022	7.299.992	701.683	111.253	820.101	387.253	12.417	589.114	37.351	48,3

Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

7.2.2.2 Factores de emisión aplicados en la categoría

La estimación de emisiones producto de la eliminación y disposición de residuos sólidos requiere de múltiples factores. En esta sección se detalla la información utilizada referente a composición de residuos sólidos, parámetros sobre materia orgánica, factores de generación de metano, según zona climática.

La composición de residuos sólidos municipales se obtuvo con datos país específicos recopilados desde el Informe de la SUBDERE 2017 “Diagnóstico de la situación por comuna y por región en materia de RSM y Asimilables”⁹⁰. 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 macro zonales, siendo estas: Norte y Sur, regiones al norte y sur de la Región Metropolitana, respectivamente, y zona centro, que es la Región Metropolitana sola. La composición de residuos sólidos municipales se mantuvo constante para toda la serie. Los resultados se compararon con la composición por defecto para 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 7-12.

Respecto a los datos paramétricos necesarios, estos fueron obtenidos de las *Directrices del IPCC de 2006*, por defecto. 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 y plantas de tratamiento de aguas industriales se consideró una humedad del 75% y para la fracción de otros en los residuos sólidos municipales e industriales se consideraron los parámetros de residuos a granel que considera una composición por defecto para residuos de América del Sur.

Por otra parte, los MCF se asignaron según SDF, y los SDF por su parte, son definidos en base a los siguientes criterios:

- Relleno sanitario anaeróbico: Disposición controlada de residuos, recepción de residuos mayor a 100 t/día, densidad superior a 600 kg/m³, 60-70% de materia orgánica, humedad superior al 40%. Cuentan con RCA y autorización sanitaria (Resolución N°2444 del MINSAL).
- Relleno sanitario semi anaeróbico: Disposición controlada de residuos, recepción de residuos menor a 100 t/d, densidad menor a 600 kg/m³, 60-70% de materia orgánica, 30-40% humedad. Cuentan con RCA y autorización sanitaria (Resolución N°2444 del MINSAL).
- Vertedero: Tienen comportamiento errático con baja generación de CH₄. Cuentan con autorización sanitaria (Resolución N°2444 del MINSAL).
- Basural: Disposición incontrolada de residuos, prácticamente, es aerobio, sin generación de CH₄. No cuenta con RCA, ni autorización sanitaria (Resolución N°2444 del MINSAL).

Para este inventario se consideró que todos los rellenos sanitarios son rellenos anaeróbicos.

⁹⁰ <http://www.subdere.gov.cl/content/1%C3%ADnea-base-diagn%C3%B3stico-y-catastro-de-rsd-a-%C3%B1o-2017>

Tabla 7-12. 5.A. Disposición de residuos sólidos: Factores utilizados en la estimación de emisiones

Residuos sólidos municipales									Residuos industriales		Transversal			
Composición de residuos sólidos municipales ⁹¹	Materia orgánica [%]	Papel y cartón [%]	Plástico [%]	Vidrio [%]	Metales [%]s	Otros Residuos [%]	Factor	Valor	Factor	Valor	Factor - Boreal y templado	Factor	SDF	MCF
Norte	56,6	10,6	12,0	3,0	1,9	15,9	DOCf	0,50	DOCf	0,50	Seco - Orgánicos	0,06	Relleno Sanitario anaeróbico	1,0
Región Metropolitana	56,7	12,3	10,7	3,8	1,0	15,5	F	0,50	F	0,50	Seco - Papel y cartón	0,04	Vertedero	0,3
Sur	56,0	10,9	11,0	2,4	2,0	17,7	DOC - Orgánicos	0,15	DOC - Alimentos	0,15	Seco - Otros	0,05	Basural	0,2
País	56,5	11,4	11,1	3,2	1,5	15,9	DOC - Papel y cartón	0,40	DOC - lodos	0,06	Seco - Lodos	0,06		
Refinamiento IPCC, 2019	57,4	12,4	13,7	3,0	2,0	11,5	DOC - Otros	0,16	Carbono DOC - Textiles	0,24	Húmedo - Orgánicos	0,19		
							DOC - Lodos	0,13	DOC - Pulpa y papel	0,40	Húmedo - Papel Cartón	0,06		
									DOC - Construcción	0,04	Húmedo - Otros	0,09		
									DOC - Otros	0,16	Húmedo - Lodos	0,19		

DOCf: Fracción del carbono orgánico degradable que se descompone; F: Fracción de metano en gas generado; DOC: Carbono orgánico degradable; k: Índice de generación de metano
Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA y Sección 3.2.3.; Capítulo 3; y Sección 2.3; Capítulo 2; Volumen 5; *Directrices del IPCC de 2006*.

⁹¹ <http://www.subdere.gov.cl/content/!%C3%ADnea-base-diagn%C3%B3stico-y-catastro-de-rsd-a%C3%B1o-2017>

7.2.3 Descripción de cualquier flexibilidad aplicada en la categoría

Durante este ciclo de actualización no se aplicaron criterios de flexibilidad en la estimación de emisiones.

7.2.4 Incertidumbre y coherencia de la serie temporal de la categoría

El cálculo de la incertidumbre fue realizado para cada subcategoría. La incertidumbre combinada para la subcategoría 5.A.1. *Sitios gestionados* fue de - 97,1 % y 105,4 %, mientras que para la subcategoría 5.A.2. *Sitios no gestionados* fue de -81,4 % y +102,1 %. La incertidumbre de los factores de emisión corresponde a cero, ya que esta fue incluida en la incertidumbre de los datos de actividad. Los resultados son presentados en la Tabla 7-13.

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 se consideraron las recomendadas por las *Directrices del IPCC de 2006* (Cuadro 3.5; Capítulo 3; Volumen 5). Para combinar las incertidumbres de los datos de actividad, parámetros y factores de emisión se consideró que el modelo de decaimiento de primer orden combina las incertidumbres, donde las variables se multiplican, por lo que se utilizó la ecuación de combinación de incertidumbre método 1, generando resultados para cada subcategoría.

Tabla 7-13. 5.A. Disposición de residuos sólidos: Incertidumbre combinada, serie 1990 - 2022

Código IPCC	Categoría del IPCC	Gas	Incertidumbre en los datos de actividad		Incertidumbre en el factor de emisión		Incertidumbre combinada	
			(-)%	(+)%	(-)%	(+)%	(-)%	(+)%
5.A.1.	Sitios gestionados	CH ₄	97,1%	105,4%	0,0%	0,0%	97,1%	105,4%
5.A.2.	Sitios no gestionados	CH ₄	81,4%	102,1%	0,0%	0,0%	81,4%	102,1%
5.A.3.	Sitios no categorizados	CH ₄	NE	NE	NE	NE	NE	NE

Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

Para mantener la consistencia de la serie 1990-2022 se utilizó la misma metodología, y los mismos factores de emisión y datos paramétricos para toda la serie temporal. Los datos de actividad de toneladas de residuos sólidos municipales e industriales depositados provienen de la misma fuente de información, por lo que pudo construirse una base de datos consistente, la cual fue sometida a varios controles de calidad. La base de datos tiene formato anual y hace referencia a cada comuna, por lo que se revisaron todos los reportes individualizados por año y comuna. Respecto a los SDF para los últimos años, se utilizó la información reportada por SINADER, a diferencia de los años anteriores, donde se utilizaba la información de SUBDERE. Estos últimos dejaron de levantar información ya que ahora también la obtienen de SINADER. Se compararon las distribuciones por región por tipo de SDF para el 2017, encontrado consistencia entre ambas bases de datos, por lo que se utilizaron directamente los datos nuevos, manteniendo la clasificación de cada sitio de disposición.

7.2.5 Procedimiento de garantía y control de la calidad y 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. También se verificó la cantidad de residuos reportados a nivel comunal y se realizaron correcciones en datos fuera de tendencia o anómalos. Adicionalmente se verificaron los parámetros país específico utilizados con los valores por defecto del IPCC.

7.2.6 Nuevos cálculos

Para este inventario no se realizaron ajustes metodológicos mayores, en otras palabras, los cambios realizados no tienen un mayor impacto en el resultado del inventario nacional. Sin embargo, se ajustó la distribución de la captura de biogás en las diferentes regiones. Esto se realizó ya que algunas emisiones regionales resultaban menores a cero, lo que no tiene un sentido físico. Para subsanar esto, la captura de biogás se distribuyó en todos los SDF, mientras que en el inventario anterior solo se asignaba a los rellenos sanitarios. Además, se corrigieron datos puntuales en diferentes años de la serie. En la Tabla 7-14 y Figura 7-11 se pueden ver las diferencias entre el inventario anterior y el actual.

Tabla 7-14. 5.A. Disposición de residuos sólidos: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI 5to IBA (serie 1990-2020) e INGEI 1er IBT (serie 1990-2022)

INGEI	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022
INGEI 5to IBA	838,1	1.245,7	1.972,3	2.965,2	2.934,7	4.644,0	6.549,0	-	-
INGEI 1er IBT	838,1	1.245,8	1.974,4	2.971,7	2.781,8	4.496,3	6.483,7	6.801,4	7.027,9
Diferencia	-	0,1	2,1	6,5	-152,9	-147,7	-65,3	-	-
Diferencia %	0,0%	0,0	0,1	0,2	-5,2	-3,2	-1,0	-	-

Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

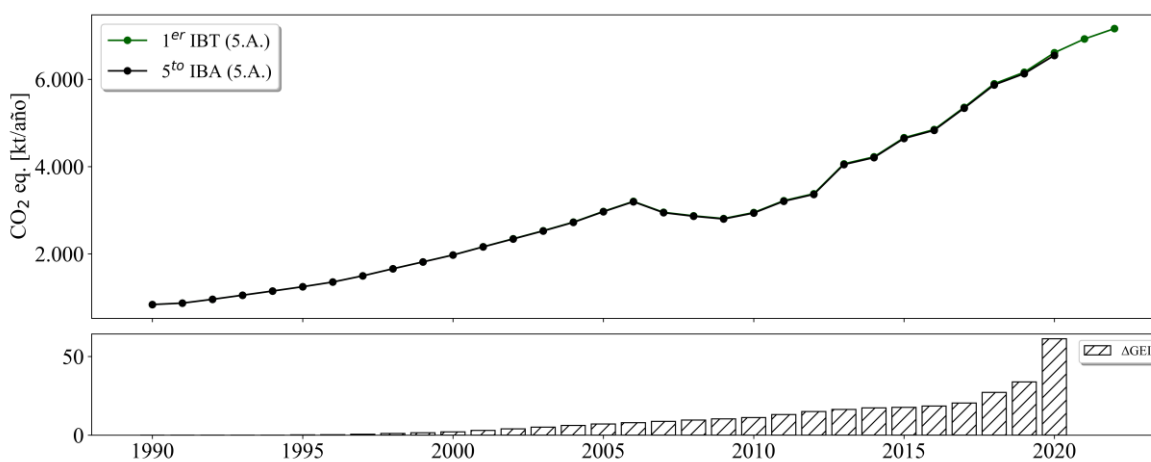


Figura 7-11. 5.A. Disposición de residuos sólidos: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI 1er IBT (serie 1990-2022) e INGEI 5to IBA (serie 1990-2020)

Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

7.2.7 Mejoras planificadas para la categoría

La estimación de emisiones se realiza agrupando los residuos por región y la participación de cada SDF, sin embargo, al pasar los años, diferentes SDF cambian de clasificación, pasando de basal a vertedero y de vertedero a relleno sanitario. Con la metodología actualmente aplicada la carga orgánica histórica se invisibiliza en los sitios que cambian de clasificación. Para esto es necesario trabajar en una estimación por SDF, en vez de una estimación regional.

Por otro lado, es necesario verificar otros tipos de residuos industriales que podrían no estar siendo considerados. Industrias del papel y la celulosa, y del rubro pesquero, son actividades intensivas en el país, por lo que su aporte podría ser sustantivo.

7.3 Tratamiento biológico de los residuos sólidos (5.B.)

7.3.1 Descripción y tendencia de los GEI 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 anaeróbica, permiten la producción de biogás para la producción de energía. En el caso del compostaje el producto final puede utilizarse como fertilizante y abono en suelos, o bien, eliminarse en SDF. En el contexto nacional, al 2022, existen alrededor de 25 instalaciones o proyectos de compostaje a lo largo del país, existiendo una “Norma Chilena de calidad de compost” (NCh 2880 del INN).

La categoría *Tratamiento biológico de los residuos sólidos* es la cuarta categoría emisora de GEI del sector *Residuos* (0,8 %). En 2022, sus emisiones de GEI contabilizaron 79,3 kt CO₂ eq, incrementándose en un 402 % desde 1990 y aumentando en un 33,5% desde 2020 (Tabla 7-15 y Figura 7-12). 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 7-15. 5.B. Tratamiento biológico de residuos sólidos: emisiones de GEI (kt CO₂ eq), serie 1990-2022

Categoría	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022
5.B. Tratamiento biológico de los residuos sólido	15,8	15,8	18,9	44,4	60,1	58,4	59,5	69,0	79,3
Total	15,8	15,8	18,9	44,4	60,1	58,4	59,5	69,0	79,3

Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

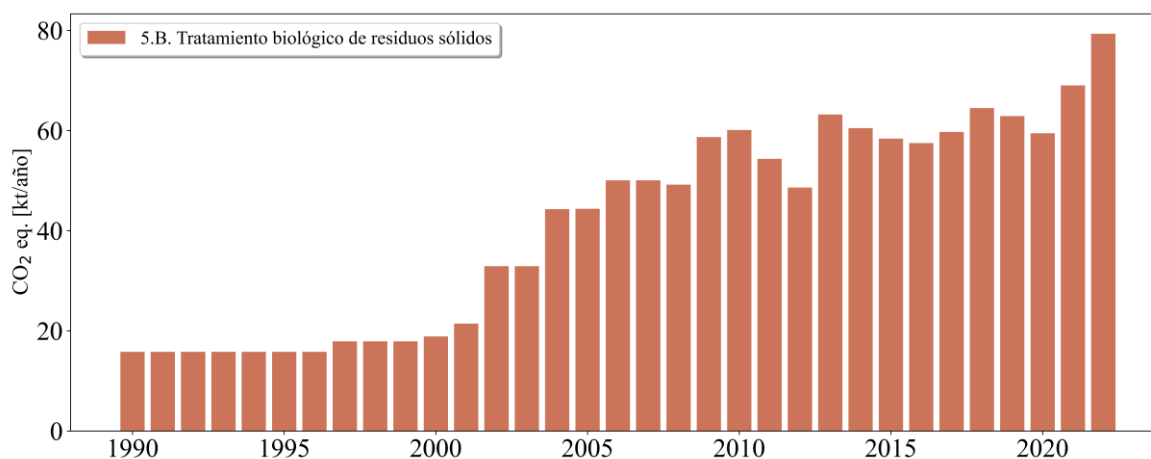


Figura 7-12. 5.B. Tratamiento biológico de residuos sólidos: emisiones de GEI (kt CO₂ eq), serie 1990-2022

Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

Se observa un crecimiento hacia los últimos años de la serie, debido al incremento de políticas sobre la valorización de residuos y la cantidad de empresas de compostaje. Cabe destacar que la baja del 2020 podría deberse a la cantidad de reportes y la baja actividad producto de la pandemia.

7.3.2 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 y N₂O, de acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006*, con factores de emisión por defecto. Lo métodos se detallan en la Tabla 7-16.

Tabla 7-16. 5.B. Tratamiento biológico de residuos sólidos: métodos aplicados por subcategoría

Subcategoría	CO ₂		CH ₄		N ₂ O	
	Método aplicado	Factor de emisión	Método aplicado	Factor de emisión	Método aplicado	Factor de emisión
5.B. Tratamiento biológico de residuos sólidos			T1	D	T1	D

Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

Se aplicó la misma ecuación para estimar las emisiones de metano y óxido nitroso. Las emisiones de GEI procedente de los diferentes procesos de tratamiento biológicos se estiman a partir de la Ecuación 7-3.

Ecuación 7-3. 5.B. Tratamiento biológico de residuos sólidos: emisiones de GEI provenientes del tratamiento biológico (Nivel 1)

$$Emisión_{GEI} = \sum_i (M_i \cdot EF_i) \cdot 10^{-3} - R$$

Fuente: Ecuación 4.1; Capítulo 4; Volumen 5; *Directrices IPCC de 2006*.

Donde:

- Emisiones de GEI: total de las emisiones de CH₄ o N₂O durante el año de inventario, kt de CH₄ o N₂O.
- M_i: masa de los residuos orgánicos sometidos al tratamiento biológico *i*, kt.
- EF_i: factor de emisión del tratamiento *i*, g de CH₄ o N₂O (GEI/kg) de residuos tratados.
- *i*: preparación de abono orgánico o digestión anaeróbica.
- R: cantidad total de CH₄ recuperado durante el año del inventario, kt de CH₄. Este término sólo aplica para la estimación de CH₄.

7.3.2.1 Datos de actividad de la categoría

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), datos de valorización de residuos obtenidos a partir de un informe elaborado por la SUBDERE⁹² y datos levantados desde 2014 a través de RETC, asociado al reporte SINADER. Los tipos de residuos que se compostan incluyen residuos de alimentos, residuos de jardines y parques, 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 7-17.

⁹² <http://www.subdere.gov.cl/documentacion/diagn%C3%B3stico-y-catastro-de-rsd-%C3%B1o-2017>

Tabla 7-17. 5.B. Tratamiento biológico de residuos sólidos: cantidad total de residuos en compostaje (t, base húmeda)

Año	Compostaje (kt)
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	344,4
2015	332,5
2016	327,5
2017	340,1
2018	367,3
2019	358,1
2020	338,6
2021	393,0
2022	451,8

Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

7.3.2.2 Factores de emisión aplicados en la categoría

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 7-18).

Tabla 7-18. 5.B. Tratamiento biológico de residuos sólidos: Factores de emisión utilizados en la categoría

Proceso	GEI	Factor de emisión (g GEI/kg residuo tratado)
Abono orgánico (compost)	CH ₄	4,00
Abono orgánico (compost)	N ₂ O	0,24

Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

7.3.3 Descripción de cualquier flexibilidad aplicada en la categoría

Durante este ciclo de actualización no se aplicaron criterios de flexibilidad en la estimación de emisiones.

7.3.4 Incertidumbre y coherencia de la serie temporal de la categoría

La incertidumbre combinada de la categoría es de -141 % y +224 % para las emisiones de CH₄ y de -128 % y 224 % para las emisiones de N₂O. No se cuenta con información nacional de la incertidumbre de los datos de actividad y los factores de emisión, por lo que se consideró la información recomendada 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 7-19.

Tabla 7-19. 5.B. Tratamiento biológico de residuos sólidos: Incertidumbre combinada, serie 1990 – 2022.

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

Por otro lado, para mantener la consistencia de la serie 1990-2022 se usaron los mismos factores de emisión y se hizo una revisión histórica en base a las plantas de compostaje existentes y su año de inicio al incluir datos de nuevas fuentes. Además, a partir del 2014, se considera sólo la información reportada en el RETC, la que es consistente con la revisión histórica de la producción por empresa.

7.3.5 Procedimiento de garantía y control de la calidad de la categoría

Se revisaron los datos por cada planta y se verificó que esta fuera consistente con los reportes anuales de RETC y con la región en la que se reporta.

7.3.6 Nuevos cálculos

Se efectuaron recálculos asociados a los datos de actividad de años anteriores para algunos establecimientos de compostaje en función del análisis de tendencia de cada establecimiento y la información levantada por el RETC. En la Tabla 7-20 y la Figura 7-13 se observa como variaron las emisiones de GEI de la subcategoría con respecto al inventario anterior.

Tabla 7-20. 5.B. Tratamiento biológico de residuos sólidos: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI 5to IBA (serie 1990-2020) e INGEI 1er IBT (serie 1990-2022)

INGEI	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022
INGEI 5to IBA	15,8	15,8	18,9	44,4	60,1	71,9	61,8	-	-
INGEI 1er IBT	15,8	15,8	18,9	44,4	60,1	58,4	59,5	69,0	79,3
Diferencia	-	-	-	-	-	-13,5	-2,4	-	-
Diferencia %	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	-23,1%	-4,0%	-	-

Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

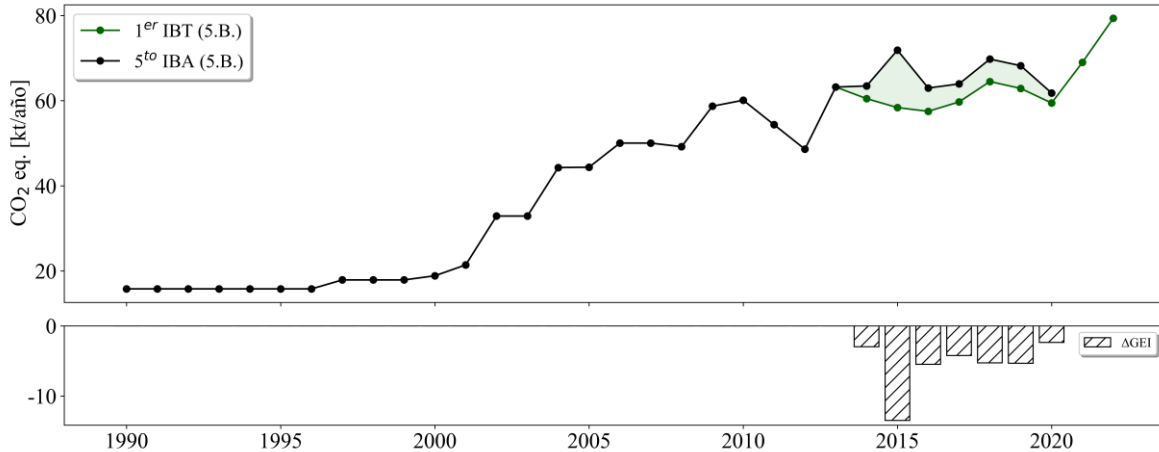


Figura 7-13. 5.B. Tratamiento biológico de residuos sólidos: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI 1er IBT (serie 1990-2022) e INGEI 5to IBA (serie 1990-2020)

Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

7.3.7 Mejoras planificadas para la categoría

Como plan de mejora para la estimación de esta categoría, se contempla la implementación de la metodología actualizada del IPCC, propuesta en el Perfeccionamiento de las Directrices de 2006. Mejoras específicas para los datos de actividad o factores de emisión de la presente subcategoría no se contemplan en la actualidad. Por otro lado, es necesario incluir las emisiones por biodigestión de algunos residuos, actualmente solo se incluye el compostaje de residuos.

7.4 Incineración y quema abierta de residuos (5.C.)

7.4.1 Descripción y tendencia de los GEI de la categoría

La categoría 5.C. *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. La quema de residuos 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, es conocido que esta ocurre de igual forma, por lo que la cantidad incinerada se estima en base a supuestos que se señalan más adelante. Por otro lado, existe autorización para la eliminación de residuos hospitalarios mediante quema y la cremación de cadáveres y restos humanos o de mascotas.

La categoría *Incineración e incineración abierta de residuos* es la tercera categoría de emisiones de GEI del sector *Residuos* (1,5 %). En 2022, sus emisiones de GEI contabilizaron 137,7 kt CO₂ eq, incrementándose en un 129% desde 1990 y aumentando en un 12,4% desde el 2020 (Tabla 7-21 y Figura 7-14). Respecto de las subcategorías, la *5.C.2. Incineración abierta de residuos* representó un 92,8 % de las emisiones, incrementando en 119 % desde 1990 y 14,9 % desde 2020. La subcategoría *5.C.1 Incineración de residuos* representó el 7,2 % restante durante el año 2022, incrementándose en un 402 % desde 1990 y decreciendo en 12,2 % desde 2020. La principal causa de las variaciones de las emisiones de GEI de esta categoría responden a la población rural y la generación de residuos per cápita. 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 7-21. 5.C. Incineración e incineración abierta de residuos: emisiones de GEI (kt CO₂ eq), serie 1990-2022

Categoría	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022
5.C.1. Incineración de residuos	1,7	1,8	2,3	3,3	5,0	8,3	11,3	9,5	9,9
5.C.2. Incineración abierta de residuos	58,3	62,3	65,6	74,1	86,7	99,5	111,2	118,9	127,8
Total	60,0	64,2	68,0	77,4	91,7	107,7	122,4	128,4	137,7

Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

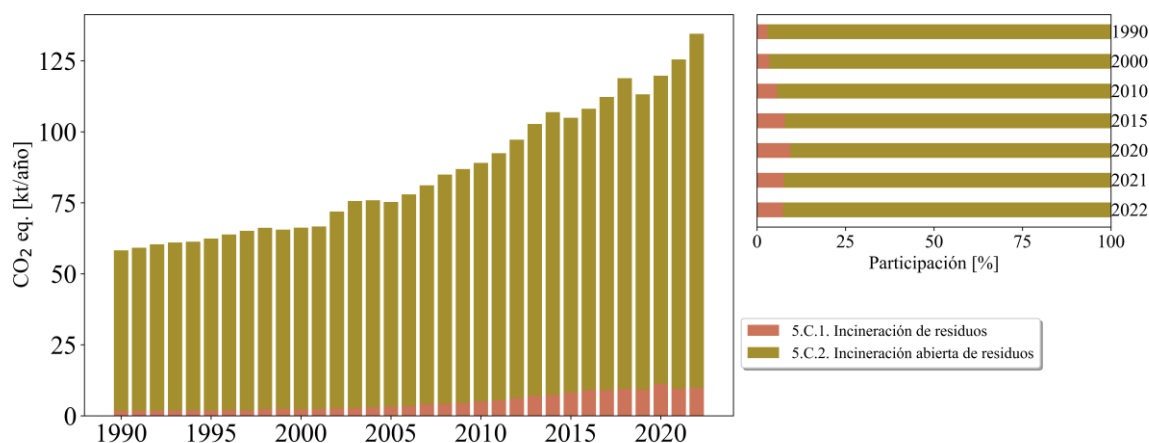


Figura 7-14. 5.C. Incineración e incineración abierta de residuos: tendencia de las emisiones de GEI (kt CO₂ eq), serie 1990-2022

Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

De acuerdo con la Figura 7-14, se observa un aumento consistente en las emisiones debido a la cantidad de residuos generados e incinerados, así como en las defunciones y cremación. Por otra parte, en la *5.C.1. Incineración de residuos* se aprecia un decrecimiento posterior al año 2020 debido al alza de defunciones ocurridas durante la pandemia y su baja posterior.

7.4.1.1 Incineración de residuos (5.C.1.)

La subcategoría incineración de residuos considera la quema de residuos hospitalarios y la incineración de personas. Aquí sólo se consideran las emisiones de CO₂ de la quema de residuos hospitalarios, puesto que las emisiones de CO₂ proveniente de cremaciones son consideradas biogénicas.

7.4.1.2 Incineración abierta de residuos (5.C.2.)

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.

7.4.2 Aspectos metodológicos de la categoría

Para la estimación de las emisiones de GEI de ambas subcategorías 5.C.1. *Incineración de residuos* e 5.C.2. *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, como se muestra en la Tabla 7-22.

Tabla 7-22. 5.C. Incineración y quema de residuos: métodos aplicados por subcategoría

Subcategoría	CO ₂		CH ₄		N ₂ O	
	Método aplicado	Factor de emisión	Método aplicado	Factor de emisión	Método aplicado	Factor de emisión
5.C.1. Incineración de residuos	T1	D	T1	D	T1	D
5.C.2. Incineración abierta de residuos	T1	D	T1	D	T1	D

Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

Dióxido de carbono

Para la estimación de las emisiones de CO₂ se utiliza el método de nivel 1, la cual considera lo siguiente:

Ecuación 7-4. 5.C.1. Incineración de residuos: estimación de emisiones de CO₂ basada en la cantidad total de desechos quemados (Nivel 1)

$$Emisión_{CO_2} = \sum_i (SW_i \cdot dm_i \cdot CF_i \cdot FCF_i \cdot OF_i) \cdot 44/12$$

Fuente: Ecuación 5.1; Capítulo 5; Volumen 5; *Directrices IPCC de 2006*.

Donde:

- Emisión_{CO2}: emisiones de CO₂ durante el año del inventario, kt/año
- SW_i: cantidad total de residuos sólidos del tipo i (peso húmedo) incinerados, kt/año.
- dm_i: contenido de materia seca en los residuos (peso húmedo) incinerados, fracción.
- CF_i: fracción de carbono en la materia seca (contenido de carbono total), fracción.
- FCF_i: fracción de carbono fósil en el carbono total, fracción.
- OF_i: factor de oxidación, fracción.
- 44/12: factor de conversión de C en CO₂.
- i: tipo de residuos incinerado o quemado al aire libre.

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 y nitroso

Las emisiones provenientes de la incineración son el resultado de una combustión incompleta y están moderadas por factores como la temperatura, el tiempo de residencia y proporción de aire respecto a la cantidad de residuos. Las emisiones de CH₄ y N₂O se estiman siguiendo un método de nivel 1 de acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006*, que considera lo siguiente:

Ecuación 7-5. 5.C.1. Incineración de residuos: estimación de emisiones de CH₄ o N₂O basada en la cantidad total de desechos quemados (nivel 1)

$$Emisión_{CH_4 \text{ o } N_2O} = \sum_i (IW_i \cdot EF_i) \cdot 10^{-6}$$

Fuente: Ecuación 5.4; Capítulo 5; Volumen 5; *Directrices IPCC de 2006*.

Donde:

- Emisión_{CH₄ o N₂O}: emisiones de CH₄ o N₂O durante el año del inventario, kt/año
- IW_i: cantidad total de residuos sólidos del tipo i (peso húmedo) incinerados, kt/año.
- EF_i: factor de emisión de CH₄ o N₂O por tipo de residuo, kg CH₄ o N₂O (GEI/Gg) de residuos.
- i: tipo de residuos incinerado.

7.4.2.1 Datos de actividad de la categoría

Los datos de actividad utilizados en la estimación de emisiones de esta categoría corresponden al levantamiento de información de diversas fuentes y estimaciones de actividad en base a supuestos. La información utilizada en este inventario se puede ver en la Tabla 7-23 y el detalle de la fuente de información y como se estimaron los datos de actividad se muestra a continuación:

- Residuos hospitalarios: La cantidad de residuos hospitalarios incinerados son recopilados con las empresas privadas dedicadas a esta actividad. Para este inventario no se pudo contactar a las empresas, por lo que se mantuvo el valor del último reporte para los años nuevos.
- Cremación: La cantidad de cuerpos incinerados fue obtenida en consulta con cada centro incinerador. Para los últimos cuatro años no se ha podido contactar a las empresas, por lo que en este inventario se realizó una extrapolación de la cantidad de incineraciones, considerando el porcentaje incinerado en los últimos años en cada región y la cantidad de defunciones.
- Residuos sólidos incinerados: Los datos de actividad incluyen: la población nacional y rural, que se obtiene de publicaciones del INE en base al censo 2017. 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. La cantidad de residuos sólidos incinerados de forma abierta se estima según la Ecuación 7-6.

Ecuación 7-6. 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.

Tabla 7-23. 5.C. Incineración y quema abierta de residuos: Datos de actividad, serie 1990 – 2022

Año	Población Rural	Nacional	Residuos quemados (t)	Residuos hospitalarios (t)	Crematorios (t)	Región	Cobertura rural de aseo
1990	2.219.555	13.178.782	129.523	-	75,8	Arica y Parinacota.	97%
1991	2.213.776	13.422.010	131.479	-	79,2	Tarapacá.	87%
1992	2.207.996	13.665.241	133.759	-	82,9	Antofagasta.	81%
1993	2.202.216	13.908.473	135.150	-	84,7	Atacama.	91%
1994	2.196.437	14.151.708	135.737	-	83,8	Coquimbo.	78%
1995	2.190.657	14.394.940	138.442	-	80,7	Valparaíso.	87%
1996	2.184.878	14.595.504	141.167	83,5	87,7	Metropolitana de Santiago	99%
1997	2.179.098	14.796.076	144.278	94,1	84,1	Libertador General Bernardo O'Higgins.	92%
1998	2.173.318	14.996.647	145.580	106,0	103,7	Maule.	73%
1999	2.167.539	15.197.213	143.951	119,5	106,9	Ñuble.	68%
2000	2.161.759	15.397.784	145.763	134,7	99,3	Biobío.	68%
2001	2.155.980	15.571.679	146.425	151,8	104,1	La Araucanía.	35%
2002	2.150.200	15.691.701	157.925	171,1	111,9	Los Ríos.	79%
2003	2.142.439	15.856.977	166.418	192,9	114,3	Los Lagos.	59%
2004	2.135.823	16.022.133	166.660	217,4	124,2	Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo.	64%
2005	2.130.300	16.183.489	164.545	245,0	139,5	Magallanes y la Antártica Chilena.	68%
2006	2.126.562	16.347.890	170.538	276,2	146,0		
2007	2.125.197	16.517.933	176.422	311,3	176,3		
2008	2.126.945	16.697.754	184.828	350,9	182,1		
2009	2.131.585	16.881.078	188.858	395,5	188,5		
2010	2.138.137	17.063.927	192.480	445,8	211,3		
2011	2.146.736	17.254.159	199.032	502,4	229,9		
2012	2.155.630	17.443.491	207.862	559,1	262,5		
2013	2.162.542	17.611.902	218.396	564,0	299,5		
2014	2.169.346	17.787.617	227.350	672,7	307,4		
2015	2.176.346	17.971.423	220.849	791,7	345,7		
2016	2.183.598	18.167.147	226.216	615,2	388,3		
2017	2.193.732	18.419.192	235.572	281,4	394,0		
2018	2.207.982	18.751.405	249.165	436,4	412,8		
2019	2.223.520	19.107.216	237.094	753,8	386,8		

Año	Población Rural	Nacional	Residuos quemados (t)	Residuos hospitalarios (t)	Crematorios (t)	Región	Cobertura rural de aseo
2020	2.239.061	19.458.310	246.913	670,7	481,5		
2021	2.247.649	19.678.363	264.125	670,7	404,2		
2022	2.252.729	19.828.563	283.776	670,7	420,9		

Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

7.4.2.2 Factores de emisión aplicados en la categoría

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*. Los factores de emisión para el CH₄ y N₂O usados para la estimación de las emisiones de GEI de las subcategorías fueron factores por defecto de las *Directrices IPCC de 2006*. Todos los factores y factores de emisión se presentan en la Tabla 7-24.

Tabla 7-24. 5.C. Incineración y quema abierta de residuos: Factores utilizados en la estimación de emisiones

CO ₂ hospitalario		5.C.1. Incineración de residuos				5.C.2. Incineración abierta de residuos		
Parámetro	Factor	Sexo declarado	Peso kg	GEI	kg/Gg residuo	GEI	FE	Unida
Materia seca	0,65	Hombre	70	CH ₄	237	CH ₄	6500	gr/ton de peso húmedo
Fracción de carbono en la materia seca	0,60	Mujer	60	N ₂ O	60	N ₂ O	0,15	gr/kg de materia seca
Fracción de carbono fósil en el carbono total	0,40							
Factor de oxidación	1,00							

Fuente: Cuadro 5.3, Capítulo 5; Volumen 5, GL2006; texto debajo de cuadro 5.3

7.4.3 Descripción de cualquier flexibilidad aplicada en la categoría

Durante este ciclo de actualización no se aplicaron criterios de flexibilidad en la estimación de emisiones.

7.4.4 Incertidumbre y coherencia de la serie temporal de la categoría

La incertidumbre combinada de esta categoría es de -136 % y +220 % para las emisiones de CO₂, de -141 % y + 224 % para las emisiones de CH₄ y de 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 se consideraron las recomendadas en las *Directrices del IPCC del 2006*, específicamente el Cuadro 3.5; Capítulo 3; Volumen 5, para los datos de actividad; el Cuadro 2.6; Capítulo 2; Volumen 5, para la materia seca y el Cuadro 5.2; Capítulo 5, Volumen 5, para el resto de los parámetros referidos a las emisiones de CO₂. La Sección 5.7.1.; Capítulo 5; Volumen 5, fue utilizada para los factores de emisión de CH₄ y N₂O. Un resumen de los resultados de la incertidumbre combinada se presenta en la Tabla 7-25.

Tabla 7-25. 5.C. Incineración de residuos: resumen de la incertidumbre combinada, serie 1990 - 2022

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	CO ₂	91,7%	200,0%	100,0%	91,7%	135,6%	220,0%
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	N ₂ O	100,0%	200,0%	100,0%	100,0%	141,4%	223,6%

Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

Para mantener la consistencia de la serie 1990-2022, se utilizaron los mismos factores de emisión y la misma fuente de datos de actividad, tanto estadísticos como paramétricos. Frente a los casos en que hubo ausencia de datos para estimar el porcentaje de cremaciones en el país, se realizó una regresión lineal o cuadrática utilizando los datos históricos por empresa, dependiendo del mejor ajuste.

7.4.5 Procedimiento de garantía y control de la calidad de la categoría

Se realizaron procedimientos de control de calidad de los datos, verificando la consistencia y coherencia de los datos a lo largo de la serie.

7.4.6 Nuevos cálculos

Se realizaron ajustes en los datos de actividad y se corrigieron los factores de emisión utilizados. Por parte de los datos de actividad, se estimaron nuevamente los residuos quemados, con una serie nueva de población. Por parte de las incineraciones, se corrigió la serie histórica debido a que no se pudo obtener la información con las instituciones encargadas de las incineraciones en el ciclo anterior y el presente ciclo de actualización. Para subsanar esta brecha de información se utilizó información sobre las defunciones nacionales y se aplicó un factor correspondiente a las personas incineradas para cada región y año. También se modificó el factor de emisión que estaba siendo considerado en las unidades incorrectas. Los cambios resultan en diferencias importante dentro de la categoría, pero a nivel del sector no. Los resultados se pueden ver en Tabla 7-26 y Figura 7-15.

Tabla 7-26. 5.C. Incineración y quema abierta de residuos: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI 5to IBA (serie 1990-2020) e INGEI 1er IBT (serie 1990-2022)

INGEI	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022
INGEI 5to IBA	55,2	59,2	62,4	70,2	81,8	94,4	88,1	-	-
INGEI 1er IBT	60,0	64,2	68,0	77,4	91,7	107,7	122,4	128,4	137,7
Diferencia	4,8	5,0	5,6	7,2	9,9	13,3	34,3	-	-
Diferencia %	8,0%	7,8%	8,2%	9,3%	10,8%	12,4%	28,0%	-	-

Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

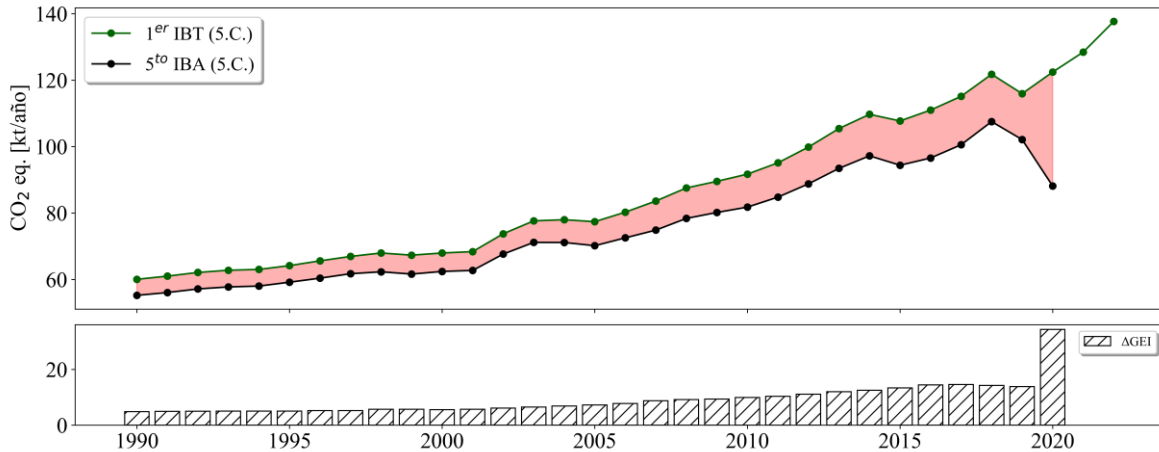


Figura 7-15. 5.C. Incineración y quema abierta de residuos: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI 1er IBT (serie 1990-2022) e INGEI 5to IBA (serie 1990-2020)

Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

7.4.7 Mejoras planificadas para la categoría

No se consideran mejoras para esta categoría, debido a que representan poca parte de las emisiones del sector.

7.5 Tratamiento y descarga de aguas residuales (5.D.)

7.5.1 Descripción y tendencia de los GEI de la categoría

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. El tratamiento y descarga de aguas residuales es una potencial fuente de emisión de CH₄ y de N₂O. Las emisiones de CO₂ procedentes de las aguas residuales no son contabilizadas de acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006* porque se consideran de origen biogénico y no deben incluirse en el inventario nacional de emisiones. No obstante, el perfeccionamiento de las Directrices publicado en 2019 expone que sí existe carbono de origen fósil que llegaría al tratamiento de aguas residuales domésticas y residuales (proveniente del uso de productos de limpieza, cosméticos, farmacéuticos, entre otros) y que dicho porcentaje no sería menor. Las subcategorías que componen esta categoría, definidas por el IPCC son las 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). Adicionalmente, en el contexto nacional el lodo removido desde el tratamiento de aguas residuales tiene como destino la eliminación en SDF, o valorización como fertilizante para la agricultura. Las emisiones de metano para estos tipos de disposición final son consideradas dentro de la categoría 5.A. *Sitios de disposición de residuos sólidos* o en la categoría 3.D *Suelos Agrícolas* para los casos correspondientes.

La categoría 5.D. *Tratamiento y descarga de aguas residuales* es la segunda categoría emisora de GEI del sector *Residuos* (21,3%). En 2022, sus emisiones de GEI contabilizaron 1.654 kt CO₂ eq, incrementándose en un 115 % desde 1990 y manteniendo el nivel de emisiones de 2020. Respecto de las subcategorías, 5.D.1. *Tratamiento y descarga de aguas residuales domésticas* contribuye con la mayoría de las emisiones, conformando un 80% de las emisiones en 2022, incrementando en un 105 % desde 1990 y en un 1,2 % desde 2020. Por otro lado, la subcategoría 5.D.2. *Tratamiento y descarga de residuos industriales* representa el 20% de las emisiones en 2022, con un incremento de 172% desde 1990 y un 17,5% desde 2020. Los resultados por subcategoría se pueden observar en la Tabla 7-27 y Figura 7-16.

Tabla 7-27. 5.D. Tratamiento y descarga de aguas residuales: emisiones de GEI (kt CO₂ eq), serie 1990-2022

Categoría	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022
5.D.1. Tratamiento y descarga de aguas residuales domésticas	643,6	696,4	691,9	974,9	1.067,7	1.210,1	1.316,5	1.323,4	1.316,6
5.D.2. Tratamiento y descarga de aguas residuales industriales	124,1	268,4	271,7	311,6	568,2	552,0	286,9	374,8	337,1
Total	767,7	964,7	963,6	1.286,6	1.635,9	1.762,2	1.603,4	1.698,2	1.653,7

Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

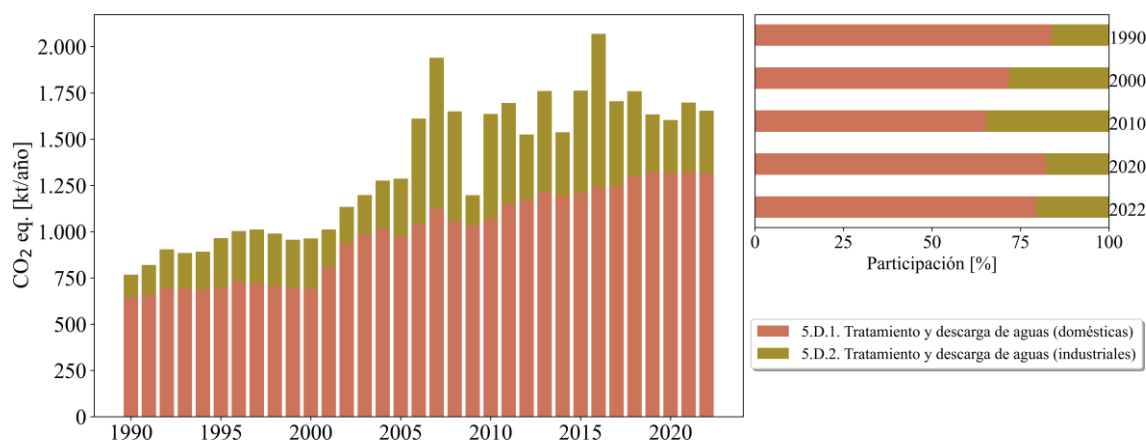


Figura 7-16. 5.D. Tratamiento y descarga de aguas residuales: tendencia de las emisiones de GEI (kt CO₂ eq), serie 1990-2022

Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

En la tendencia de la serie histórica se puede ver un incremento general de las emisiones, con algunos máximos debido a las aguas residuales que son reportadas como aguas tratadas. Por otro lado, las emisiones aumentan desde los primeros años de la serie debido a las regulaciones sanitarias implementadas en el país que regularizan el tratamiento de aguas. Esto conlleva un aumento en las emisiones, pero un mejor tratado de los residuos y valorización de estos.

7.5.1.1 Tratamiento y descarga de aguas residuales domésticas (5.D.1.)

La subcategoría 5.D.1. *Tratamiento y descarga de aguas residuales domésticas* incluye los volúmenes tratados de agua y la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) provenientes de los reportes de la SISS. Los registros y reportes de la SISS incluyen los volúmenes tratados, la DBO y el tipo de tratamiento con el que fue tratada el agua residual. Por otro lado, las emisiones de N₂O fueron estimadas considerando el consumo de proteína en el país.

7.5.1.2 Tratamiento y descarga de aguas residuales industriales (5.D.2.)

La subcategoría 5.D.2. *Tratamiento y descarga de aguas residuales industriales* considera la cantidad de aguas industriales tratadas, es decir, el efluente que viene desde las plantas de tratamiento, obtenido desde reportes de la SMA e información del RETC. Al obtener sólo el efluente, los volúmenes tratados se obtuvieron aplicando factores de remoción para cada tipo de residuos y tratamiento. Los registros sobre residuos líquidos industriales son variados entres sí, por lo que no se ve una tendencia clara en la información.

7.5.2 Aspectos metodológicos de la categoría

La estimación de las emisiones de GEI de la subcategoría 5.D.1 *Tratamiento y descarga de aguas residuales domésticas*, se realiza con un Nivel 1 a pesar de que es categoría principal ya que no se cuenta con los parámetros BO y MCFs país específico. Para la subcategoría 5.D.2 *Tratamiento y descarga de aguas residuales industriales*, se utilizó un nivel 2, ya que se cuenta con datos de volumen, tipos de tratamiento y DOC país específico. Sin embargo, no se estimaron las emisiones de N₂O provenientes de las aguas industriales, por falta de información. En la Tabla 7-28 se observa un resumen de los métodos aplicados por subcategoría y por tipo de GEI.

Tabla 7-28 5.D. Tratamiento y descarga de aguas residuales: métodos aplicados por subcategoría

Código IPCC	Subcategoría	CO ₂		CH ₄		N ₂ O	
		Método aplicado	Factor de emisión	Método aplicado	Método aplicado	Factor de emisión	Método aplicado
5.D.1.	Tratamiento y descarga de aguas residuales domésticas			T2	D, CS	T1	D
5.D.2.	Tratamiento y descarga de aguas residuales industriales			T2	D, CS	NE	NE

Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

Para la estimación de las emisiones de CH₄ de la subcategoría 5.D.1. *Tratamiento y descarga de aguas residuales domésticas* se utilizó una metodología de nivel 1 de acuerdo con el *Perfeccionamiento de 2019* de 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 y con parámetros de producción de CH₄ y MCF por defecto. Las emisiones de N₂O se estimaron utilizando la metodología de nivel 1 de acuerdo con el *Perfeccionamiento de 2019* de las *Directrices del IPCC de 2006*. Por otro lado, 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, ésta tiene base en la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y no en la DBO.

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. Las estimaciones de emisiones de metano para aguas domésticas e industriales fueron realizadas siguiendo dos metodologías distintas, pero basadas en los mismos principios. De acuerdo con el *Refinamiento de 2019 de las Directrices del IPCC de 2006*, se utilizaron desde la Ecuación 7-7 a la Ecuación 7-14 para la estimación de emisiones de CH₄ provenientes del tratamiento y descarga de aguas residuales domésticas.

De esta manera, se estimó el contenido total de carbono orgánico degradable en las aguas servidas por sistema de tratamiento, donde el contenido depende de la población total atendida y la generación de DBO por persona, de acuerdo con las ecuaciones siguientes:

Ecuación 7-7. 5.D.1. Tratamiento y descarga de aguas residuales domésticas: total de materia orgánica degradable en las aguas residuales domésticas por tipo de sistema de tratamiento/descarga

$$TOW_j = \sum_i [TOW \cdot U_i \cdot T_{ij} \cdot I_j]$$

Fuente: Ecuación 6.3A (nueva); Capítulo 6; Volumen 5; *Perfeccionamiento de 2019 de las Directrices IPCC de 2006*

Donde:

- TOW_j: total de materia orgánica en las aguas residuales del año del inventario, para fracción de grupo de ingreso *i* y sistema de tratamiento o descarga *j*, kg de DBO/año.
- TOW: total de materia orgánica en las aguas residuales del año del inventario, kg de DBO/año
- U_i: fracción de la población del tipo *i* en el año de inventario.
- T_{ij}: grado de utilización de sistema de tratamiento o descarga *j*, para cada fracción de grupo de ingreso *i*, en el año del inventario.
- I_j: Factor de corrección para DBO industrial descargado en los sistemas de descarga o tratamiento *j*.

Ecuación 7-8. 5.D.1. Tratamiento y descarga de aguas residuales domésticas: total de materia orgánica degradable en las aguas residuales domésticas

$$TOW = P \cdot DBO \cdot 0,001 \cdot 365$$

Fuente: Ecuación 6.3 (Actualizada); Capítulo 6; Volumen 5; *Perfeccionamiento de 2019 de las Directrices IPCC de 2006*.

Donde:

- TOW: total de materia orgánica en las aguas residuales del año del inventario, kg de DBO/año.
- P: población del país en el año de inventario, personas.
- DBO: DBO per cápita específico del país en el año de inventario, g/persona/día.
- 0,001: conversión de gramos de DBO a kilogramos de DBO.

Para el caso de las aguas industriales se consideró un factor de DQO para la cantidad de aguas tratadas. El TOW industrial se calculó según la siguiente fórmula.

Ecuación 7-9. 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, m^3 /año por la industria i .
- COD_i : DQO, kg de DQO/ m^3 .
- i : sector industrial.

Luego se estimó el contenido orgánico total que es removido en forma de lodo desde las plantas de tratamiento aeróbico y sistemas sépticos, según las siguientes ecuaciones:

Ecuación 7-10. 5.D.1. Tratamiento y descarga de aguas residuales domésticas: componente orgánico removido como lodos en plantas de tratamiento aeróbico.

$$S_{aeróbico} = (S_{seco} \cdot K_{rem} \cdot 1000)$$

Fuente: Ecuación 6.3B (nueva); Capítulo 6; Volumen 5; *Refinamiento de 2019 de las Directrices IPCC de 2006*.

Donde:

- $S_{aeróbico}$: componente orgánico removido como lodos en plantas de tratamiento aeróbico, kg DBO/año.
- S_{seco} : masa seca de lodo removido en plantas de tratamiento aeróbico, toneladas/año.
- K_{rem} : Factor de lodo, kg DBO/kg lodo seco.

Ecuación 7-11. 5.D.1. Tratamiento y descarga de aguas residuales domésticas: componente orgánico removido como lodos en plantas de tratamiento aeróbico.

$$S_{s\acute{e}ptico} = (TOW_{s\acute{e}ptico} \cdot F \cdot 0,5)$$

Fuente: Ecuación 6.3C (Nueva); Capítulo 6; Volumen 5; *Refinamiento de 2019 de las Directrices IPCC de 2006*.

Donde:

- $S_{s\acute{e}ptico}$: componente orgánico removido como lodos en sistemas sépticos, kg DBO/año.
- $TOW_{s\acute{e}ptico}$: total de materia orgánica en las aguas residuales tratadas en sistemas sépticos, kg DBO/año.
- F: fracción de la población que gestiona su fosa séptica de acuerdo con la instrucción de eliminación de lodos de su sistema séptico.
- 0,5: fracción de materia orgánica de las aguas residuales eliminada en los lodos cuando la fosa séptica se gestiona de acuerdo con las instrucciones de eliminación de lodos.

Luego se estimó el factor de emisión para cada sistema de tratamiento o descarga, en función de la capacidad máxima de producción de CH_4 (B_0) y el factor corrector para el CH_4 (MCF) de cada vía o sistema. De acuerdo con lo anterior, el factor de emisión para cada sistema se calcula a partir de la ecuación siguiente:

Ecuación 7-12. 5.D. Tratamiento y descarga de aguas residuales: factor de emisión para cada vía o sistema de tratamiento y/o eliminación de aguas residuales domésticas.

$$EF_j = B_0 \cdot MCF_j$$

Fuente: Ecuación 6.2; Capítulo 6; Volumen 5; *Directrices IPCC de 2006*.

Donde:

- EF_j : factor de emisión para la vía o sistema de tratamiento j , kg de CH_4 /kg de DBO.
- B_0 : capacidad máxima de producción de CH_4 , kg de CH_4 /kg de DBO.
- MCF_j : el factor corrector para el CH_4 para la vía o sistema de tratamiento j .

Las emisiones por tratamiento se estimaron 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, para cada sistema de tratamiento. La ecuación utilizada corresponde a la siguiente:

Ecuación 7-13. 5.D. Tratamiento y descarga de aguas residuales: emisiones de CH_4 procedentes de las aguas residuales doméstica por sistema de tratamiento (nivel 1)

$$CH_{4,j} (Tratamiento) = [(TOW_j - S_j) \cdot EF_j - R_j]$$

Fuente: Ecuación 6.1 (actualizada); Capítulo 6; Volumen 5; *Perfeccionamiento de 2019 de las Directrices IPCC de 2006*.

Donde:

- Emisiones de CH_{4,j}: emisiones de CH₄ procedentes del sistema de tratamiento o descarga *j* durante el año de inventario, kg de CH₄/año.
- TOW_{*j*}: total de materia orgánica en las aguas residuales para el sistema de tratamiento o descarga *j*, en el 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.
- EF_{*j*}: factor de emisión para la vía o sistema de tratamiento *j*, kg de CH₄/kg de DBO.
- R_{*j*}: Metano recuperado o quemado a partir del sistema de tratamiento *j* durante el año del inventario, kg de CH₄/año.

Por otro lado, se estimaron las emisiones por descarga de aguas residuales. Para esto se consideró un porcentaje de remoción de materia orgánica en los distintos tipos de tratamiento de aguas residuales y se asumió que todas las descargas de aguas se realizaban en el mar. Las emisiones de metano para aguas domésticas e industriales se estimaron siguiendo el mismo método. Las emisiones fueron estimadas según la Ecuación 7-14.

Ecuación 7-14. 5.D.1. Tratamiento y descarga de aguas residuales: emisiones de metano por descarga de aguas residuales domésticas tratadas:

$$CH_{4j}(\text{Descarga}) = TOW_j \cdot Rem_j \cdot EF$$

Fuente: Adaptado de Ecuación 6.1 (actualizada); Capítulo 6; Volumen 5; *Perfeccionamiento de 2019 de las Directrices IPCC de 2006*.

Donde:

- CH_{4,j}: emisiones de CH₄ producidas por la descarga de aguas residuales.
- TOW_{*j*}: total de materia orgánica en las aguas residuales, kg de DQO.
- Rem_{*j*}: Factor de remoción de materia orgánica según tipo de tratamiento *j*.
- EF: factor de emisión para descarga en cuerpos de agua kg de CH₄ por kg DQO.

Finalmente, para estimar las emisiones de metano por tratamiento y descarga de aguas residuales, se suman ambas estimaciones.

Óxido nítrico

Respecto de las emisiones de N₂O, las *Directrices del 2006* exponen que durante los procesos de tratamiento de aguas son insignificantes, sin embargo, en el *Perfeccionamiento de 2019* de las *Directrices IPCC de 2006*, se aclara que estas emisiones pueden llegar a ser significativas. La estimación considera las nuevas ecuaciones propuestas en el *Perfeccionamiento de 2019* de las *Directrices IPCC de 2006*. Para estimar las emisiones de N₂O proveniente del tratamiento de aguas residuales domésticas se consideraron desde la Ecuación 7-15 a la Ecuación 7-18:.

Ecuación 7-15. 5.D.1. Tratamiento y descarga de aguas residuales domésticas: Nitrógeno total en aguas residuales domésticas por sistema de tratamiento

$$TN_{DOM,j} = (P_{tratamientoj} \cdot Proteína \cdot F_{NPR} \cdot N_{HH} \cdot F_{NON-CON} \cdot F_{IND-COM})$$

Fuente: Ecuación 6.10(Nueva); Capítulo 6; Volumen 5; *Perfeccionamiento de 2019 de las Directrices IPCC de 2006*.

Donde:

- $TN_{DOM,j}$: nitrógeno total en las aguas residuales domésticas para el sistema de tratamiento j en el año del inventario, kg de N/año.
- $P_{tratamiento,j}$ = población humana atendida por la vía de tratamiento j , personas/año
- Proteína = consumo per cápita anual de proteínas (kg/persona/año)
- F_{NPR} = fracción de nitrógeno en las proteínas, por defecto = 0,16 (kg de N/kg de proteína)
- $F_{NON-CON}$ = factor de las proteínas no consumidas añadidas a las aguas residuales, por defecto = 1,1
- $F_{IND-COM}$ = factor para las proteínas industriales y comerciales co-eliminadas en los sistemas de alcantarillado, por defecto = 1,25
- N_{HH} = Factor de corrección para el nitrógeno adicional procedente de productos domésticos añadido a las aguas residuales, por defecto es 1,1

Ecuación 7-16. 5.D.1. Tratamiento y descarga de aguas residuales domésticas: nitrógeno total en el efluente de aguas residuales domésticas

$$N_{Efluente,DOM} = \sum_j [(TN_{DOM} \cdot T_j) \cdot (1 - N_{REM,j})]$$

Fuente: Ecuación 6.8 (Actualizada); Capítulo 6; Volumen 5; *Perfeccionamiento de 2019 de las Directrices IPCC de 2006*.

Donde:

- $N_{Efluente,DOM}$: nitrógeno total en el efluente de aguas residuales domésticas en el año del inventario, kg de N/año.
- $TN_{DOM,j}$: nitrógeno total en las aguas residuales domésticas para el sistema de tratamiento j en el año del inventario, kg de N/año.
- T_j : grado de utilización de sistema de tratamiento o descarga j , en el año del inventario.
- N_{REM} : Fracción del nitrógeno total de las aguas residuales eliminado durante el tratamiento de las aguas residuales por tipo de tratamiento j .

Ecuación 7-17. 5.D.1. Tratamiento y descarga de aguas residuales domésticas: emisiones de N_2O provenientes del tratamiento de aguas residuales domésticas (nivel 1)

$$N_2O (Tratamiento) = \left[\sum_{i,j} (U_i \cdot T_{ij} \cdot EF_j) \right] \cdot TN_{DOM} \cdot 44/28$$

Fuente: Ecuación 6.9 (Actualizada); Capítulo 6; Volumen 5; *Perfeccionamiento de 2019 de las Directrices IPCC de 2006*.

Donde:

- $N_2O (Tratamiento)$: emisiones directas de N_2O durante el año del inventario, kg de N_2O /año.
- U_i : fracción de la población del tipo i en el año de inventario.
- T_{ij} : grado de utilización de sistema de tratamiento o descarga 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 N_2O -N/kg de N.
- TN_{DOM} : nitrógeno total en las aguas residuales domésticas en el año del inventario, kg de N/año.

Estimar las emisiones procedentes de los efluentes provenientes del tratamiento de aguas residuales domésticas, utilizando la ecuación expuesta a continuación:

Ecuación 7-18. 5.D.1. Tratamiento y descarga de aguas residuales domésticas: emisiones de N₂O provenientes del efluente de aguas residuales domésticas (nivel 1)

$$N_2O \text{ (Descarga)} = N_{Efluente,DOM} \cdot EF_{Efluente} \cdot 44/28$$

Fuente: Ecuación 6.7 (Actualizada); Capítulo 6; Volumen 5; *Perfeccionamiento de 2019 de las Directrices IPCC de 2006*.

Donde:

- Emisiones de N₂O (Descarga): emisiones de N₂O provenientes del efluente de aguas residuales domésticas durante el año del inventario, kg de N₂O/año.
- N_{Efluente,DOM}: nitrógeno en el efluente eliminado en medios acuáticos, kg de N/año.
- EF_{Efluente}: factor de emisión para las emisiones de N₂O provenientes de la descarga de aguas servidas, kg de N₂O-N en kg de N₂O.

Finalmente, para estimar las emisiones de nitroso por tratamiento y descarga de aguas residuales, se suman ambas estimaciones.

7.5.2.1 Datos de actividad de la categoría

La estimación de emisiones de esta categoría considera todos los residuos líquidos generados, tratados y descargados en cuerpos de agua. La estimación considera las aguas residuales domésticas e industriales. El detalle sobre cómo se construyó la serie histórica y la fuente de información de cada una se detalla a continuación.

Aguas domésticas

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, los datos de población urbana y rural para toda la serie se obtienen en base a informes elaborados por el INE entre 2002 y 2022, 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 documentaciones de la misma institución⁹³. 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. La serie histórica de población que se utilizó en este inventario se puede ver en la Tabla 7-29.

Para la DBO per cápita, se utilizaron los datos de DBO/m³ reportados por la SISS para los años 2005 a 2022 por planta, por mes, junto con los volúmenes tratados por planta, además de la población urbana mencionada anteriormente. Para completar la serie hasta 1990 se mantuvo el promedio de DBO per cápita estimado con los valores entre 2005 y 2022 por región y se estimó un valor nacional en base a las poblaciones regionales desde 1990. 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 reflejada en la DBO estimada a nivel nacional en base a datos medidos por las PTAS. La serie de DBO construida se presenta en Tabla 7-29.

⁹³<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>

El dato de actividad correspondiente al componente orgánico separado como lodo fue entregado directamente por la SISS para la serie 2006-2022. 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. Los lodos son reportados en unidades de volumen (m^3), para obtener la masa de lodos removidos se aplicó un factor de densidad de $1,15 \text{ t}/m^3$ y un 90 % de humedad y valores por defecto para K_{rem} , según lo expuestos en el *Refinamiento de 2019 de las Directrices del IPCC de 2006* (Cuadro 6.6A; Capítulo 6; Volumen 5). Los lodos obtenidos por tipos de tratamiento se presentan en la Tabla 7-29.

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 registros entre 1990 y 2007. Entre 2008 y 2018 se utilizaron datos de consumo de FAO⁹⁴, los que, al ser consistentes con los de MINSAL, se usaron directamente. Para los años 2019, 2020, 2021, 2022 la serie fue extrapolada linealmente, teniendo en consideración un factor de crecimiento promedio de los años anteriores. Los resultados se presentan en la Tabla 7-29.

Por otro lado, 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. 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 de Caracterización Socioeconómica Nacional (CASEN)⁹⁵. 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 2020. Para completar la serie se hace una regresión lineal entre los datos. Para determinar el sistema de descarga 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 2022 se extrapoló siguiendo la tendencia entre 2013 y 2015. Los resultados se muestran en la Tabla 7-30. Respecto de 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 el *Refinamiento de 2019 de las Directrices del IPCC de 2006* para poder usar los factores de emisión y otros parámetros pertinentes. La homologación se detalla en la Tabla 7-32.

Aguas industriales

Los datos de volumen de aguas industriales generado anualmente ($m^3/año$) por industria y su respectivo DBO para la serie 2006 - 2020, provienen de los reportes de la SMA y la SISS. Para completar los años previos de la serie histórica se extrapoló el TOW y no los caudales en base los Producto interno bruto (PIB) anual por actividad económica. Se usaron los PIB de: Agricultura, ganadería caza y silvicultura; Pesca e Industria manufacturera provenientes de CEPAL. Los años 2021 y 2022 se extrapolaron, debido a que no se pudo concretar el traspaso de información como en actualizaciones pasadas. La serie utilizada se presenta en la Tabla 7-31.

⁹⁴ <http://www.fao.org/faostat/en/#country/40>

⁹⁵ <https://observatorio.ministeriodesarrollosocial.gob.cl/encuesta-casen>

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, excepto por la industria del papel y la celulosa, donde se cuenta con reportes⁹⁶ que publican tanto su DBO como DQO, con lo que se obtuvo una relación de 6,9 DQO/DBO. Los otros factores se pueden observar en la Tabla 7-33. Estos valores representan la carga orgánica de descarga de las aguas residuales industriales. Para estimar la carga orgánica de entrada a los sistemas de tratamiento, se aplicó una eficiencia de remoción de carga orgánica dependiente del tipo de tratamiento. Estos valores se obtuvieron de la literatura⁹⁷. Adicionalmente, para completar el resto de la serie se utilizó el promedio entre 2006-2020.

⁹⁶ <https://www.cmpc.com/wp-content/uploads/2015/10/2008-cmpc-reporte-de-desarrollo-sostenible.pdf>
https://www.cmpc.com/pdf/Reporte_2019.pdf

<http://www.eula.cl/giba/wp-content/uploads/2017/09/tesis-paola-urquejo-2015.pdf>

⁹⁷ <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2009/faa465d/doc/faa465d.pdf>

Tabla 7-29. 5.D.1. Tratamiento y descarga de aguas residuales domésticas: datos de actividad, serie 1990-2022 (parte 1 de 2)

Año	Población			Consumo proteína kg - persona/año	Lodos			
	Personas	Rural [%]	Urbano [%]		Eliminación a ecosistemas acuáticos	Lagunas anaerobias poco profundas y lagunas facultativas	Planta centralizada de tratamiento aeróbico	DBO 5 per capita kg/año
1990	13.178.782	16,9%	83,1%	25,6	0,00	0,00	0,00	18,9
1991	13.422.010	16,5%	83,5%	25,6	0,00	0,68	692,14	18,9
1992	13.665.241	16,2%	83,8%	28,1	0,00	0,68	729,00	18,9
1993	13.908.473	15,8%	84,2%	28,5	0,00	0,68	729,00	18,9
1994	14.151.708	15,5%	84,5%	28,5	0,00	1,79	729,00	18,9
1995	14.394.940	15,1%	84,9%	28,4	0,00	1,85	827,54	18,9
1996	14.595.504	14,8%	85,2%	28,8	0,00	4,94	1.111,63	18,9
1997	14.796.076	14,6%	85,4%	28,5	0,00	4,94	1.115,97	18,9
1998	14.996.647	14,3%	85,7%	28,4	141,59	78,00	1.169,51	18,9
1999	15.197.213	14,0%	86,0%	28,0	141,59	235,09	1.183,67	18,9
2000	15.397.784	13,8%	86,2%	28,7	141,59	449,69	1.541,52	18,9
2001	15.571.679	13,6%	86,4%	29,1	363,98	774,12	10.990,25	18,9
2002	15.691.701	13,7%	86,3%	30,1	313,75	757,61	16.494,68	18,9
2003	15.856.977	13,5%	86,5%	30,9	259,69	746,09	37.606,02	18,9
2004	16.022.133	13,3%	86,7%	31,3	189,14	639,16	39.525,42	18,9
2005	16.183.489	13,2%	86,8%	31,8	197,46	639,16	39.947,89	17,5
2006	16.347.890	13,0%	87,0%	32,5	196,04	609,83	39.499,49	17,6
2007	16.517.933	12,9%	87,1%	31,8	411,19	344,99	44.770,95	19,6
2008	16.697.754	12,7%	87,3%	31,3	525,83	658,07	44.421,70	17,6
2009	16.881.078	12,6%	87,4%	30,7	501,43	587,42	47.242,11	18,3
2010	17.063.927	12,5%	87,5%	30,4	556,62	411,77	55.258,90	18,1
2011	17.254.159	12,4%	87,6%	30,4	718,50	585,26	61.968,58	19,9
2012	17.443.491	12,4%	87,6%	30,8	568,04	505,33	60.982,58	18,4
2013	17.611.902	12,3%	87,7%	31,3	544,46	838,50	64.017,13	19,2
2014	17.787.617	12,2%	87,8%	31,4	647,92	631,55	70.546,27	18,7
2015	17.971.423	12,1%	87,9%	31,5	434,25	677,09	71.010,74	19,5
2016	18.167.147	12,0%	88,0%	31,8	450,02	883,72	68.937,76	20,5
2017	18.419.192	11,9%	88,1%	32,3	409,76	808,10	66.363,27	19,6
2018	18.751.405	11,8%	88,2%	32,9	420,73	916,08	68.576,05	20,1
2019	19.107.216	11,6%	88,4%	33,8	470,89	663,72	70.847,59	19,1
2020	19.458.310	11,5%	88,5%	33,8	493,85	792,19	70.611,77	18,1
2021	19.678.363	11,4%	88,6%	34,1	533,63	1.066,98	80.845,22	17,7
2022	19.828.563	11,4%	88,6%	34,4	516,38	1.053,09	78.856,32	16,8

Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA con base en INE.

Tabla 7-30. 5.D.1. Tratamiento y descarga de aguas residuales domésticas: datos de actividad, serie 1990-2022 (parte 2 de 2)

Año	Población rural				Población urbana				Población urbana PTAS		
	Cloaca en movimiento	Sistema séptico	Letrina	Cloaca estancada	PTAS	Cloaca en movimiento	Sistema séptico	Letrina	Eliminación a ecosistemas acuáticos	Lagunas anaerobias poco profundas y lagunas facultativas	Planta centralizada de tratamiento aeróbico
1990	4%	15%	2%	79%	6%	77%	3%	1%	56,5%	23,3%	20,2%
1991	5%	14%	2%	79%	7%	77%	3%	1%	56,5%	23,3%	20,2%
1992	6%	14%	2%	78%	9%	76%	3%	0%	26,3%	10,8%	62,8%
1993	7%	16%	1%	76%	10%	75%	3%	0%	26,2%	11,2%	62,6%
1994	7%	18%	1%	74%	11%	75%	3%	0%	25,9%	12,5%	61,7%
1995	6%	18%	1%	75%	13%	74%	3%	0%	29,8%	11,1%	59,1%
1996	4%	17%	1%	78%	13%	74%	3%	0%	37,9%	7,2%	54,9%
1997	5%	18%	4%	73%	15%	73%	3%	1%	34,7%	7,2%	58,2%
1998	5%	20%	7%	69%	16%	73%	3%	1%	35,3%	9,6%	55,1%
1999	5%	24%	7%	65%	20%	70%	3%	1%	62,9%	7,2%	29,9%
2000	4%	28%	7%	61%	20%	71%	3%	1%	60,6%	8,6%	30,8%
2001	5%	30%	8%	57%	38%	53%	3%	1%	40,6%	5,5%	53,9%
2002	5%	33%	9%	53%	56%	35%	3%	1%	34,4%	4,6%	61,0%
2003	6%	35%	9%	50%	63%	28%	3%	1%	28,0%	3,0%	69,0%
2004	8%	38%	9%	45%	68%	24%	3%	1%	21,9%	2,1%	76,0%
2005	9%	41%	9%	40%	70%	23%	3%	1%	24,2%	1,1%	74,7%
2006	11%	44%	9%	36%	80%	13%	4%	1%	22,9%	1,1%	76,0%
2007	13%	44%	10%	33%	81%	13%	3%	1%	24,4%	0,4%	75,2%
2008	14%	45%	11%	30%	83%	12%	3%	0%	24,1%	0,4%	75,5%
2009	16%	46%	11%	27%	80%	16%	2%	0%	23,3%	0,4%	76,2%
2010	17%	46%	12%	24%	88%	9%	2%	0%	22,7%	0,4%	76,9%
2011	19%	47%	13%	21%	92%	5%	1%	0%	23,3%	0,4%	76,3%
2012	17%	52%	11%	20%	97%	0%	2%	0%	24,8%	0,7%	74,5%
2013	15%	57%	10%	18%	97%	0%	2%	0%	24,1%	0,4%	75,4%
2014	19%	57%	9%	16%	97%	0%	2%	0%	22,9%	0,8%	76,3%
2015	22%	57%	8%	13%	98%	0%	1%	0%	23,3%	0,8%	76,0%
2016	25%	57%	7%	11%	98%	0%	1%	0%	24,1%	0,6%	75,3%
2017	28%	56%	6%	9%	98%	0%	1%	0%	24,3%	0,6%	75,0%
2018	31%	56%	6%	7%	98%	0%	1%	0%	24,2%	0,7%	75,1%
2019	31%	56%	6%	7%	98%	0%	1%	0%	23,8%	0,1%	76,1%
2020	31%	56%	6%	7%	98%	0%	1%	0%	22,9%	0,1%	77,0%
2021	31%	56%	6%	7%	98%	0%	1%	0%	27,1%	0,2%	72,7%
2022	31%	56%	6%	7%	98%	0%	1%	0%	26,4%	0,2%	73,4%

Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA con base en CASEN y SISS

Tabla 7-31. 5.D.2. Tratamiento y descarga de aguas residuales industriales: datos de actividad, toneladas de DOC, serie 1990-2022

	Refinerías de alcohol	Malta y cerveza	Productos lácteos	Procesamiento del pescado	Carnes y aves	Sustancias químicas orgánicas	Refinerías de petróleo	Plásticos y resinas	Pulpa y papel (combinados)	Producción de almidón	Refinación del azúcar	Aceites vegetales	Vegetales, frutas y jugos	Vinos y vinagres
1990	134	1.118	1.566	20.855	634	1.665	1.114	6	26.804	131	1.036	1	17.845	1.816
1991	157	1.317	1.984	28.336	803	1.961	1.312	7	33.963	166	1.313	2	22.612	2.301
1992	189	1.584	2.357	35.561	954	2.359	1.578	8	40.340	197	1.559	2	26.857	2.733
1993	204	1.707	2.222	30.786	899	2.542	1.701	9	38.025	186	1.470	2	25.316	2.576
1994	233	1.951	2.339	34.700	947	2.906	1.944	10	40.036	196	1.547	2	26.654	2.713
1995	300	2.514	2.659	40.879	1.076	3.743	2.505	13	45.506	223	1.759	3	30.296	3.083
1996	311	2.605	2.540	43.260	1.028	3.879	2.595	14	43.480	213	1.681	3	28.948	2.946
1997	332	2.784	2.528	54.359	1.023	4.145	2.774	15	43.261	212	1.672	3	28.802	2.931
1998	277	2.321	2.310	52.619	935	3.456	2.313	12	39.533	193	1.528	3	26.320	2.679
1999	225	1.881	1.879	56.625	760	2.801	1.874	10	32.155	157	1.243	2	21.408	2.179
2000	220	1.838	1.946	41.893	787	2.737	1.832	10	33.302	163	1.287	2	22.171	2.256
2001	191	1.600	1.455	28.145	589	2.382	1.594	9	24.910	122	963	2	16.584	1.688
2002	174	1.458	1.395	28.387	564	2.171	1.453	8	23.869	117	923	2	15.891	1.617
2003	149	1.251	1.427	31.869	578	1.862	1.246	7	24.432	120	944	1	16.266	1.655
2004	183	1.536	1.629	35.199	659	2.288	1.531	8	27.877	136	1.077	2	18.559	1.889
2005	181	1.520	1.950	41.422	789	2.263	1.514	8	33.372	163	1.290	2	22.218	2.261
2006	313	2.608	2.105	17.150	1.830	29.585	1	1	49.291	43	-	-	32.282	2.684
2007	568	3.192	3.246	18.670	2.350	-	1.977	1	54.457	388	4.215	-	115.400	10.921
2008	1.030	2.972	5.436	14.319	580	787	1.655	0	57.906	1.674	1.266	-	17.069	18.210
2009	-	2.358	3.000	5.516	330	177	3.230	0	10.338	462	1.093	-	13.572	507
2010	-	1.936	892	103.639	837	1.289	2.129	0	34.348	9	881	-	3.350	986
2011	21	1.640	917	31.068	443	1.055	2.510	0	41.344	10	1.236	-	37.487	253
2012	405	209	1.392	20.447	258	1.467	1.633	0	31.657	7	1.333	-	11.800	257
2013	11	2.039	377	13.029	279	2	2.474	51	20.943	11	576	-	84.474	278
2014	39	438	311	31.121	275	2	2.134	64	23.597	11	399	-	12.644	173
2015	108	53	498	46.419	473	1	1.829	4	48.385	14	920	30	8.157	115
2016	-	328	13.293	103.218	386	0	1.177	3	44.261	18	272	-	11.085	2.237
2017	31	1.608	202	34.351	4.765	1	753	3	37.939	1	1.238	-	10.451	186
2018	53	63	235	24.716	275	1	-	4	48.008	5	5.535	-	3.311	102
2019	22	1.571	129	18.104	28	21	3	6	29.498	-	842	-	7.114	161
2020	20	1.581	239	27.496	38	1	1.873	6	21.207	2	1.490	-	3.660	39
2021	32	1.087	217	26.965	99	9	1.910	5	32.870	2	2.498	-	5.007	115
2022	25	1.424	203	25.885	54	11	1.942	6	27.595	1	1.709	-	5.361	115

Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

Tabla 7-32. 5.D. Tratamiento y descarga de aguas residuales: 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)
Tratamiento de aguas servidas	
Eliminación a ecosistemas acuáticos	Emisario submarino
	Primario y desinfección
	Físico químico
Lagunas anaerobias poco profundas y lagunas facultativas	Laguna estabilización
Planta centralizada de tratamiento aeróbico	Laguna aireada
	Lodos activados
	Lombrifiltro
	Reactores biológicos secuenciales (SBR)
	Biofiltro
	Zanjas oxidación

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 (Actualizado), Capítulo 6, Volumen 5; Perfeccionamiento de 2019 de las Directrices IPCC de 2006.

Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

Tabla 7-33. 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
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*

7.5.2.2 Factores de emisión aplicados en la categoría

Los factores de emisión se estiman 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 y de 0,60 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 resultados de los factores de emisión se pueden observar en la Tabla 7-34. Respecto de los factores de emisión de N₂O, estos se obtienen directamente del Refinamiento de 2019 de las Directrices IPCC de 2006 y se pueden ver en la Tabla 7-35. Por otro lado, las emisiones por biodigestión, que ocurren en algunos tratamientos, se estimaron con los factores de emisión dispuestos en las directrices para el tratamiento biológico de residuos (Tabla 7-36).

Tabla 7-34. 5.D. Tratamiento y descarga de aguas residuales: factor de emisión metano y eficiencia de remoción para los diferentes sistemas de descarga y tratamiento

Sistema tratamiento IPCC	Homologación SISS	FE [kg CH ₄ /kg DBO]	FE [kg CH ₄ /kg DQO]	Eficiencia de remoción
Eliminación a ecosistemas acuáticos	Emisario Submarino	0,068	0,0275	0,0
Eliminación a ecosistemas acuáticos	Primario y Desinfección	0,068	0,0275	0,2
Eliminación a ecosistemas acuáticos	Físico Química	0,068	0,0275	0,2
Planta de tratamiento centralizado aeróbico	Laguna Aireada	0,018	0,0075	0,8
Planta de tratamiento centralizado aeróbico	Lombifiltro	0,018	0,0075	0,8
Planta de tratamiento centralizado aeróbico	SBR	0,018	0,0075	0,8
Planta de tratamiento centralizado aeróbico	Zanjas Oxidación	0,018	0,0075	0,8
Planta de tratamiento centralizado aeróbico	Lodos Activados	0,018	0,0075	0,8
Planta de tratamiento centralizado aeróbico	Biofiltro	0,018	0,0075	0,8
Reactor Anaeróbico	Biofiltro/Digestor Anaeróbico	0,480	0,2000	0,8
Reactor Anaeróbico	Lodos Activados/Digestor Anaeróbico	0,480	0,2000	0,8
Lagunas anaerobias poco profundas y lagunas facultativas	Laguna Estabilización	0,120	0,0500	0,6
Sistema tratamiento IPCC	Homologación CASEN	FE [kg CH ₄ /kg DBO]	FE [kg CH ₄ /kg DQO]	Eficiencia de remoción
Cloaca estancada	Otros (Pozo negro, acequia o canal, baño químico, otros o sin sistema)	0,300	0,125	0,0
Cloaca en movimiento	Conectado a Alcantarillado	0,000	0,000	0,0
Cloaca en movimiento	Sin TAS	0,000	0,000	0,0
Sistema séptico	Fosa Séptica	0,300	0,125	0,0
Letrina (clima seco, familia reducida 3-5 personas)	Letrina Sanitaria	0,060	0,025	0,0

Fuente: Basado en Tabla 6.3 (Actualizado); Capítulo 6; Volumen 5; *Refinamiento de 2019 de las Directrices IPCC de 2006*

Tabla 7-35. 5.D. Tratamiento y descarga de aguas residuales: factor de emisión de nitroso para los diferentes sistemas de descarga (efluente) y tratamiento

Tipo de tratamiento o sistema de descarga	EF _{TRATAMIENTO} [kg N ₂ O-N/kg N]	EF _{EFLUENTE} [kg N ₂ O-N/kg N]
Cloaca en movimiento	0	0,005
Sistema séptico	0	0,005
Letrina Clima seco, familia reducida	0	0,005
Cloaca estancada	0	0,005
Eliminación a ecosistemas acuáticos	0	0,005
Planta centralizada de tratamiento aeróbico	0,016	0,005
Lagunas anaerobias poco profundas y lagunas facultativas	0	0,005

Fuente: Basado en Tabla 6.8A (Actualizado); Capítulo 6; Volumen 5; *Refinamiento de 2019 de las Directrices IPCC de 2006*

Tabla 7-36. 5.D. Tratamiento y descarga de aguas residuales: factores de emisión para la biodigestión de aguas residuales

Tipo de tratamiento	Tipo de tratamiento SISS	Base seca [kg CH ₄ /kg desecho]	Base húmeda [kg CH ₄ /kg desecho]
Digestión Anaeróbica en las instalaciones de biogás	Lodos Activados/Digestor Anaeróbico	0,002	0,001
Tipo de tratamiento	Tipo de tratamiento SISS	Base seca [kg CH ₄ /kg desecho]	Base húmeda
Digestión Anaeróbica en las instalaciones de biogás	Lodos Activados/Digestor Anaeróbico	0	0

Fuente: Basado en Tabla 4.1; Capítulo 4; Volumen 5; *Directrices IPCC de 2006*

7.5.3 Descripción de cualquier flexibilidad aplicada en la categoría

Durante este ciclo de actualización no se aplicaron criterios de flexibilidad en la estimación de emisiones.

7.5.4 Incertidumbre y coherencia de la serie temporal de la categoría

Se calcularon las incertidumbres para los datos de actividad y factores de emisión utilizados en cada subcategoría. Al no contar con valores de incertidumbre propios de las estadísticas utilizadas, se utilizaron los factores propuestos por las *Directrices del IPCC de 2006* y su *Refinamiento*. Para la subcategoría 5.D.1. *Tratamiento y descarga de aguas residuales domésticas* la incertidumbre combinada para las emisiones de CH₄ resultó en $\pm 69\%$, mientras que para el N₂O en $- 139\%$ y $+ 1.539\%$. Esto último se debe a que las emisiones de N₂O producidas por tratamiento y descarga de aguas son muy inciertas, tanto por el proceso de emisión y por los factores de emisión. Para las emisiones de CH₄ provenientes de las aguas industriales, la incertidumbre combinada resultó en $- 115\%$ y $+ 94\%$. Los resultados de las incertidumbres por subcategoría se pueden ver en la Tabla 7-37.

Tabla 7-37. 5.D. Tratamiento y descarga de aguas residuales: resumen de la incertidumbre combinada, serie 1990 - 2022

Código IPCC	Categoría del IPCC	Gas	Incertidumbre en los datos de actividad		Incertidumbre en el factor de emisión		Incertidumbre combinada	
			(-)%	(+)%	(-)%	(+)%	(-)%	(+)%
5.D.1.	Tratamiento y descarga de aguas residuales domésticas	CH ₄	36,5%	36,5%	59,2%	59,2%	69,5%	69,5%
5.D.1.	Tratamiento y descarga de aguas residuales domésticas	N ₂ O	36,9%	196,9%	133,8%	1526%	138,8%	1539%
5.D.2.	Tratamiento y descarga de aguas residuales industriales	CH ₄	99,5%	73,5%	58,3%	58,3%	115,3%	93,8%

Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

Para mantener la consistencia de la serie temporal 1990-2022 se usaron los mismos factores de emisión, para toda la serie temporal, y para completar series de tiempo de datos de actividad incompletas se utilizaron métodos de acuerdo con lo sugerido en el Volumen 1 de las *Directrices del IPCC 2006*.

7.5.5 Procedimientos de garantía y control de la calidad de la categoría

Se realizaron controles de calidad a toda la información utilizada y se verificó la consistencia y coherencia de esta con otras fuentes de información. Por otro lado, se verificó la existencia de otros residuos que pudieran no estar siendo contabilizados en el inventario. Para las industrias acuícola y de la celulosa se realizó una verificación de datos de generación de residuos a partir de la comparación de lo reportado en RETC a través de SINADER y los reportes anuales de las diversas empresas nacionales participantes de la industria. En el caso de la industria acuícola se realizó una verificación específicamente para la industria salmonera, sin embargo, la información levantada no fue incluida ya que no se sabe si está siendo reportada en otros residuos.

7.5.6 Nuevos cálculos

Durante el presente proceso de actualización se utilizaron las metodologías sugeridas en el *Refinamiento de 2019 de las Directrices del IPCC 2006*. Estas contemplan mejoras en las ecuaciones de estimación de emisiones de CH₄ y de N₂O, incluyendo una nueva estimación asociada a emisiones directas derivadas del tratamiento de aguas residuales y emisiones por la descarga de las aguas en cuerpos acuáticos. Adicionalmente se presentan correcciones en los Factores de Emisión utilizados y una nueva categorización de los sistemas de tratamiento. Con esto se identificó que las emisiones producidas por los biodigestores anaeróbicos de lodos y la recuperación de biogás estaban siendo reportadas de manera incorrecta.

El resultado de los cambios fue una estimación más robusta y completa en comparación con el inventario anterior, incluyendo fuentes de emisión no consideradas anteriormente. Los resultados de estos cambios se observan en aumentos significativos de las emisiones al comienzo de la serie y cambios menores a lo largo de toda la serie. Los resultados se muestran en la Tabla 7-38 y la Figura 7-17.

Tabla 7-38. 5.D. Tratamiento y descarga de aguas residuales: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI 5to IBA (serie 1990-2020) e INGEI 1er IBT (serie 1990-2022)

INGEI	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022
INGEI 5to IBA	819,3	969,6	961,8	1.410,6	1.737,8	2.137,7	1.792,0	-	-
INGEI 1er IBT	767,7	964,7	963,6	1.286,6	1.635,9	1.762,2	1.603,4	1.698,2	1.653,7
Diferencia	-51,6	-4,9	1,8	-124,0	-101,9	-375,5	-188,6	-	-
Diferencia %	-6,3	-0,5	0,2	-8,8	-5,9	-17,6	-10,5	-	-

Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

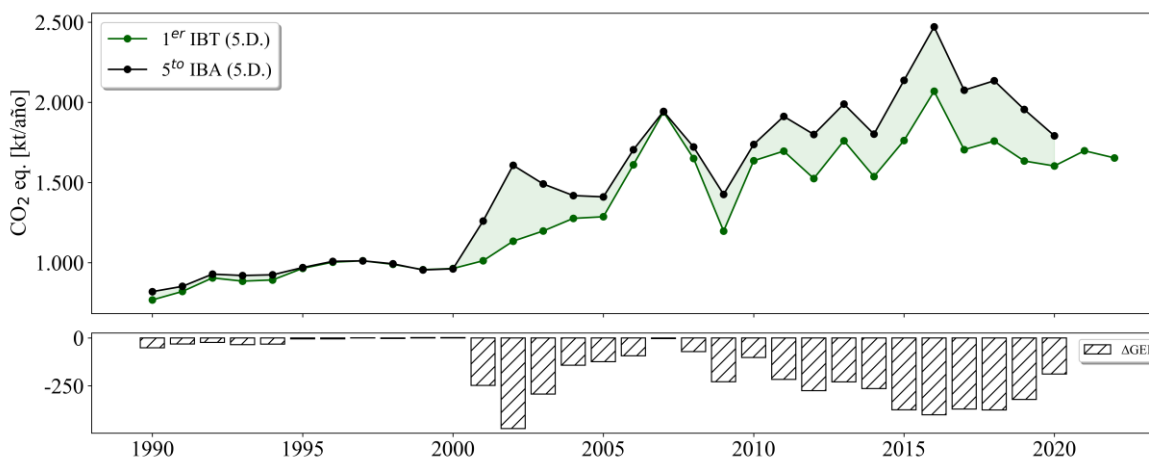


Figura 7-17. 5.D. Tratamiento y descarga de aguas residuales: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI 1er IBT (serie 1990-2022) e INGEI 5to IBA (serie 1990-2020)

Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

7.5.7 Mejoras planificadas para la categoría

Se recopilará la información necesaria para estimar emisiones de N₂O proveniente de las aguas industriales.

8 Nuevos cálculos

En cada actualización y publicación del INGEI se elabora una revisión exhaustiva de los datos de actividad, metodologías y supuestos aplicados en la construcción y estimación de las emisiones y absorciones de gases de efectos invernadero. Como parte de este proceso de mejora del inventario, nuevas fuentes de información, datos de actividad o factores para la estimación son recopilados y utilizados en la estimación de emisiones. El inventario actual, vale decir INGEI 1^{er} IBT (Inventario incluido en el primer Informe Bienal de Transparencia) considera una serie de cambios y mejoras que afectaron toda la serie de emisiones, además de la consideración de los Potenciales de Calentamiento Atmosféricos (PCA) del 5^{to} Informe de Evaluación del IPCC (AR5, por su sigla en inglés). En general estos cambios responden a necesidades levantadas tanto en revisiones internas, es decir, revisiones de expertos nacionales o propuestas de mejoras de los equipos sectoriales, como de mejoras planteadas por revisiones internacionales.

Esta sección presenta la comparación de las estimaciones de emisiones y absorciones entre el inventario actual y la última actualización presentada. Considerando que este inventario es el primero dentro del periodo de implementación del Marco Reforzado de Transparencia para el Acuerdo de París, no existen inventarios con el que comparar. Sin embargo, dado que es una práctica habitual y valiosa, para lectores externos, en el proceso de actualización del INGEI de Chile se decide presentar nuevos cálculos.

La Tabla 8-1 presenta la comparación y diferencia para algunos años del inventario actual (1^{er} IBT) y el inventario anterior (5^{to} IBA), en donde ambas estimaciones consideran los PCA del AR5. Esto se realiza de esta manera para evidenciar las diferencias solo por cambios metodológicos o datos de actividad, y no por la consideración de otros factores de conversión, como los PCA.

Tabla 8-1 Nuevos cálculos: comparación de los balances de GEI (kt de CO₂ eq) del INGEI 5^{to} IBA (serie 1990-2020) e INGEI 1^{er} IBT (serie 1990-2022)

INGEI	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022
INGEI 5 ^{to} IBA	-16.175,6	-2.338,2	6.141,9	17.330,1	24.181,2	57.571,7	56.806,4		
INGEI 1 ^{er} IBT	-35.577,8	-18.294,2	-7.931,1	8.214,1	19.983,1	51.992,9	49.135,5	48.255,2	54.370,0
Diferencia	-19.402,2	-15.956,0	-14.073,0	-9.116,0	-4.198,1	-5.578,8	-7.670,9	-	-

Los resultados obtenidos y contrastados muestran una diferencia negativa entre ambos inventarios, que se traducen en una reducción de las emisiones del inventario actual, INGEI 1^{er} IBT, por sobre el inventario anterior. Estas diferencias se pueden observar a lo largo de toda la serie, en donde las diferencias mayores se encuentran al comienzo de la serie (Figura 8-1). La diferencia promedio estimada fue de 10.063 kt de CO₂ eq. A continuación, se listan los principales cambios por sector.

1. Energía: Actualización de factores de emisiones según estudio de contenido de carbono. Mejora de estadísticas de datos de actividad del consumo de leña.
2. IPPU: No se aplicaron mejoras sustantivas.
3. Agricultura: Se actualizaron las metodologías de estimación pasando a las propuestas por el Refinamiento de las Directrices para elaborar inventarios del IPCC de 2006, publicadas en 2019.
4. UTCUTS: Se actualizaron las superficies de bosque nativo y se actualizó la información de crecimiento de plantaciones con una disminución de las tasas de crecimiento de algunas especies.
5. Residuos: Se actualizaron las metodologías para el tratamiento y descarga de aguas residuales.

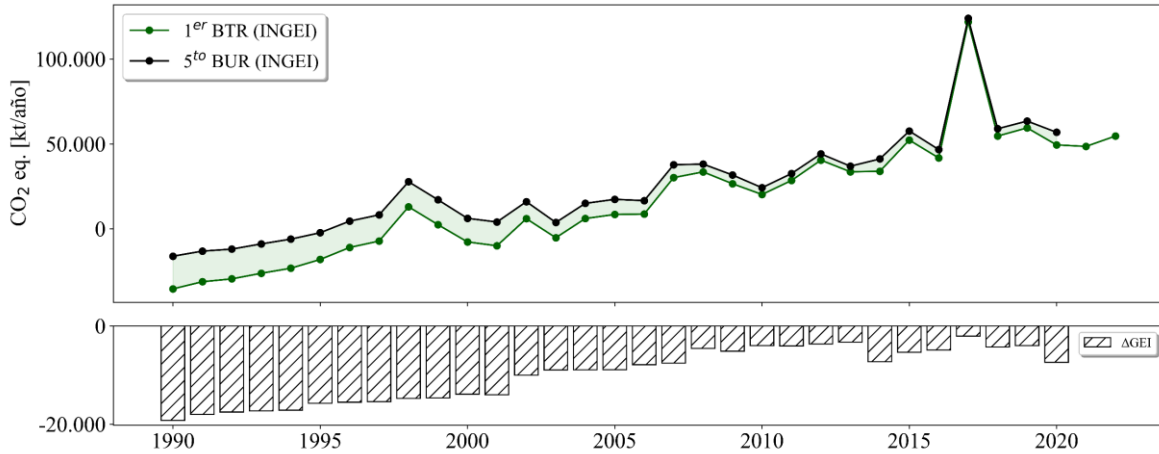


Figura 8-1. Nuevos cálculos: comparación de los balances de GEI del INGEI 5^{to} IBA serie (1990-2020) e INGEI 1^{er} IBT (serie 1990-2022)

Fuente: Equipo técnico coordinador MMA

Las grandes magnitudes en las diferencias se deben principalmente a los cambios en el sector UTCUTS. Debido a que este sector representa gran parte del inventario, se realiza un análisis de los nuevos cálculos del inventario excluyendo este sector (Figura 8-2). Los resultados muestran una disminución sistemática entre ambos inventarios, favorable al inventario actual, es decir una disminución en las emisiones. Estas diferencias alcanzan las 2.899 kt de CO₂ eq en promedio para toda la serie contrastada, evidenciando el impacto del sector en los nuevos cálculos del inventario.

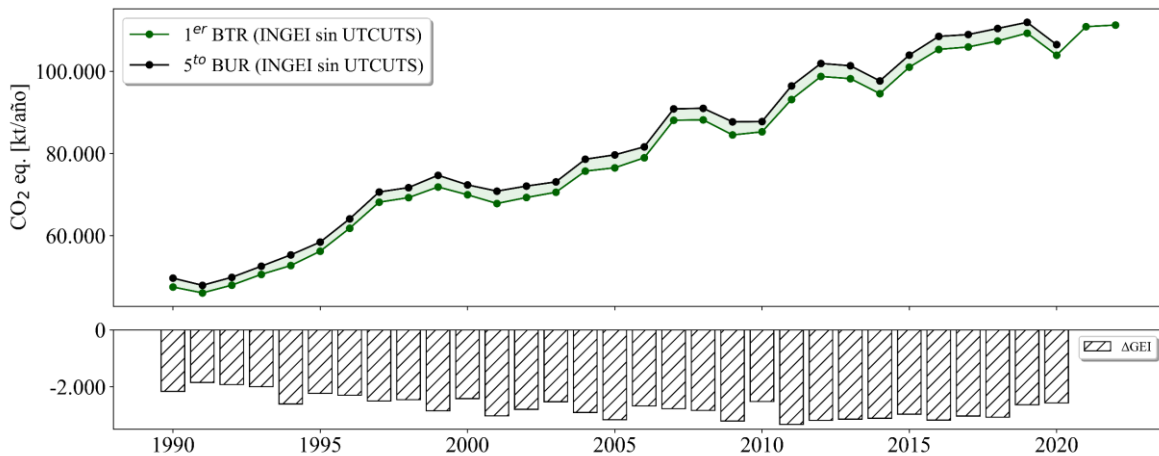


Figura 8-2. Nuevos cálculos: diferencia de las emisiones de GEI del INGEI 5^{to} IBA serie (1990-2020) e INGEI 1^{er} IBT (serie 1990-2022)

Fuente: Equipo técnico coordinador MMA

Por otra parte, como se menciona anteriormente, otro cambio importante es la consideración de otro PCA. Esto se realiza siguiendo las indicaciones de las MPG para la implementación del Marco Reforzado de Transparencia del Acuerdo de París. Este cambio implica diferencias importantes en las emisiones de algunos sectores, dependiendo de las emisiones o absorciones del sector. Para dar cuenta de las diferencias provocadas por la actualización del PCA se contrastan, el inventario actual, considerando el PCA del AR4 y AR5 (Figura 8-3). Las diferencias muestran cambios menores en las estimaciones, disminuyendo el total del balance al considerar el PCA del AR5 por sobre el PCA del AR4. Según los resultados obtenidos, el cambio en el PCA considerado no tiene mayores implicancias en el balance total de emisiones y absorciones.

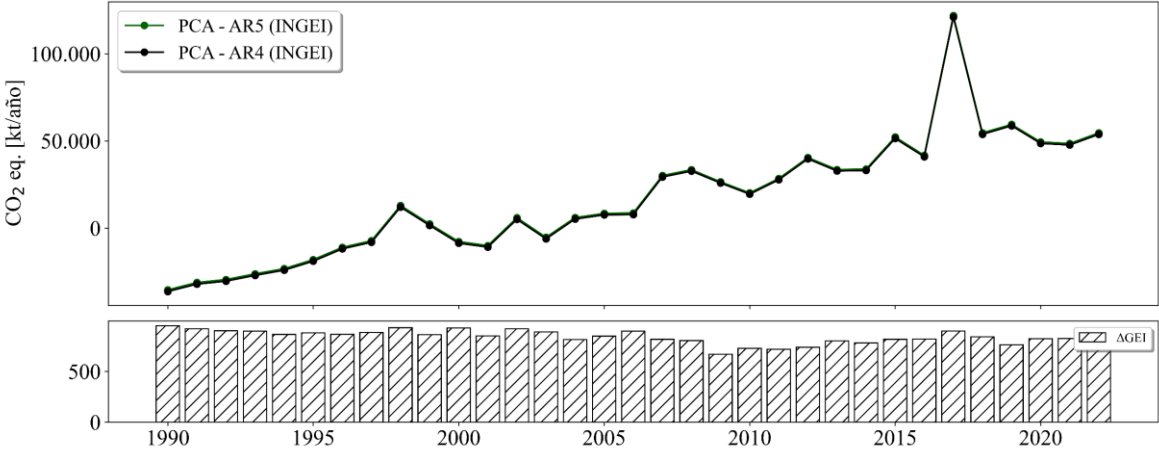


Figura 8-3. Comparación del INGEI 1^{er} IBT considerando distintos PCA.
Fuente: Equipo técnico coordinador MMA

9 Carbono negro

9.1 Panorama general

En 2015 Chile toma parte del acuerdo de París, aceptando el desafío de mantener el aumento de temperatura del planeta por debajo de los 1,5 °C, reconociendo que para cumplir con este desafío es necesario reducir tanto las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) como las emisiones de contaminantes climáticos de vida corta (CCVC). La importancia de los CCVC por el país fue relevada en su Contribución Nacionalmente Determinada 2015 (NDC 2015, por su sigla en inglés), en particular la participación del carbono negro (CN) en el calentamiento del planeta (MMA, 2015). Durante el año 2020, Chile presentó la actualización de su NDC en la que se incluyó una meta específica de reducción de las emisiones de CN de al menos un 25% al 2030, con respecto a los niveles del 2016 (MMA, 2020). Para cumplir y dar seguimiento al compromiso de reducción de CN, es necesario tener una contabilidad de estas emisiones a través de inventarios nacionales robustos y consistentes con el Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (INGEI), de tal forma de consolidar y alinear las medidas de mitigación de GEI y de CN.

9.1.1 Carbono negro

El carbono negro, hollín o carbono elemental (CN) es un aerosol primario, puesto que es emitido directamente a la atmósfera desde una fuente. Producido por la quema incompleta de combustibles fósiles, biocombustibles y biomasa (IPCC, 2021), posee una permanencia que va desde días a semanas, por lo que se clasifica como contaminante climático de vida corta (CCVC).

El CN tiene un gran potencial para absorber luz, la que luego emite en forma de calor, por esta razón y a diferencia de otros aerosoles, éste solo produce un forzamiento radiativo positivo en la atmósfera, lo que se traduce en un calentamiento del planeta (Boucher et al., 2013; Szopa et al., 2021). Adicionalmente produce diversos efectos, por ejemplo, disminuye el albedo de las superficies de hielo sobre las cuales se deposita (Rowe et al., 2019), altera la formación de las nubes al depositarse sobre ellas (Bond et al., 2013) y es parte del material particulado completamente respirable (MP_{2,5}), por lo que la exposición a él trae problemas a la salud (Burnett et al., 2018; Huneus et al., 2020).

Como se menciona anteriormente, el CN pertenece a una fracción del MP_{2,5}, cuya la composición varía según el lugar en donde se emita y mida el contaminante. Esto último guarda estrecha relación con las fuentes, tanto naturales como antrópicas, que se encuentran en el lugar en donde se realiza la caracterización del MP. Por ejemplo, en un lugar lejano del océano y donde predomina el uso de leña, la composición del MP estará dominada por partículas orgánicas y presentará un muy bajo o nulo contenido de sal marina. En Chile se han monitoreado los niveles o concentraciones de MP y otros contaminantes en diferentes ciudades o puntos estratégicos (e.g. cerca de centrales de generación), los que son registrados y publicados en el Sistema de Información Nacional de Calidad del Aire. Debido a los altos índices de MP y otros contaminantes registrados, Chile ha implementado la Estrategia de Planes de Descontaminación Atmosférica, que cuentan con una serie de medidas cuyo objetivo es mejorar la calidad del aire en las ciudades más contaminadas del país, con un foco en la reducción de MP_{2,5}. Las medidas actualmente en implementación podrían traer reducciones significativas en las emisiones de MP y a su vez de CN. De esta manera, la mitigación de MP, a través del CN, presenta una oportunidad para mejorar la calidad del aire en las ciudades, disminuyendo índices de morbilidad y mortalidad, además de contribuir en el cumplimiento de la meta comprometida en el acuerdo de París cuyo propósito es limitar el calentamiento mundial, preferiblemente a 1,5°C en comparación con los niveles preindustriales.

9.1.2 Tendencia de las emisiones de carbono negro

El quinto inventario nacional de CN (INCN) da evidencia de las principales fuentes de este contaminante (o forzante climático) a lo largo de Chile. El inventario fue construido en base al Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (INGEI) de Chile, adoptando una metodología que da cuenta de los avances tecnológicos que contribuyen a la disminución de las emisiones. El INCN comprende la serie 1990 – 2022, y se separa en las categorías definidas por el INGEI de Chile.

En 2022, las emisiones totales de CN alcanzaron las 24,9 kt, lo que representó un aumento del 64,2 % desde 1990 y aumento de 5,9 % con respecto al 2020 (Tabla 9-1). La tendencia de la serie está dominada en la mayoría del periodo por las emisiones cuya fuente es la quema de combustibles fósiles y biocombustibles, las que se contabilizan bajo el sector Energía (Figura 9-1). 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 éstas a ser parte importante de las emisiones de CN a nivel nacional. Esto último queda claramente reflejado en el año 2017, en donde las emisiones totales del país llegaron a los 35,0 kt de CN y las emisiones producto de incendio forestales alcanzan un nivel similar a las emisiones del sector Energía.

Tabla 9-1. INCN de Chile: emisiones de CN (kt) por sector, serie 1990-2022

Sector	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022
1. Energía	12,97	15,35	16,33	16,90	17,70	19,79	19,88	20,04	20,85
2. IPPU	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
3. Agricultura	1,05	0,81	0,69	0,59	0,37	0,37	0,77	0,78	0,72
4. UTCUTS	0,91	0,69	0,43	1,04	0,91	3,88	2,43	0,75	2,83
5. Residuos	0,23	0,24	0,26	0,29	0,34	0,39	0,43	0,47	0,50
Total	15,17	17,11	17,71	18,83	19,33	24,44	23,53	22,04	24,91

Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA

Observando la serie se puede ver una estabilización de las emisiones de CN para los últimos años de la serie, donde las emisiones solo se ven alteradas por los incendios ya mencionados (Figura 9-1). Esta estabilización de la serie se debe mayormente a la inclusión de tecnologías más limpias en cuanto a la emisión de partículas.

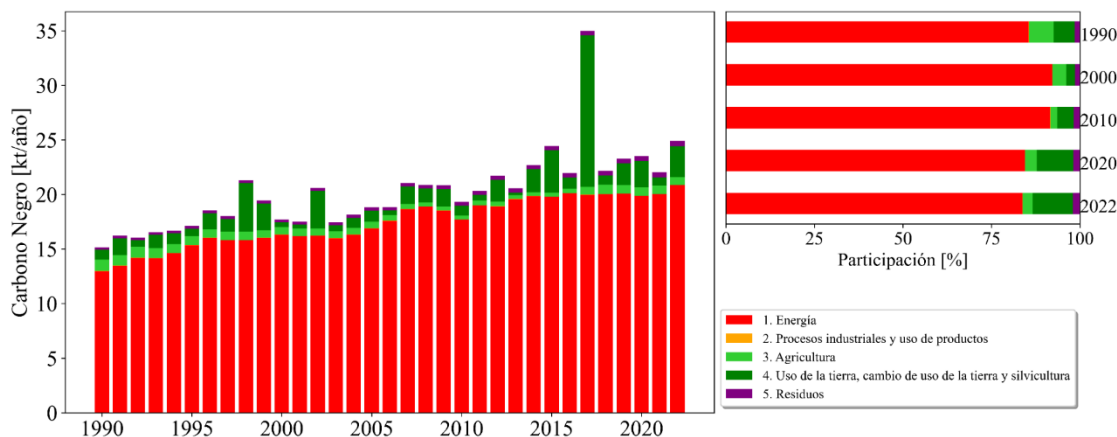


Figura 9-1. Tendencia de las emisiones de CN (kt) a nivel nacional.

Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA

9.1.3 Aspectos metodológicos generales del sector

La metodología general adoptada por el INCN consiste en la estimación de emisiones en base a un nivel de actividad y un factor de emisión; sin perjuicio de ello, de acuerdo con la disponibilidad de información y la relevancia de ciertas actividades en la contribución al total de emisiones nacionales, se realizaron distintos acercamientos metodológicos que se especifican en cada categoría donde aplica.

9.1.4 Datos de actividad del sector

El inventario de CN es construido sobre la base del INGEI, por lo que no considera un levantamiento de nuevos datos de actividad, si no el uso de los mismo aplicados en la construcción del INGEI. A partir de lo anterior se hace un esfuerzo por desagregar los niveles de actividad con un detalle mayor para cumplir con las necesidades metodológicas de algunos sectores. La desagregación de los niveles de actividad se describe en cada categoría en cuestión.

9.1.5 Factores de emisión del sector

En la estimación de emisiones de CN, los factores de emisión utilizados contemplan tanto el uso de valores referenciales, particularmente en el caso del sector Energía con las guías de elaboración de inventarios de EMEP/EEA del 2019⁹⁸, como el uso de valores específicos a través de la diferenciación de maquinaria, tecnología, normativa, región, según correspondiera y sujeto a disponibilidad de información. Finalmente, también se aplicó el uso de la fracción de CN contenida en la emisión de material particulado fino (MP_{2.5}).

9.2 Sector Energía (1)

9.2.1 Descripción y tendencia de las emisiones de carbono negro

El sector Energía contabiliza las emisiones de CN producidas por la quema de combustibles fósiles y biocombustibles. Este sector es el mayor emisor de CN del país, durante el año 2022 contribuyó con un 83,7% de las emisiones totales de CN, alcanzando las 20,9 kt (Tabla 9-2 y Figura 9-2). Este nivel de emisión representa un aumento del 60,7% respecto de 1990 y un 4,9% respecto del 2020.

Tabla 9-2. INCN de Chile: emisiones de CN (kt) producto del sector Energía, serie 1990-2022.

Sector	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022
1.A.1. Industrias de la energía	0,06	0,08	0,08	0,12	0,13	0,27	0,24	0,25	0,23
1.A.2. Industrias manufactureras y de la construcción	2,68	3,43	3,99	4,14	4,82	6,45	6,25	6,44	7,22
1.A.3. Transporte	1,78	2,99	3,58	3,39	2,43	2,10	1,95	1,86	1,88
1.A.4. Otros sectores	8,46	8,86	8,68	9,24	10,32	10,97	11,44	11,49	11,52
1.A.5. No especificado	-	-	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	12,97	15,35	16,33	16,90	17,70	19,79	19,88	20,04	20,85

Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA

⁹⁸ <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2019>

Por otra parte, respecto de la participación sectorial en las emisiones de CN, durante el año 2022, el 55,3% de las emisiones provienen de la subcategoría Otros sectores (1.A.4), que principalmente contabiliza las emisiones producto de la quema de biomasa residencial. El 34,6% de las emisiones corresponden a las Industrias manufactureras y de la construcción (1.A.2) y, con menor participación se encuentran las subcategorías de Transporte (1.A.3) e Industrias de la energía (1.A.1), con un 9,0 % y un 1,1%, respectivamente. La subcategoría No especificado (1.A.5) tiene una participación marginal inferior al 1%.

En la serie histórica se aprecia una disminución significativa de la contribución porcentual de la categoría Transporte y una leve tendencia a la disminución de Otros sectores, mientras que se aprecia un incremento sostenido de las emisiones asociadas a Industrias manufactureras y de la construcción.

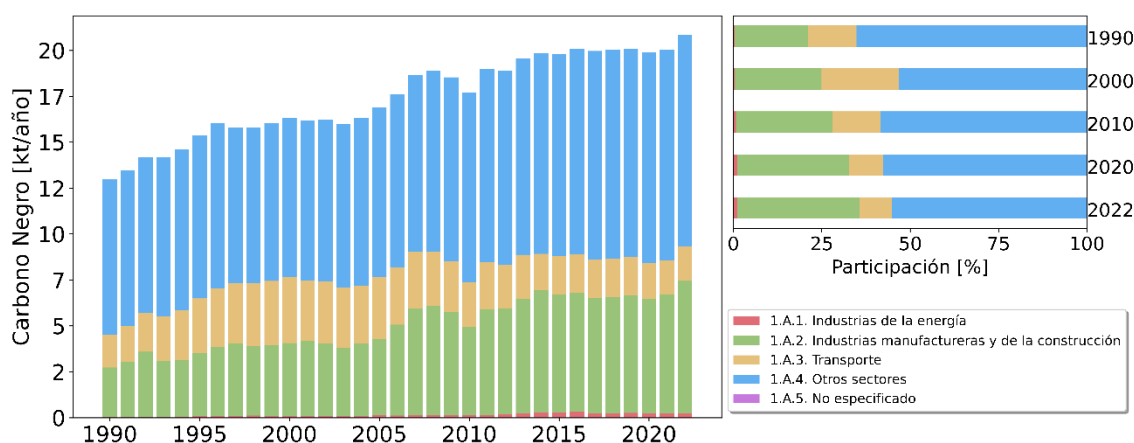


Figura 9-2. Tendencia de las emisiones de CN del sector Energía

Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA

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

La primera categoría del sector corresponde a la Industrias de la energía. Esta es la segunda categoría menos emisora de CN del sector. En 2022, las emisiones de esta categoría aportaron con el 1,1% de las emisiones del sector, alcanzando las 0,23 kt de CN, aumentando en un 299% respecto de 1990 y disminuyendo en un 4,6% respecto del 2020 (Figura 9-3). Las emisiones contabilizadas en esta categoría consideran los consumos de combustibles de la producción de electricidad, refinación de petróleo y la manufactura de combustibles.

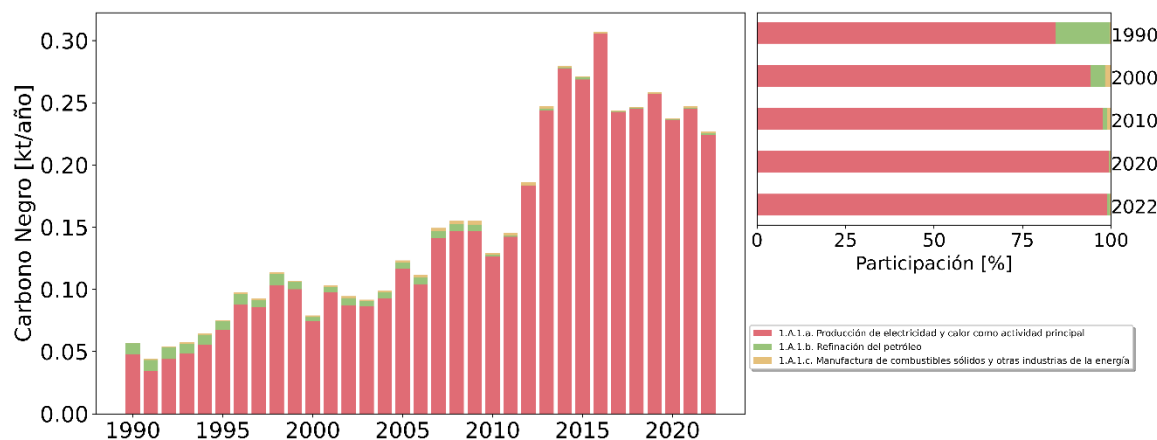


Figura 9-3. Tendencia de las emisiones de CN para las Industrias de la energía.

Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA

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

La segunda categoría del sector Energía corresponde a las emisiones del sector Industrias manufactureras y de la construcción. En términos de emisiones, en 2022 las emisiones alcanzaron las 7,22 kt de CN, representando el 34,6% de las emisiones totales del sector Energía. Esto representó un aumento del 170% respecto de 1990 y de un 15,5% respecto del 2020 (Figura 9-4). Esta tendencia es producto principalmente de la actividad industrial sobre Pulpa, papel e imprenta (1.A.2.d), Minería (1.A.2.i) y otro tipo de Industrias no especificadas (1.A.2.m). En esta categoría se contabilizan las emisiones de CN producto de la actividad industrial y minera, incluyendo las emisiones producto de la maquinaria utilizada en estas actividades, las cuales son presentadas bajo el nombre Maquinaria Fuera de Ruta (MFR). Las emisiones de estas últimas fueron agregadas a cada categoría según el consumo de diésel destinado a las MFR. Por otra parte, también se agregaron los consumos asociados a autoproducción de energía, considerando factores de emisión por generación de electricidad.

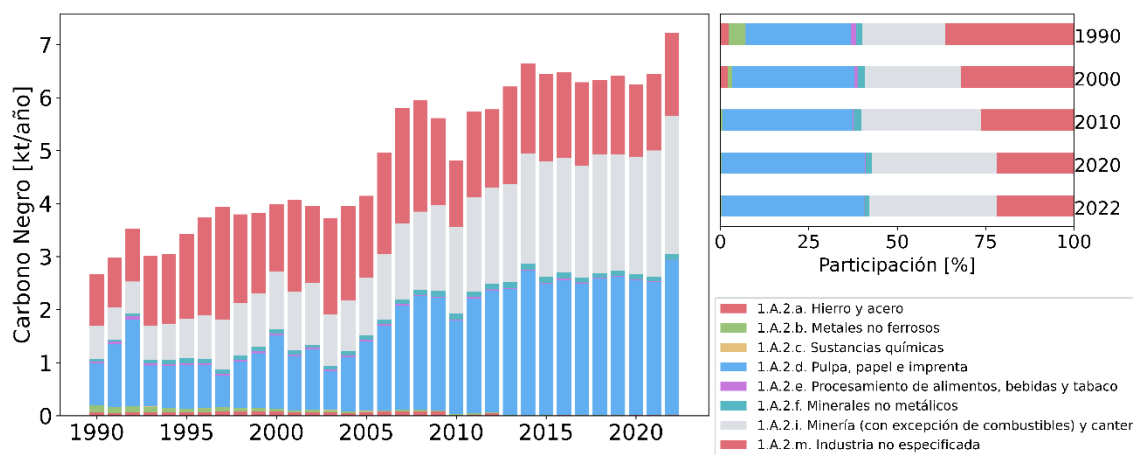


Figura 9-4. Tendencia de las emisiones de CN para las Industrias manufactureras y de la construcción.

Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA

Por su parte, en 2022 las emisiones provenientes de la MFR alcanzaron las 1,4 kt de CN, aportando con el 19,7% de las emisiones la categoría Industrias manufactureras y de la construcción. Esto representó un aumento del 91,0% respecto de 1990 y un incremento de 35,3% respecto del 2020. Las emisiones producto de la MFR se presentan de acuerdo con las actividades industriales Agrícola-forestal, construcción, industria y minería (Figura 9-5), donde la mayoría de las emisiones son producto de las actividades mineras y de la construcción, 37,1% y 36,2%, respectivamente.

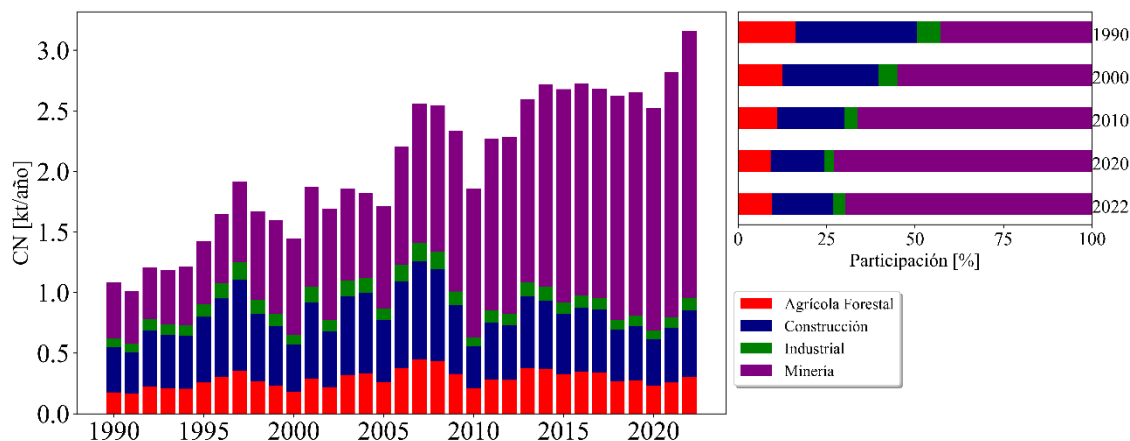


Figura 9-5. Tendencia de las emisiones de CN de la MFR.

Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA

9.2.1.3 Transporte (1.A.3)

La categoría Transporte es la tercera más importante en cuanto a las emisiones de CN del sector Energía, con un 9,0% de las emisiones en 2022, y contabiliza las emisiones producto del uso de combustibles en transportes terrestres, marítimos y aéreos, en estos últimos solo se considera el transporte nacional. Las emisiones por transporte internacional son presentadas en las partidas informativas. En 2022 las emisiones de la categoría Transporte alcanzaron las 1,9 kt de CN, aumentando en 5,3% desde 1990 y disminuyendo en un 3,6% desde el 2020 (Figura 9-6). Cabe destacar que el transporte es responsable de aproximadamente un tercio de las emisiones de GEI del sector Energía, con un constante aumento durante casi toda la serie, a diferencia de las emisiones de CN, las cuales disminuyen considerablemente debido a las normativas que regulan la emisión de partículas y a políticas públicas respecto a la transición hacia un transporte público eléctrico.

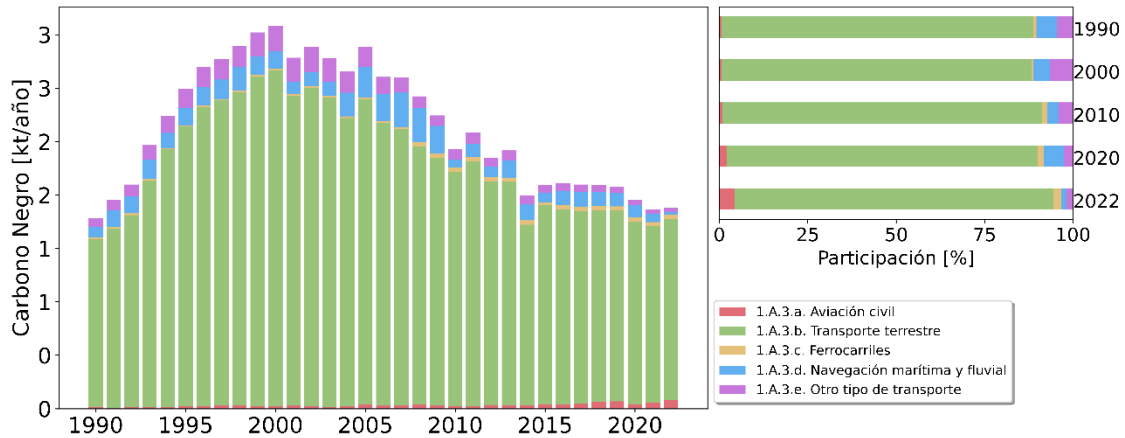


Figura 9-6. Tendencia de las emisiones de CN para el Transporte.
Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA

Por otra parte, respecto de la variación de las emisiones de CN del transporte, se tiene que, a pesar de que la demanda del sector va en constante aumento, las emisiones de CN luego del 2000 comienzan a decrecer sustancialmente. Esto se debe principalmente a la adopción de nuevas normativas vehiculares en el transporte terrestre.

9.2.1.4 Otros sectores (1.A.4)

La cuarta categoría corresponde a Otros sectores. Esta categoría es la más relevante en cuanto a las emisiones de CN, aportando con más de la mitad de las emisiones a nivel del sector Energía, alcanzando en 2022 las 11,5 kt de CN. Estos niveles representaron un aumento del 36,3% respecto de 1990 y de 0,7% respecto del 2020 (Figura 9-7).

Las emisiones contabilizadas en esta categoría corresponden, mayormente, a los consumos energéticos provenientes de las viviendas y comercios del país. Por su parte, el sector Residencial contabiliza las emisiones de CN producto del uso de combustibles en los hogares del país, donde las emisiones están fuertemente dominadas por el uso de leña para la calefacción de los hogares.

Para esta categoría las emisiones mantienen un aumento pequeño, pero constante durante toda la serie, presentando una única baja considerable en 1997, con la disminución de las emisiones de la subcategoría Comercial / Institucional.

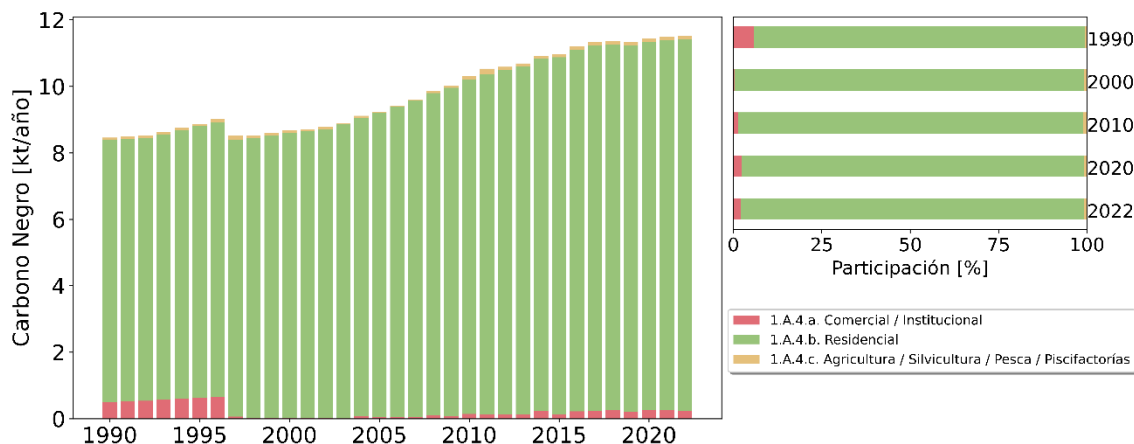


Figura 9-7. Tendencia de las emisiones de CN para Otros sectores.

Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA

9.2.1.5 No especificado (1.A.5)

Esta categoría corresponde a las emisiones provenientes de la quema de combustible para aviación en actividades no especificadas. Las emisiones de esta categoría representan menos del 0,01% del total de las emisiones del sector Energía, en donde solo se cuentan con datos desde el 2010 al 2022 (Figura 9-8). Los consumos reportados en esta categoría corresponden a consumos de Queroseno para motor a reacción, por lo que el factor de emisión utilizado es el mismo que para las partidas informativas. Debido a la baja importancia de estas emisiones, no se entrará en detalles en esta categoría.

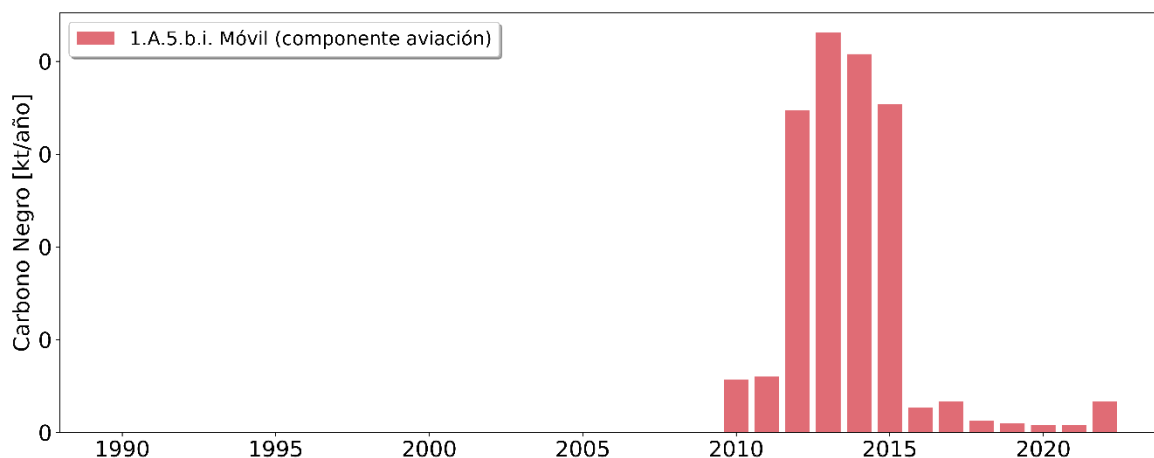


Figura 9-8. Tendencia de las emisiones de CN para No especificado.

Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA

9.2.1.6 Partidas informativas

Respecto de las Partidas informativas se tiene que la mayoría de las emisiones de CN provienen de la actividad de vehículos marítimos, esto debido al uso de diésel como fuente de energía. Para el 2022, las emisiones alcanzan las 0,15 kt de CN, lo que representó un incremento del 19,4% respecto de 1990 y de un del 64,6 % respecto del 2020 (Figura 9-9).

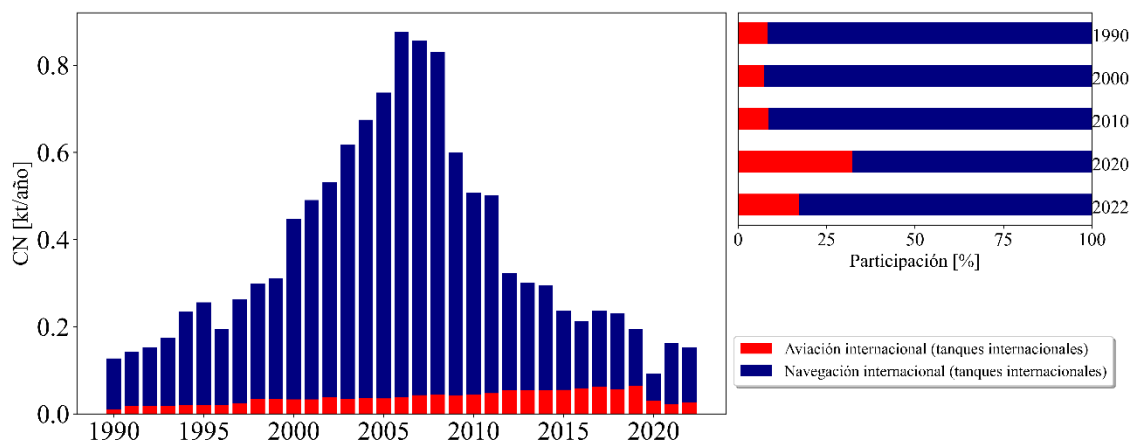


Figura 9-9. Tendencia de las emisiones de CN para las partidas informativas.

Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA

La estimación de las emisiones de las Partidas informativas se realizó de manera simple, considerando un nivel de actividad y un factor de emisión por combustible. A continuación, se presenta la ecuación utilizada para estimar las emisiones.

Ecuación 9-1. Emisiones de CN producto de la quema de combustible en las partidas informativas

$$E = NA * FE_i$$

Donde:

- E: Emisiones de CN.
- NA: Nivel de actividad (TJ).
- FE: Factor de emisión (kg de CN/TJ).
- i: Combustible.

Fuente: Basado en EMEP/EEA (2019)

Los consumos de las partidas informativas solo corresponden a consumos de tres combustibles. A continuación, se presentan los factores de emisión utilizados.

Tabla 9-3. Factores de emisión para Partidas informativas

Categoría	Actividad	Combustible	kg (CN)/TJ	Referencia
Partidas informativas	Aviación internacional	Queroseno para motor a reacción	2,27	Bond, et al. 2004 Table 7
	Navegación internacional	Gas / Diésel oil	10,01	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.3.d, Table 3-2)
		Fuelóleo residual	16,09	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.3.d, Table 3-1)

Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA

9.2.2 Aspectos metodológicos de la categoría

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

La estimación de emisiones de la categoría Industrias de la energía fueron calculadas utilizando la siguiente ecuación.

Ecuación 9-2. Emisiones de CN producto de la quema de combustibles en Industrias de la energía

$$\sum E = NA_{i,j} * FE_{i,j}$$

Donde:

- E: Emisiones de CN.
- NA: Nivel de actividad (consumo de combustible).
- FE: Factor de emisión (kg de CN/TJ de combustible).
- i: Categoría.
- j: Combustible.

Fuente: Basado en EMEP/EEA (2019)

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

Industrias manufactureras y de la construcción

La estimación de emisiones de CN de la categoría Industrias manufactureras y de la construcción se realizó mediante la siguiente ecuación:

Ecuación 9-3. Emisiones de CN producto de la quema de combustibles en Industrias manufactureras y de la construcción

$$\sum E = NA_{i,j} * FE_{i,j}$$

Donde:

- E: Emisiones de CN.
- NA: Nivel de actividad (consumo de combustible).
- FE: Factor de emisión (kg de CN/TJ de combustible).
- i: Categoría
- j: Combustible

Fuente: Basado en EMEP/EEA (2019)

Maquinaria fuera de ruta

La estimación de las emisiones provenientes de la MFR se realizó en base al primer inventario de emisiones de MFR de Chile, elaborado por (GEASUR, 2014). Este estudio elabora un inventario con año base 2013, el cual ha sido utilizado como base para otros estudios (MMA, 2016, Gallardo et al, 2020). En el INCN, serie 1990 – 2022, se utilizó como base de la estimación el parque de maquinarias y los consumos estimados por dicho inventario. Además, se contabilizaron las emisiones provenientes de las maquinarias utilizadas en la gran minería del cobre. Respecto del parque estimado por GEASUR, se tienen diferentes maquinarias agrupadas en cuatro actividades diferentes, siendo estas: Agrícola-Forestal, Construcción, Industrial y Minería, donde las maquinarias consideradas en este parque deben cumplir con la siguiente definición:

“Cualquier máquina móvil o equipo industrial portátil o vehículo con o sin carrocería, no destinados al transporte de pasajeros o mercancías por carretera, aptos para desplazarse sobre el suelo, con o sin carretera y que funciona en base a motores de combustión interna, de encendido por compresión, con una potencia neta instalada, igual o superior a 19 kW pero inferior a 560 kW.”

De esta manera, se contó con diferentes parámetros para realizar una estimación de las emisiones provenientes de la MFR con una metodología Tier 2, proveniente de las guías de elaboración de inventarios de EMEP/EEA del 2019. La ecuación utilizada fue la siguiente.

Ecuación 9-4. Emisiones de CN producto del uso de diésel en maquinaria fuera de ruta

$$\sum E = NA * CE * Tec_i * FE$$

Donde:

- E: Emisiones de CN.
- NA: Nivel de actividad (t de diésel).
- CE: Consumo etario (%).
- Tec: Tecnología de la maquinaria (%).
- FE: Factor de emisión (g de CN/t de diésel)
- i: Actividad

Fuente: Basado en EMEP/EEA (2019)

Adicionalmente, se realizó una estimación de las emisiones provenientes de las MFR de la gran minería del cobre. Debido a la definición de una MFR (presentada anteriormente), los consumos de las grandes maquinarias de la gran minería del cobre no son contabilizadas como MFR, puesto que, los camiones de transporte de material exceden las 560 kW (que define una MFR). Es por esto que en otras estimaciones se ha dejado fuera los consumos de combustibles de estas maquinarias. La ecuación utilizada en la estimación de emisiones fue la siguiente:

Ecuación 9-5. Emisiones de CN producto del uso de diésel en maquinaria fuera de ruta en la gran minería del cobre

$$E = NA * FE$$

Donde:

- E: Emisiones de CN.
- NA: Nivel de actividad (TJ de diésel).
- FE: Factor de emisión (kg de CN/TJ de combustible).

Fuente: Basado en EMEP/EEA (2019)

9.2.2.3 Transporte (1.A.3)

Para la estimación de emisiones de la categoría Transporte se consideraron varios factores, particularmente se contó con información para el Transporte terrestre, mientras que las demás categorías fueron estimadas con una metodología simple, debido los bajos consumos energéticos que éstas tienen.

En el caso del Transporte terrestre se estimaron las emisiones de CN según las normativas que rigen los diferentes tipos de vehículos. Esta estimación solo se realizó para las categorías de vehículos más importantes (que presentan un mayor consumo energético), siendo éstas los Automóviles (1.A.3.b.i), los Camiones para servicio ligero (1.A.3.b.ii) y los Camiones para servicio pesado y autobuses (1.A.3.b.iii), las otras categorías no consideraron diferentes tecnologías en su estimación.

Transporte terrestre

Para la estimación de transporte terrestre según normativa, se utilizó la Ecuación 9-6, que considera parámetros como el factor de consumo y la tecnología.

Ecuación 9-6. Emisiones de CN producto de la quema de combustible en el Transporte terrestre

$$\sum E = NA_i * FC_i * Tec_i * FE_{i,j}$$

Donde:

- E: Emisiones de CN.
- NA: Nivel de actividad (lt).
- FC: Factor de consumo (km/lt).
- Tec: Tecnología según normativa (%).
- FE: Factor de emisión (g de CN/km)
- i: Tipo de vehículo
- j: Tipo de combustible

Fuente: Basado en EMEP/EEA (2019)

Resto de la categoría

Para el resto de la categoría, donde no aplicó la consideración de diferencia tecnológica, la estimación se realizó mediante la siguiente ecuación.

Ecuación 9-7. Emisiones de CN producto de la quema de combustible en el resto del transporte

$$\sum E = NA_{i,j} * FE_{i,j}$$

Donde:

- E: Emisiones de CN.
- NA: Nivel de actividad (TJ de combustible)
- FE: Factor de emisión (kg de CN/ TJ de combustible).
- i: Tipo de vehículo.
- j: Combustible.

Fuente: Basado en EMEP/EEA (2019)

9.2.2.4 Otros sectores (1.A.4)

Para la categoría de Otros sectores, que contempla los consumos energéticos residencial y comercial, la emisión de CN se estimó considerando el nivel de actividad y factor de emisión, diferenciado entre actividad y combustible. A continuación, se presenta la ecuación utilizada.

Ecuación 9-8. Emisiones de CN producto de la quema de combustible en Otros sectores

$$\sum E = NA_{i,j} * FE_{i,j}$$

Donde:

- E: Emisiones de CN.
- NA: Consumo de combustible (TJ).
- FE: Factor de emisión (kg de CN/TJ).
- i: Actividad.
- j: Combustible.

Fuente: Basado en EMEP/EEA (2019)

9.2.3 Datos de actividad de la categoría

Los niveles de actividad considerados en el levantamiento del INCN son los mismos que se utilizan en la construcción del INGEI; éstos provienen del Balance Nacional de Energía (BNE⁹⁹). El sector Energía presenta los niveles de actividad en consumos energéticos (TJ), por lo que, en algunos casos, es necesarios parametrizar el nivel de actividad o el factor de emisión para calcular las emisiones. A continuación, se presentan los factores utilizados en algunas parametrizaciones realizadas para obtener los factores de emisión adecuadas.

Tabla 9-4. Paramétricos utilizados en la elaboración del INCN

Combustible	Densidad (t/m ³)	Poder Calorífico Superior (Kcal/Kg)	Factor (kcal/Kg) a (TJ/Gg) en PCI	Poder Calorífico Inferior (TJ/Gg)
Gasolina	0,730	11.200	3,977	44,5
Gasolina Aviación	0,700	11.400	3,977	45,3
Kerosene Aviación	0,810	11.100	3,977	44,1
Kerosene	0,810	11.100	3,977	44,1
Diesel	0,840	10.900	3,977	43,4
Petróleo Combustible	0,945	10.500	3,977	41,8
Gas Licuado	0,550	12.100	3,768	45,6
Nafta	0,700	11.500	3,977	45,7
Alquitrán	-	10.400	3,977	41,4
Gas Refinaría (*)	0,58	4.260	3,977	16,9
Carbón	-	7.000	3,977	27,8
Coque metalúrgico	-	7.000	3,977	27,8
Gas Corriente (*)	-	4.600	3,768	17,3
Gas Alto Horno (*)	-	7.200	3,768	27,1
Gas Natural (*)	-	9.341	3,768	35,2
Leña	0,590	3.500	3,977	13,9
Biogás (*)	-	5.600	3,768	21,1
Coque de Petróleo	-	8100	3,977	32,2

Fuente: INGEI

* kcal/m³

⁹⁹ <https://energia.gob.cl/pelp/balance-nacional-de-energia>

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

Los datos de actividad de la subcategoría Industrias de la energía corresponden a los consumos de combustibles de la producción de electricidad, refinación de petróleo y la manufactura de combustibles reportados en el INGEI.

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

Industrias manufactureras y de la construcción

La estimación de emisiones de CN de la categoría Industrias manufactureras y de la construcción se realizó en base a los consumos de combustibles de las diferentes categorías. En esta se contabilizaron las emisiones provenientes de procesos involucrados en las actividades industriales y mineras, mientras que los consumos producto de la autoproducción de energía se contabilizaron en la categoría Industrias de la energía.

Respecto de los consumos producto de la autoproducción de energía, se contó con los consumos energéticos para toda la serie para diferentes categorías. Cabe destacar que, en esta estimación no se consideró la autoproducción por gas natural, gas licuado y gas corriente debido al bajo aporte de CN. Las siguientes tablas muestran los consumos por autoproducción que fueron considerados en el inventario.

Tabla 9-5. Consumos energéticos (TJ) por autoproducción según categoría INGEI, serie 1990 – 2022, parte 1 de 4

Año	1.A.2.a. Hierro y acero			1.A.2.b. Metales no ferrosos		1.A.2.c. Sustancias químicas		
	Gas / Diésel oil	Fuelóleo residual	Gas natural	Fuelóleo residual	Gas / Diésel oil	Fuelóleo residual	Gas / Diésel oil	Gas / Diésel oil
1990	16,0	1,3	42,5	17,4	2.352,3	31,3	-	313,0
1991	5,9	-	34,8	13,9	1.924,8	11,5	-	251,4
1992	4,6	-	39,4	13,6	2.126,3	9,1	-	245,1
1993	3,8	-	44,0	19,7	2.314,4	7,5	-	354,5
1994	4,8	3,8	56,8	14,1	2.914,1	9,5	-	255,0
1995	5,1	7,5	63,1	12,7	3.155,1	10,0	-	229,0
1996	4,4	7,5	33,8	11,0	1.645,7	8,6	-	198,6
1997	6,5	-	34,7	60,6	1.644,8	12,7	-	1.091,4
1998	6,6	-	37,5	14,4	1.726,8	12,9	-	259,4
1999	11,9	-	46,2	35,1	2.062,2	23,3	-	632,5
2000	-	-	-	-	1.388,9	-	-	-
2001	18,2	-	-	-	1.289,9	-	-	-
2002	44,1	21,9	-	-	1.052,9	-	-	-
2003	-	10,0	244,3	-	940,4	-	-	-
2004	0,3	-	-	164,1	825,8	-	-	-
2005	0,3	-	-	270,8	842,3	0,3	-	7.906,8
2006	0,3	-	-	85,5	792,8	-	-	3.400,5
2007	-	-	-	3,3	800,0	-	-	854,7
2008	-	-	-	-	815,2	-	-	-
2009	12,2	-	-	-	763,9	0,0	-	-
2010	13,9	-	-	-	1.090,4	0,0	-	-
2011	-	-	-	-	112,2	16,8	-	2.156,6
2012	-	-	-	73,8	638,6	27,8	-	926,5

Año	1.A.2.a. Hierro y acero			1.A.2.b. Metales no ferrosos		1.A.2.c. Sustancias químicas		
	Gas / Diésel oil	Fuelóleo residual	Gas natural	Fuelóleo residual	Gas / Diésel oil	Fuelóleo residual	Gas / Diésel oil	Gas / Diésel oil
2013	-	-	-	65,4	358,5	22,7	-	520,1
2014	2,6	-	-	-	-	9,2	0,4	290,2
2015	-	-	-	143,3	0,1	11,9	-	255,3
2016	18,2	-	-	58,3	-	217,1	-	311,8
2017	6,8	-	-	-	-	214,0	-	231,4
2018	13,7	-	-	-	-	9,6	-	375,1
2019	17,7	-	-	-	-	16,6	-	1.365,7
2020	-	-	-	-	-	5,3	-	1.526,3
2021	22,8	-	-	-	-	16,0	-	1.078,6
2022	15,4	-	-	-	2,1	8,7	-	1.382,6

Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA

Valores igual a 0 representan valores menores a 0,5 Tj.

Tabla 9-6. Consumos energéticos (TJ) por autoproducción según categoría INGEI, serie 1990 – 2022, parte 2 de 4

Años	1.A.2.d. Pulpa, papel e imprenta						1.A.2.e. Procesamiento de alimentos, bebidas y tabaco			
	Madera y desechos de madera	Gas / Diésel oil	Gases licuados de petróleo	Gas natural	Fuelóleo residual	Otro carbón bituminoso	Gas / Diésel oil	Gases licuados de petróleo	Fuelóleo residual	Otro carbón bituminoso
1990	6.264,5	169,2	-	209,8	4.800,4	-	1,4	-	24,6	367,8
1991	3.977,5	62,3	-	168,5	3.928,0	-	0,5	-	20,1	364,0
1992	6.714,0	49,1	-	164,3	4.446,0	-	0,4	-	22,7	360,3
1993	7.179,3	40,8	-	237,6	4.961,5	-	0,3	-	25,4	356,5
1994	7.839,6	51,4	-	170,9	6.409,1	-	0,4	-	32,8	352,7
1995	9.506,1	53,8	-	153,5	7.123,6	-	0,4	-	36,4	349,0
1996	11.530,7	46,2	-	133,1	3.817,2	-	0,4	-	19,5	318,2
1997	11.335,1	68,5	-	731,6	3.922,4	-	0,6	-	20,1	289,6
1998	15.790,5	69,8	-	173,9	4.237,0	-	0,6	-	21,7	318,2
1999	14.299,0	125,7	-	424,0	5.210,5	-	1,0	-	26,7	314,2
2000	12.093,7	19,3	-	11,6	1.802,5	-	-	-	-	275,4
2001	18.313,5	12,0	-	11,6	686,2	-	-	-	-	445,2
2002	16.546,6	9,8	-	11,6	582,6	-	-	-	-	475,0
2003	16.179,7	14,6	-	-	388,8	-	-	-	-	267,8
2004	17.466,9	35,8	1,6	-	431,8	9,9	-	-	-	328,7
2005	21.906,0	36,0	0,8	759,4	876,7	-	-	0,6	1,6	363,8
2006	19.376,3	122,0	4,3	322,8	866,6	-	-	-	-	315,4
2007	19.674,0	305,2	0,1	-	1.509,3	-	-	-	-	292,4
2008	20.590,5	84,5	5,4	30,4	1.809,9	-	-	-	0,0	190,5
2009	23.388,2	13,4	-	-	1.509,1	-	3,4	-	-	-
2010	19.996,9	15,3	-	-	2.011,3	-	3,8	-	-	-
2011	24.649,6	3,7	-	-	-	-	7,1	-	-	-
2012	25.071,6	170,1	5,9	35,1	3.874,3	-	7,0	-	-	-
2013	26.082,8	62,5	31,8	160,7	2.530,5	-	6,8	-	1,6	-
2014	29.909,6	14,9	19,1	66,5	4.437,9	-	-	0,2	-	-
2015	19.059,2	79,8	52,1	637,6	2.806,5	-	-	-	-	-
2016	22.031,1	50,7	11,5	1.683,3	1.794,1	-	-	-	-	-
2017	25.995,1	21,8	-	3.509,6	-	-	-	-	-	-
2018	27.587,6	108,9	5,8	3.478,9	1.792,4	-	-	-	-	-
2019	25.864,1	113,7	2,5	2.183,3	1.817,8	-	-	-	90,9	-

Años	1.A.2.d. Pulpa, papel e imprenta						1.A.2.e. Procesamiento de alimentos, bebidas y tabaco			
	Madera y desechos de madera	Gas / Diésel oil	Gases licuados de petróleo	Gas natural	Fuelóleo residual	Otro carbón bituminoso	Gas / Diésel oil	Gases licuados de petróleo	Fuelóleo residual	Otro carbón bituminoso
2020	26.183,6	55,7	6,3	2.020,5	1.919,4	-	-	-	-	-
2021	26.051,2	123,5	12,7	1.970,8	2.290,6	-	-	-	-	-
2022	24.405,2	70,2	-	2.444,7	480,6	-	-	-	-	-

Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA

Valores igual a 0 representan valores menores a 0,5 Tj

Tabla 9-7. Consumos energéticos (TJ) por autoproducción según categoría INGEI, serie 1990 – 2022, parte 3 de 4

Años	1.A.2.f. Minerales no metálicos		1.A.2.i.i. Minería del cobre		1.A.2.i.ii. Minería del hierro	1.A.2.i.iii. Minería del salitre		1.A.i.iv. Minas varias		
	Gas / Diésel oil	Fuelóleo residual	Gas / Diésel oil	Fuelóleo residual	Gas / Diésel oil	Gas / Diésel oil	Fuelóleo residual	Gas / Diésel oil	Gas natural	Fuelóleo residual
1990	52,3	265,4	725,7	1.998,2	96,4	273,9	136,5	342,4	3,5	65,6
1991	19,2	217,2	267,0	1.635,1	35,5	100,8	111,7	126,0	2,8	53,6
1992	15,2	245,8	210,3	1.903,1	27,9	79,4	126,4	99,2	2,7	60,7
1993	12,6	274,3	174,8	2.182,2	23,2	66,0	141,1	82,5	4,0	67,8
1994	15,9	354,4	220,2	2.894,4	29,3	83,1	182,2	103,9	2,8	87,5
1995	16,6	393,9	230,9	3.301,0	30,7	87,1	202,6	108,9	2,6	97,3
1996	14,3	211,1	198,0	1.813,8	26,3	74,7	108,5	93,4	2,2	52,1
1997	21,2	216,9	293,9	1.910,0	39,0	110,9	111,5	138,7	12,2	53,6
1998	21,6	234,3	299,1	2.113,1	39,7	112,9	120,5	141,1	2,9	57,9
1999	38,9	288,1	539,0	2.660,0	71,6	203,4	148,2	254,3	7,1	71,2
2000	0,7	-	58,3	1.889,1	68,5	331,0	261,0	-	-	-
2001	1,1	-	74,3	1.742,5	73,9	97,2	261,0	-	-	-
2002	126,7	-	116,9	1.604,0	53,2	129,3	-	-	-	-
2003	114,7	-	39,7	1.350,6	42,2	130,0	-	-	-	-
2004	1,9	-	112,3	1.421,0	43,5	119,4	486,5	-	-	-
2005	7,0	-	53,9	1.322,2	42,9	115,9	-	18,5	-	-
2006	5,7	-	59,3	1.379,8	36,8	115,9	-	22,2	-	-
2007	1,8	-	102,9	1.712,0	36,3	128,1	-	21,7	-	-
2008	31,3	76,8	155,9	2.000,6	35,9	99,3	-	244,2	-	-
2009	20,3	354,2	240,2	2.061,4	37,7	256,1	-	345,9	55,9	-
2010	23,2	472,0	274,3	2.675,1	43,1	292,4	-	394,9	42,4	-
2011	15,5	549,0	350,7	349,5	102,1	-	-	655,9	-	-
2012	-	-	404,1	1.547,3	95,9	-	-	713,7	-	-
2013	9,8	-	480,5	1.209,7	85,5	-	-	848,1	-	2,8
2014	1,5	-	407,1	-	0,0	-	-	126,3	-	-
2015	1,5	-	234,7	0,3	21,0	-	-	465,5	-	-
2016	0,6	-	1.273,8	-	-	-	-	546,3	0,1	279,8
2017	12,1	-	1.294,2	-	-	-	-	411,2	0,3	7,1
2018	-	23,1	1.243,3	-	-	-	-	166,6	0,1	3,9
2019	-	-	1.347,9	-	-	-	-	205,7	0,1	4,1
2020	0,2	22,3	1.844,2	-	-	-	-	335,7	0,0	-
2021	9,2	-	1.506,7	-	-	-	-	282,4	0,1	9,9
2022	28,7	-	1.004,5	8,7	-	-	-	451,4	0,0	293,4

Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA

Valores igual a 0 representan valores menores a 0,5 Tj

Tabla 9-8. Consumos energéticos (TJ) por autoproducción según categoría INGEI, serie 1990 – 2022, parte 4 de 4

Años	1.A.2.m. Industria no especificada				
	Madera y desechos de madera	Gas / Diésel oil	Gases licuados de petróleo	Gas natural	Fuelóleo residual
1990	-	1.094,4	-	22,2	337,1
1991	-	402,7	-	17,8	275,8
1992	-	317,2	-	17,4	312,2
1993	-	263,6	-	25,1	348,4
1994	-	332,1	-	18,1	450,0
1995	-	348,2	-	16,2	500,2
1996	-	298,6	-	14,1	268,0
1997	-	443,3	-	77,4	275,4
1998	-	451,1	-	18,4	297,5
1999	-	812,9	-	44,9	365,9
2000	-	424,6	-	-	-
2001	-	347,1	-	-	-
2002	-	360,2	-	-	-
2003	-	335,8	-	-	-
2004	-	49,6	0,0	95,5	-
2005	-	149,1	-	194,7	-
2006	-	100,9	-	135,8	-
2007	-	25,5	-	-	-
2008	-	327,8	30,3	0,0	7,4
2009	-	337,6	-	-	74,4
2010	-	385,5	-	-	99,2
2011	-	2.303,7	-	55,2	11,2
2012	-	17.956,5	-	38,8	11,9
2013	-	1.490,8	-	61,6	0,4
2014	2.574,1	681,4	-	48,8	1.082,5
2015	802,2	794,0	6,9	0,6	420,4
2016	915,8	610,0	-	45,1	215,7
2017	1.432,5	841,0	-	86,1	218,0
2018	1.331,2	758,3	-	111,0	260,5
2019	0,7	424,2	-	134,3	8,0
2020	-	1.070,3	-	174,7	1,0
2021	993,0	1.345,7	-	203,4	172,0
2022	1.068,1	1.815,7	19,6	397,1	107,3

Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA
Valores igual a 0 representan valores menores a 0,5 TJ

A partir de los consumos anteriores, los nuevos consumos vendrán dados por la ecuación Ecuación 9-9.

Ecuación 9-9. Estimación de consumo final para las Industrias manufactureras y de la construcción

$$CF_i = CA_i - AP_i$$

Donde:

- CF: Consumo final (TJ).
- CA: Consumo antiguo (TJ).
- AP: Autoproducción (TJ).
- i: Combustible.

Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA

Maquinaria fuera de ruta

Las maquinarias contabilizadas provienen de las bases de datos de aduanas, donde se considera que todas las maquinarias ingresadas al país son vendidas. El parque estimado para el año 2013 considera todas las maquinarias ingresadas desde el 2000 al 2013, asumiendo que toda la maquinaria antes del 2000 fue extraída del parque. Siguiendo el mismo supuesto, se elaboró un parque de maquinarias para la serie 2013 – 2022. A continuación, se presenta el parque estimado según metodología GEASUR para el periodo 2013 – 2018, los años 2019 - 2022 fueron estimados en base al crecimiento de la serie anterior.

Tabla 9-9. Parque estimado (maquinarias) para la serie 2013 – 2022

Rubro	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Agrícola Forestal	36.581	40.881	44.511	47.471	46.366	44.654	42.496	40.562	37.827	33.895
Construcción	39.109	40.813	42.660	44.969	47.268	49.382	50.929	52.354	52.860	52.012
Industrial	8.327	8.619	9.668	10.437	11.446	12.791	14.110	15.090	16.129	17.055
Minería	12.317	14.297	16.553	17.118	17.766	18.584	19.261	19.867	19.943	19.271

Fuente: División de Calidad del Aire

Considerando la serie de 2013 – 2022 fue posible estimar un parque hacia 1990. Para esto se consideró que un decrecimiento de un 4% cada año hacia atrás.

El parque estimado sirve como indicador para diferenciar las maquinarias según normativa y asignarle el consumo según la edad de la maquinaria. Respecto de las normativas, estas se asignaron según los porcentajes de maquinarias con diferentes normativas estimados por GEASUR, para cada rubro. Por otra parte, el consumo etario se elaboró en base al supuesto de que las maquinarias mayores a trece años salen del parque y el consumo etario proveniente de las guías de elaboración de inventarios de EMEP/EEA del 2019. A continuación, se presentan los consumos porcentuales según edad.

Tabla 9-10. Consumo etario (%) para MFR

Año de la MFR	% anual de combustible consumido	Referencia
0	14,0	Elaborado en base a EMEP/EEA (2019) 1.A.4 (Table 3-3)
1	12,0	
2	12,0	
3	12,0	
4	12,0	
5	12,0	
6	8,7	
7	5,3	
8	2,0	
9	2,0	
10	2,0	
11	2,0	
12	2,0	
13	2,0	

Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA

Respecto de los niveles de actividad, estos se estimaron en base a GEASUR. En dicho estudio se estimaron los consumos para los diferentes rubros definidos en el inventario de MFR. Como resultado se obtuvo los siguientes parámetros para el año base.

Tabla 9-11. Año base del inventario de GEASUR

Rubro	Consumo de diésel (m ³)	% Consumo	Flota	% Flota
Agrícola Forestal	275.229	22%	36.581	38%
Construcción	580.773	46%	39.109	41%
Industrial	111.427	9%	8.327	9%
Minería	299.655	24%	12.317	13%
Total	1.267.084	100%	96.334	100%

Fuente: GEASUR 2014

Considerando esto, se designaron los consumos de estas actividades según las categorías del INGEI. Para esto se siguió la siguiente asignación.

Tabla 9-12. Asignación de consumos según rubros.

Rubro GEASUR	Categoría INGEI
Agrícola Forestal Construcción Industrial	Hierro y acero Sustancias químicas Pulpa, papel e imprenta Procesamiento de alimentos, bebidas y tabaco Minerales no metálicos Industria no especificada
Minería	Minería del cobre Minería del hierro Minería del salitre Minas varias

Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA

Respecto de los rubros distintos de la minería, se consideró que todo el consumo de diésel reportado en estas categorías se utiliza en maquinarias. Este supuesto se basó en la estimación realizada por GEASUR, la cual excedía (en un 1%) los niveles de diésel reportados por las categorías INGEI, según los rubros correspondientes a GEASUR. Cabe destacar que, de todos los consumos reportados de estas categorías, el mayor consumidor es la Industria no especificada. Por otra parte, para el sector minería se consideró que un 15% de los consumos diésel total fue utilizado en MFR. Este supuesto se realizó en base a que el consumo reportado por GEASUR para minería corresponde al 15% del consumo total de diésel en la minería. Todos estos supuestos fueron utilizados durante toda la serie.

A continuación, se presentan los consumos de combustibles utilizados en la estimación de emisiones de MFR.

Tabla 9-13. Consumos de diésel (TJ) por categoría industrial destinados para MFR, serie 1990 - 2022

Año	Hierro y acero	Sustancias químicas	Pulpa, papel e imprenta	Procesamiento de alimentos, bebidas y tabaco	Minerales no metálicos	Industria no especificada
1990	64	26	72	-	131	10.675
1991	56	83	147	-	111	9.852
1992	68	85	6.436	-	111	7.311
1993	68	5	107	-	243	12.906
1994	76	2	139	-	223	12.823
1995	64	19	119	-	107	16.217
1996	64	6	103	-	175	19.322
1997	135	20	147	-	195	22.333
1998	111	187	103	-	398	16.288
1999	143	30	298	-	394	14.128
2000	131	41	103	-	461	11.185
2001	52	9	84	-	497	18.734
2002	4	15	259	-	346	14.112
2003	4	400	366	20	159	20.886
2004	80	18	255	-	219	22.855
2005	54	81	166	-	273	18.483
2006	47	72	55	-	232	27.958
2007	116	14	210	-	315	33.625
2008	96	13	412	13	444	33.662
2009	28	5	422	9	407	26.351
2010	-	17	473	19	479	16.649
2011	-	4	68	18	396	24.424
2012	38	12	255	18	267	24.632
2013	-	19	46	12	59	34.586
2014	37	6	134	19	282	34.639
2015	3	-	46	17	240	31.444
2016	313	-	850	11	329	33.162
2017	301	0	913	24	138	34.172
2018	219	10	985	16	115	28.369
2019	254	0	1.070	13	209	30.563
2020	503	0	847	9	110	26.681
2021	361	0	821	8	240	25.137
2022	394	-	1.372	18	388	26.187

Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA

Tabla 9-14. Consumos de diésel (TJ) por categoría minera destinados para MFR, serie 1990 - 2022

Año	Minería del cobre	Minería del hierro	Minería del salitre	Minas varias
1990	1.117	105	67	937
1991	1.098	127	75	865
1992	1.095	109	72	642
1993	1.166	14	76	1.133
1994	1.344	139	76	1.126
1995	1.523	23	76	1.424
1996	1.574	170	128	1.696
1997	1.913	187	141	1.940

Año	Minería del cobre	Minería del hierro	Minería del salitre	Minas varias
1998	2.436	175	129	1.797
1999	2.763	136	174	1.522
2000	2.787	185	175	1.815
2001	3.186	155	177	1.908
2002	3.462	129	235	1.893
2003	3.063	107	156	1.634
2004	2.825	25	223	2.220
2005	3.865	27	188	1.837
2006	4.509	27	188	2.008
2007	5.385	20	187	2.074
2008	5.810	23	238	1.703
2009	6.428	36	190	2.083
2010	5.795	152	229	3.360
2011	6.968	173	281	2.657
2012	7.525	472	317	2.367
2013	8.078	213	556	2.065
2014	9.499	324	476	1.892
2015	9.674	438	458	2.777
2016	9.801	275	209	3.011
2017	9.714	316	376	2.314
2018	10.464	341	381	2.366
2019	10.566	273	355	2.173
2020	10.517	304	395	2.364
2021	11.087	354	406	2.479
2022	11.837	388	430	2.872

Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA

Respecto de la gran minería del cobre, se incluyeron los consumos de estas maquinarias para visibilizar el impacto que estas generarían en las emisiones. La estimación de las emisiones de las MFR de la gran minería del cobre se realizó en base a un nivel de actividad, definido según criterio de experto, el cual considera que el 80% del consumo de diésel de la categoría Minería del cobre se utiliza en el transporte de material, vale decir, en MFR; y un factor de emisión para maquinarias A continuación, se presentan los consumos de combustibles utilizados en la estimación de emisiones de MFR de la gran minería del cobre.

Tabla 9-15. Consumos de diésel (TJ) en la gran minería del cobre producto de procesos y MFR, serie 1990 - 2022

Año	Procesos	MFR
1990	2.804	11.215
1991	2.624	10.494
1992	2.615	10.458
1993	2.595	10.380
1994	2.777	11.108
1995	2.848	11.393
1996	3.025	12.101
1997	3.554	14.215
1998	3.929	15.717
1999	4.288	17.153
2000	4.265	17.061
2001	4.291	17.164
2002	5.005	20.022
2003	4.172	16.689
2004	3.627	14.508

2005	4.711	18.845
2006	5.568	22.271
2007	6.774	27.096
2008	7.384	29.535
2009	8.186	32.742
2010	7.276	29.104
2011	8.824	35.295
2012	9.164	36.658
2013	9.706	38.823
2014	10.894	43.576
2015	11.544	46.177
2016	11.527	46.109
2017	11.463	45.853
2018	12.288	49.152
2019	12.273	49.094
2020	12.190	48.759
2021	12.823	51.293
2022	13.649	54.597

Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA

9.2.3.3 Transporte (1.A.3)

Transporte Terrestre

Para visualizar las emisiones según diferentes normativas se contó con un parque vehicular para toda la serie y el calendario de normas vehiculares oficial. Por su parte, el parque vehicular utilizado presentó la siguiente estructura.

Tabla 9-16. Estructura de parque vehicular utilizado para el INCN.

Tipo de vehículo	Motorización	Tecnología
Automóviles	Diésel	Catalítico
		No Catalítico
	Gasolina	Catalítico
		No Catalítico
Camiones livianos	Diésel	Catalítico
		No Catalítico
	Gasolina	Catalítico
		No Catalítico
Motocicletas	Diésel	Catalítico
		No Catalítico
	Gasolina	Catalítico
		No Catalítico
Todo terreno	Diésel	Catalítico
		No Catalítico
	Gasolina	Catalítico
		No Catalítico
Camiones	Diésel	Catalítico
		No Catalítico
	Gasolina	Catalítico
		No Catalítico
Buses	Diésel	Catalítico
		No Catalítico
	Gasolina	Catalítico
		No Catalítico
Agrícola	Diésel	Catalítico
		No Catalítico
	Gasolina	Catalítico
		No Catalítico

Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA

En este caso el parque vehicular contabilizaba algunos vehículos con motorizaciones que no corresponden. Por ejemplo, se contabilizan Buses y Camiones con motorización gasolina, lo que no es correcto. Sin embargo, en términos de emisiones esto solo afecta la cantidad de vehículos por normativa, ya que el nivel de actividad principal es el consumo de combustible. Para efectos de cálculos, los camiones y buses con motorización gasolina fueron considerados vehículos comerciales.

Respecto de la entrada en vigor de las diferentes normativas vehiculares, se contó con calendario normativo oficial para los vehículos: Buses, camiones, automóviles y camiones livianos, y los vehículos todo terreno fueron considerados como camiones livianos para la estimación. Esto, sumado al parque vehicular según tecnología, permitió elaborar los siguientes supuestos para la entrada de vehículos con nuevas normativas.

- Vehículos sin normativa
 - La cantidad de vehículos sin normativa es igual a la cantidad de vehículos del parque bajo la tecnología No catalítico.
- Entrada en vigor de nuevas normativas
 - Debido a que los vehículos con nuevas normativas ingresan antes al país antes que entre en vigencia la norma, se consideró que todos los vehículos nuevos un año antes de la entrada de la nueva normativa funcionan bajo esa norma.
- Norma EURO I
 - El parque vehicular considerado estima que los vehículos catalíticos comienzan a ingresar al parque en 1995, sin embargo, la entrada en vigor de la primera normativa sucede en 1992. Por lo tanto, para efectos de consistencia con el INGEI, se consideró que la entrada en vigor de la primera normativa sucede en 1995.

Considerando estos supuestos y el parque vehicular, se logró establecer el consumo porcentual de combustible según normativas de los diferentes tipos de vehículos. Por otra parte, para estimar la cantidad de emisiones por tipo de vehículo se consideraron los siguientes factores de consumo.

Tabla 9-17. Paramétricos utilizados en la estimación de emisiones del Transporte terrestre

Paramétrico	Tipo de vehículo	Motorización	km/l (combustible)	Referencia
Factor de consumo	Buses	Diésel	3	BNE
	Camiones		5	
	Camión ligero – Todo terreno	Diésel	12	
		Gasolina	8	
	Automóvil	Diésel	11	
		Gasolina	16	

Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA

Por otra parte, respecto de la asignación de las emisiones a las categorías del INGEI, esta se realizó siguiendo los criterios de la siguiente tabla.

Tabla 9-18. Homologación por tipo de vehículo

Vehículo (BNE)	Categoría INGEI	Nota
Vehículo pasajero	Automóviles de pasajeros con catalizadores tridireccionales	Vehículo con normativa
	Automóviles de pasajeros sin catalizadores tridireccionales	Vehículo sin normativa
Vehículo comercial	Camiones para servicio ligero con catalizadores tridireccionales	Vehículo con normativa
	Camiones para servicio ligero sin catalizadores tridireccionales	Vehículo sin normativa
Buses	Camiones para servicio pesado y autobuses	Se incluye la suma de los dos tipos de vehículos
Camiones		

Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA

Resto de la categoría

La estimación de emisiones de las otras categorías de Transporte se realizó utilizando el consumo energético como nivel de actividad y un factor de emisión según combustible sin aplicar la consideración de diferencia tecnológica.

9.2.3.4 Otros sectores (1.A.4)

La estimación de emisiones de esta categoría se realizó considerando un nivel de actividad y un factor de emisión, diferenciando entre actividad y combustible. Al igual que con las actividades industriales, se contó con consumos por autoproducción en esta categoría. Estos consumos fueron restados de los consumos finales y estimados con los factores de emisión correspondientes a las emisiones por autoproducción. Los consumos restados y la categoría afectada se presentan en la Tabla 9-19.

Tabla 9-19 Consumos energéticos (TJ) por autoproducción según categoría INGEI, serie 1990 – 2022

Año	1.A.4.c.iii. Pesca (combustión móvil)	
	Gas / Diésel oil	Fuelóleo residual
1990	382,4	0,0
1991	140,7	0,0
1992	110,8	0,0
1993	92,1	0,0
1994	116,0	0,0
1995	121,7	0,0
1996	104,3	0,0
1997	154,9	0,0
1998	157,6	0,0
1999	284,0	0,0
2000	235,3	-
2001	189,4	-
2002	217,8	-
2003	113,3	-
2004	185,8	-
2005	221,2	-
2006	101,5	-
2007	18,8	-
2008	356,5	-
2009	210,7	-
2010	240,6	-
2011	142,2	0,0
2012	288,9	-

Año	1.A.4.c.iii. Pesca (combustión móvil)	
	Gas / Diésel oil	Fuelóleo residual
2013	178,8	-
2014	118,6	-
2015	105,1	-
2016	140,6	-
2017	113,4	-
2018	32,0	-
2019	60,5	-
2020	23,2	-
2021	324,0	-
2022	467,6	-

Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA
Valores igual a 0 representan valores menores a 0,5 Tj

9.2.4 Factores de emisión aplicados en la categoría

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

Para la estimación de emisiones de la categoría Industrias de la energía se utilizaron factores de emisión Tier 1 de las guías de elaboración de inventarios de EMEP/EEA del 2019¹⁰⁰. Debido a que la mayoría de los consumos se encuentran en la categoría Producción de electricidad y calor como actividad principal, se optó por utilizar los factores de emisión disponibles para esa categoría, excepto para las emisiones provenientes del gas de refinería, en la cual se contó con un factor de emisión específico. Por otra parte, también se agregaron los consumos asociados a autoproducción de energía, considerando factores de emisión por generación de electricidad.

A continuación, se presentan los factores de emisión por combustible utilizados en la categoría, como también la homologación, en relación con el tipo de combustible que se consideró en la estimación.

Tabla 9-20. Factores de emisiones para Industrias de la energía

Categoría	Combustible	kg (CN)/TJ	Referencia	Nota
1.A.1. Industrias de la energía	Queroseno para motor a reacción	0,27	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factors (1.A.1.a, Table 3-6)	Como gas oil
	Otro queroseno	0,27	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factors (1.A.1.a, Table 3-6)	Como gas oil
	Gas / Diésel oil	0,27	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factors (1.A.1.a, Table 3-6)	Como gas oil
	Fuelóleo residual	1,08	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factors (1.A.1.a, Table 3-5)	Como heavy fuel oil
	Gases licuados de petróleo	0,02	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factors (1.A.1.a, Table 3-4)	Como gaseous fuels
	Nafta	0,27	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factors (1.A.1.a, Table 3-6)	Como gas oil
	Otro carbón bituminoso	0,07	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factors (1.A.1.a, Table 3-2)	Como hard coal
	Gas natural	0,02	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factors (1.A.1.a, Table 3-4)	Como gaseous fuels
	Madera y desechos de madera	4,39	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factors (1.A.1.a, Table 3-7)	Como biomass
	Otro biogás	0,02	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factors (1.A.1.a, Table 3-4)	Como gaseous fuels

¹⁰⁰ <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2019>

Categoría	Combustible	kg (CN)/TJ	Referencia	Nota
	Coque de Petróleo	0,07	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factors (1.A.1.a, Table 3-2)	Como hard coal
	Gasolina para motor	0,27	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factors (1.A.1.a, Table 3-6)	Como gas oil
	Gas de refinería	0,16	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factors (1.A.1.b, Table 4-2)	Como refinery gas
	Gas de fábrica de gas	0,02	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factors (1.A.1.a, Table 3-4)	Como gaseous fuels
	Alquitrán	1,08	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factors (1.A.1.a, Table 3-5)	Como heavy fuel oil
	Gas de alto horno	0,02	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factors (1.A.1.a, Table 3-4)	Como gaseous fuels

Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA

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

Para la estimación de emisiones de la categoría Industrias manufactureras y de la construcción se utilizaron factores de emisión Tier 1 correspondientes a las guías de elaboración de inventarios de EMEP/EEA del 2019. A continuación, se presentan los factores utilizados.

Tabla 9-21. Factores de emisión para Industrias manufactureras y de la construcción

Categoría	Combustible	Kg (CN)/TJ	Referencia	Nota
1.A.2. Industrias manufactureras y de la construcción	Otro queroseno	11,20	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.2, Table 3-4)	Como liquid fuels
	Gas / Diésel oil	11,20	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.2, Table 3-4)	Como liquid fuels
	Fuelóleo residual	11,20	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor 1.A.2, Table 3-4)	Como liquid fuels
	Gases licuados de petróleo	0,03	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.2, Table 3-3)	Como gaseous fuels
	Otro carbón bituminoso	6,90	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.2, Table 3-2)	Como solid fuels
	Coque para horno de coque y coque de lignito	6,90	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.2, Table 3-2)	Como solid fuels
	Gas de fábrica de gas	0,03	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.2, Table 3-3)	Como gaseous fuels
	Gas de alto horno	0,03	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.2, Table 3-3)	Como gaseous fuels
	Gas natural	0,03	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.2, Table 3-3)	Como gaseous fuels
	Madera y desechos de madera	39,20	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.2, Table 3-5)	Como biomass
	Gasolina para motor	11,20	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.2, Table 3-4)	Como liquid fuels
	Gas de refinería	0,03	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.2, Table 3-3)	Como gaseous fuels
	Otros productos del petróleo	11,20	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.2, Table 3-4)	Como liquid fuels
	Nafta	11,20	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.2, Table 3-4)	Como liquid fuels
	Queroseno para motor a reacción	11,20	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.2, Table 3-4)	Como liquid fuels
	Coque de Petróleo	11,20	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.2, Table 3-4)	Como liquid fuels
	Gasolina para la aviación	11,20	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.2, Table 3-4)	Como liquid fuels
	Otro biogás	0,03	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.2, Table 3-3)	Como gaseous fuels

Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA

La estimación de emisiones de la MFR se realizó diferenciando las maquinarias por tipo de normativa, excepto en las maquinarias de la gran minería del cobre. A continuación, se presentan los factores utilizados.

Tabla 9-22. Factores de emisión para maquinaria fuera de ruta

Categoría	Actividad	Tecnología	g (CN)/t (diésel)	Referencia
MFR	Agrícola-Forestal, Construcción, Industrial, Minería	< 1981	3.414	EMEP/EEA (2019) Tier 2 emission factors (1.A.4, Table 3-2, 1.A.2.g.vii and 1.A.4.a.ii)
		1981-1990	2.369	EMEP/EEA (2019) Tier 2 emission factors (1.A.4, Table 3-2, 1.A.2.g.vii and 1.A.4.a.ii)
		Stage I	800	EMEP/EEA (2019) Tier 2 emission factors (1.A.4, Table 3-2, 1.A.2.g.vii and 1.A.4.a.ii)
		Stage II	825	EMEP/EEA (2019) Tier 2 emission factors (1.A.4, Table 3-2, 1.A.2.g.vii and 1.A.4.a.ii)
		Stage IIIA	758	EMEP/EEA (2019) Tier 2 emission factors (1.A.4, Table 3-2, 1.A.2.g.vii and 1.A.4.a.ii)
	Gran minería del cobre	-	1.306	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.4, Table 3-1, 1.A.2.g.vii and 1.A.4.a.ii)

Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA

9.2.4.3 Transporte (1.A.3)

Para la estimación de emisiones de la categoría Transporte se consideraron diferentes factores de emisión según la tecnología de los vehículos. Para el Transporte terrestre se consideraron los siguientes factores de emisión.

Tabla 9-23. Factores de emisión para Transporte Terrestre

Vehículo	Normativa	g (MP)/km	%CN	Referencia
Automóvil - Diésel	Sin norma	0,221	55%	EMEP/EEA 1.A.3.b.i 2019 Table 3-18
	Euro 1	0,084	70%	
	Euro 2	0,055	80%	
	Euro 3	0,039	85%	EMEP/EEA 1.A.3.b.i 2019 Table 3-92
	Euro 4	0,031	87%	
	Euro 5	0,002	10%	
Automóvil – Gasolina	Sin norma	0,002	30%	EMEP/EEA 1.A.3.b.i 2019 Table 3-18
	Euro 1	0,002	25%	
	Euro 2	0,002	25%	
	Euro 3	0,001	15%	EMEP/EEA 1.A.3.b.i 2019 Table 3-92
	Euro 4	0,001	15%	
	Euro 5	0,001	15%	
Camión ligero – Diésel	Sin norma	0,356	55%	EMEP/EEA 1.A.3.b.i 2019 Table 3-20
	Euro 1	0,117	70%	
	Euro 2	0,117	80%	
	Euro 3	0,078	85%	EMEP/EEA 1.A.3.b.i 2019 Table 3-92
	Euro 4	0,041	87%	
	Euro 5	0,001	10%	
Camión ligero - Gasolina	Sin norma	0,002	30%	EMEP/EEA 1.A.3.b.i 2019 Table 3-20
	Euro 1	0,002	25%	
	Euro 2	0,002	25%	
	Euro 3	0,001	15%	EMEP/EEA 1.A.3.b.i 2019 Table 3-92
	Euro 4	0,001	15%	
	Euro 5	0,001	15%	
Buses	Sin norma	0,470	50%	EMEP/EEA 1.A.3.b.i 2019 Table 3-24
	Euro 1	0,362	65%	
	Euro 2	0,165	65%	
	Euro 3	0,178	70%	(Como <i>coaches standar</i>)
	Euro 4	0,035	75%	EMEP/EEA 1.A.3.b.i 2019 Table 3-92
	Euro 5	0,035	75%	
Camiones	Sin norma	0,418	50%	EMEP/EEA 1.A.3.b.i 2019 Table 3-22
	Euro 1	0,297	65%	
	Euro 2	0,155	65%	
	Euro 3	0,130	70%	(Como 16t – 32t)
	Euro 4	0,024	75%	EMEP/EEA 1.A.3.b.i 2019 Table 3-92
	Euro 5	0,024	75%	

Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA

Para el resto del transporte se consideraron los siguientes factores de emisión.

Tabla 9-24. Factores de emisión para el resto de Transporte

Categoría	Combustible	kg (CN)/TJ	Referencia
Motocicletas	Gasolina para motor	5,43	EMEP/EEA 1.A.3.b.i 2019 Table 3-6
			EMEP/EEA 1.A.3.b.i 2019 Table 3-11
Aviación de cabotaje	Gasolina para motor	0,02	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.3.b, Table 3-6; 3-11)
	Gasolina para la aviación	2,21	Bond, et al. 2004 Table 7
	Queroseno para motor a reacción	2,27	Bond, et al. 2004 Table 7
	Otro queroseno	2,27	Bond, et al. 2004 Table 7
	Gas / Diésel oil	11,49	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.3.b, Table 3-6; 3-11)
	Fuelóleo residual	11,49	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.3.b, Table 3-6; 3-11)
	Gases licuados de petróleo	0,08	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.4, Table 3-4)
	Gas natural	0,08	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.4, Table 3-4)
Ferrocarriles	Gasolina para motor	0,02	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.3.b, Table 3-6; 3-11)

Categoría	Combustible	kg (CN)/TJ	Referencia
	Gas / Diésel oil	20,54	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.3.c, Table 3-1)
	Fuelóleo residual	11,49	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.3.b, Table 3-6; 3-11)
	Gases licuados de petróleo	0,08	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.4, Table 3-4)
	Otro carbón bituminoso	25,47	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.4, Table 3-3)
	Gas de fábrica de gas	0,08	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.4, Table 3-4)
Navegación marítima y fluvial nacional	Gasolina para motor	10,60	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.3.d, Table 3-3)
	Queroseno para motor a reacción	2,21	Bond, et al. 2004 Table 7
	Otro queroseno	0,08	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.4, Table 3-4)
	Gas / Diésel oil	10,01	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.3.d, Table 3-2)
	Fuelóleo residual	16,09	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.3.d, Table 3-1)
	Gases licuados de petróleo	0,08	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.4, Table 3-4)
	Otro carbón bituminoso	25,47	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.4, Table 3-3)
	Gas natural	0,08	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.4, Table 3-4)

Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA

Las emisiones producto de combustibles gaseosos como gas licuado de petróleo y gas natural no fueron consideradas, debido a la baja emisión de partículas que generan.

9.2.4.4 Otros sectores (1.A.4)

Para la estimación de emisiones se consideraron los factores de emisión propuestos por las guías de elaboración de inventarios de EMEP/EEA del 2019 y para la quema de leña en la categoría residencial se consideró un factor de emisión local para MP_{2,5} (Álamos et al., 2022) y una fracción de CN proveniente de las guías antes mencionadas. A continuación, se presentan los factores utilizados.

Tabla 9-25. Factores de emisión para Otros sectores

Categoría	Combustible	kg (CN)/TJ	Referencia
1.A.4.a. Comercial / Institucional	Gasolina para la aviación	10,10	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.4.a, Table 3.9)
	Otro queroseno	10,10	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.4.a, Table 3.9)
	Gas / Diésel oil	10,10	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.4.a, Table 3.9)
	Fuelóleo residual	10,10	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.4.a, Table 3.9)
	Gases licuados de petróleo	0,03	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.4.a, Table 3.8)
	Otro carbón bituminoso	6,90	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.4.a, Table 3.7)
	Gas de fábrica de gas	0,03	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.4.a, Table 3.8)
	Gas natural	0,03	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.4.a, Table 3.10)
	Madera y desechos de madera	44,80	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.4.a, Table 3.8)
	Otro biogás	0,03	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.4.a, Table 3.8)
1.A.4.b. Residencial	Otro queroseno	0,16	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.4.b, Table 3.5)
	Gas / Diésel oil	0,16	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.4.b, Table 3.5)
	Fuelóleo residual	0,16	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.4.b, Table 3.5)
	Gases licuados de petróleo	0,06	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.4.b, Table 3.4)
	Otro carbón bituminoso	25,50	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.4.b, Table 3.3)
	Gas de fábrica de gas	0,06	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.4.b, Table 3.4)
	Gas natural	0,06	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.4.b, Table 3.4)
	Madera y desechos de madera	112,43	Álamos et al. (2022) considerando el factor de emisiones de MP _{2,5} promedio y una fracción del 10% de CN

Categoría	Combustible	kg (CN)/TJ	Referencia
	Otro biogás	0,06	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.4.b, Table 3.4)
1.A.4.c.ii. Vehículo todo terreno y otra maquinaria	Gasolina para motor	0,18	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor Non road mobile machinery (1.A.4.c.ii, Table 3.1)-Gasoline: four-stroke
	Gas / Diésel oil	14,40	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor Non road mobile machinery (1.A.4.c.ii, Table 3.1)-Forestry
1.A.4.c.iii. Pesca (combustión móvil)	Gasolina para motor	0,18	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor Non road mobile machinery (1.A.4.c.ii, Table 3.1)-Gasoline: four-stroke
	Otro queroseno	10,10	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.4.a, Table 3.9)
	Gas / Diésel oil	10,00	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (Table 3-2 Tier 1 emission factors for ships using marine diesel oil/marine gas oil)
	Fuelóleo residual	10,00	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (Table 3-2 Tier 1 emission factors for ships using marine diesel oil/marine gas oil)
	Gases licuados de petróleo	0,03	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.4.a, Table 3.8)
	Otro carbón bituminoso	6,90	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.4.a, Table 3.7)
	Gas de fábrica de gas	0,03	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.4.a, Table 3.8)
	Gas natural	0,03	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.4.a, Table 3.8)
	Madera y desechos de madera	44,80	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.4.a, Table 3.8)

Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA

9.2.5 Procedimiento de garantía y control de calidad y verificación

No se realizaron procesos de garantía y control de calidad ni de verificación para ninguna de las categorías.

9.2.6 Nuevos cálculos

En este ciclo de actualización se mejoraron las estadísticas del consumo de leña residencial para la calefacción de los hogares, coincidiendo estadísticas del sector UTCTUS con el sector Energía. Este cambio resultó en un aumento de aproximadamente el 20% del consumo de leña en casi todo el periodo, lo que, a su vez, se tradujo en un aumento de las emisiones de carbono negro. En la Figura 9-10 se puede observar la diferencia sistemática en toda la serie de tiempo. Otros ajustes en los datos de actividad fueron realizados, pero estos no conllevan cambios considerables en el total nacional.

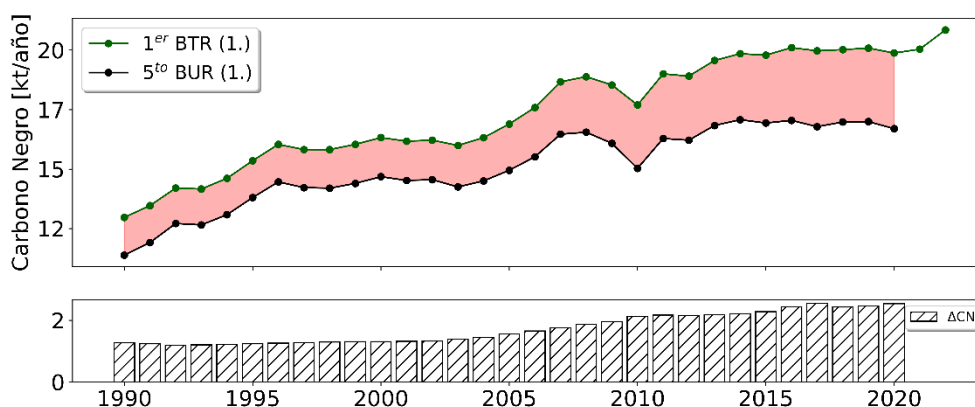


Figura 9-10. 1. Energía: comparación entre emisiones de CN (kt) del INCN 1er IBT (serie 1990-2022) e INCN 5to IBA (serie 1990-2020)

Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA

9.2.7 Mejoras planificadas para la categoría

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

Considerando la baja participación de esta categoría, no se consideraron planes de mejora.

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

Para esta categoría se considera necesario trabajar en las siguientes mejoras en los próximos inventarios.

- Verificar los niveles de emisiones asociados a la categoría Pulpa, papel e imprenta.
- Verificar los niveles de emisiones asociados a la MFR, particularmente los asociados a la gran minería del cobre.

9.2.7.3 Transporte (1.A.3)

Para esta categoría se considera necesario trabajar en las siguientes mejoras en los próximos inventarios.

- Estimación de emisiones desde el nivel regional al nacional.
- Comparar la serie histórica con otras estimaciones.

9.2.7.4 Otros sectores (1.A.4)

Para esta categoría se considera necesario trabajar en las siguientes mejoras en los próximos inventarios.

- Verificar niveles de actividad contra otras fuentes.
- Compara emisiones con otras fuentes de información.
- Evaluar la factibilidad de estimar las emisiones de la categoría residencial con un nivel de estimación más alto.

9.3 Sector Procesos Industriales y Uso de Productos (2)

9.3.1 Descripción y tendencia de las emisiones de carbono negro

El sector Procesos Industriales y uso de productos (IPPU) es el sector con menos de emisiones de CN a nivel nacional con un 0,04% de las emisiones totales en 2022, equivalentes a 0,01 kt de CN. Esto representó un aumento del 24,9% respecto de 1990 y del 1,5% respecto del 2020 (Figura 9-11). Respecto de la partición de emisiones en 2022 se tiene que un 82,1% de las emisiones provienen de la categoría Industria de los minerales (2.A) y un 17,9% restante de la categoría Industria de los metales (2.C).

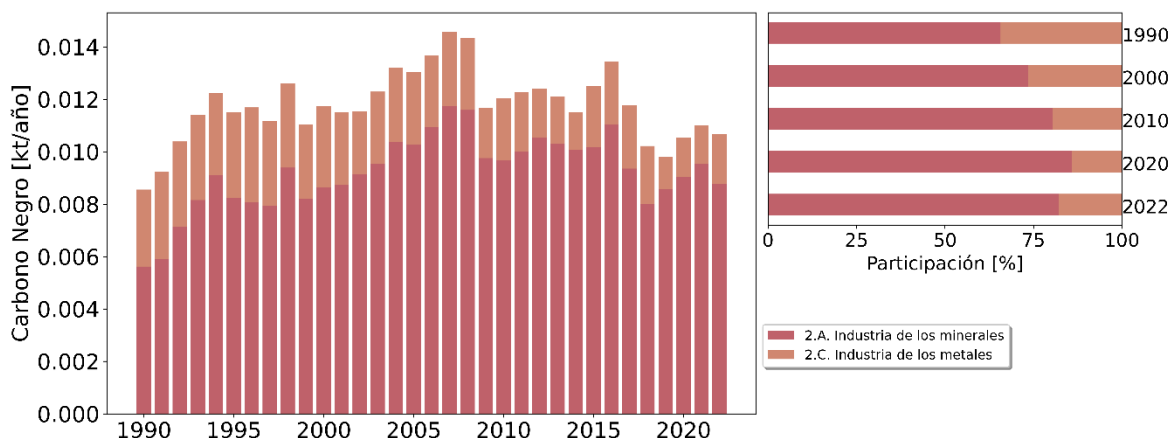


Figura 9-11. Tendencia de las emisiones de CN para IPPU.

Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA

9.3.1.1 Industria de los minerales (2.A)

Dentro del sector IPPU la categoría Industria de los minerales es la mayor emisora, con 0,009 kt de CN en 2022. Estos niveles de CN representaron un aumento del 56,2% respecto de 1990 y una disminución del 2,9% respecto del 2020. Las emisiones contabilizadas en esta categoría para el año 2022 corresponden principalmente a las actividades de producción de cemento (74,0 %), de cal (24,3%) y de vidrio (1,7%). LA categoría de la producción de cemento ha sufrido un incremento de un 25,9% desde 1990 y una disminución de un 3,3% desde el 2020.

9.3.1.2 Industria de los metales (2.C)

La categoría Industria de los metales es segunda y última categoría del sector IPPU. Las emisiones alcanzaron las 0,002 kt de CN en 2022, lo que representó una disminución del 35,0% respecto de 1990 y un aumento de 28,7% respecto del 2020. Por otra parte, las emisiones contabilizadas en esta categoría consideran las actividades de Producción de hierro y acero y la Producción de ferroaleaciones. Cabe destacar que solo se cuenta con una estimación de producción de ferroaleaciones hasta el 2001, los años posteriores no cuentan con niveles de actividad de esta categoría; por lo tanto, la categoría que contribuye exclusivamente a la emisión de CN en industria de los metales (2.C.) es la Producción de hierro y acero, la cual ha experimentado una disminución de un 15,9 % desde 1990 y un incremento de 28,7% desde 2020.

9.3.2 Aspectos metodológicos de la categoría

9.3.2.1 Industria de los minerales (2.A) e Industria de los metales (2.C)

La estimación de emisiones del sector IPPU se realizó mediante una estimación simple, la que considera la cantidad de producción de materiales y un factor de emisión para cada producto. A continuación, se presenta la ecuación utilizada para calcular las emisiones del sector IPPU.

Ecuación 9-10. Emisiones de CN producto de la fabricación de productos en IPPU

$$\sum E = NA_i * FE_i$$

Donde:

- E: Emisiones de CN.
- NA: Nivel de actividad (producción de materiales en toneladas).
- FE: Factor de emisión (g de CN/t de material).
- i: Actividad

Fuente: Basado en EMEP/EEA (2019)

9.3.3 Datos de actividad de la categoría

9.3.3.1 Industria de los minerales (2.A) e Industria de los metales (2.C)

Los datos de actividad utilizados en la estimación de emisiones de CN para IPPU son los mismos que se aplicaron en la estimación y levantamiento de emisiones GEI del Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero; que se relacionan con la producción.

9.3.4 Factores de emisión aplicados en la categoría

9.3.4.1 Industria de los minerales (2.A) e Industria de los metales (2.C)

Para la estimación de emisiones del sector IPPU se utilizó la fracción de CN dentro de las emisiones de partículas. En este caso se consideró un factor de emisión por tipo de material producido. A continuación, se presentan los factores utilizados en la estimación de emisiones.

Tabla 9-26. Factores de emisión para el sector IPPU

Categoría	Actividad	g (MP _{2.5}) /t (material)	% CN	g (CN) / t	Referencia
2.A. Industria de los minerales	Producción de cemento	130	3%	3,90	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (2.A.1, Table 3-1)
	Producción de cal	700	0,46%	3,22	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (2.A.2, Table 3-1)
	Producción de vidrio	240	0,06%	0,15	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (2.A.3, Table 3-1)
2.C. Industrial de los metales	Producción de hierro y acero	140	0,36%	0,50	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (2.C.1, Table 3-1)
	Producción de ferroaleaciones	600	10%	60	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (2.C.2, Table 3-1)

Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA

9.3.5 Procedimiento de garantía y control de calidad y verificación

No se realizaron procesos de garantía y control de calidad ni de verificación.

9.3.6 Nuevos cálculos

Durante este ciclo de actualización no se realizaron nuevos cálculos para ninguna de las categorías.

9.3.7 Mejoras planificadas para la categoría

Considerando la baja participación de este sector, no se consideraron planes de mejora.

9.4 Sector Agricultura (3)

9.4.1 Descripción y tendencia de las emisiones de carbono negro

9.4.1.1 Quema de residuos agrícola en el campo (CRT 3.F)

El sector Agricultura es el tercer sector más importante en cuanto a emisiones de CN, con el 2,9% de las emisiones en 2022. En el mismo año, las emisiones de CN llegaron a las 0,72 kt, lo que representó una disminución del 31,8 % respecto de 1990 y de un 7 % respecto del 2020 (Figura 9-12). Estas disminuciones son constantes durante toda la serie y provienen únicamente de la categoría Quema de residuos agrícola en el campo (3.F.).

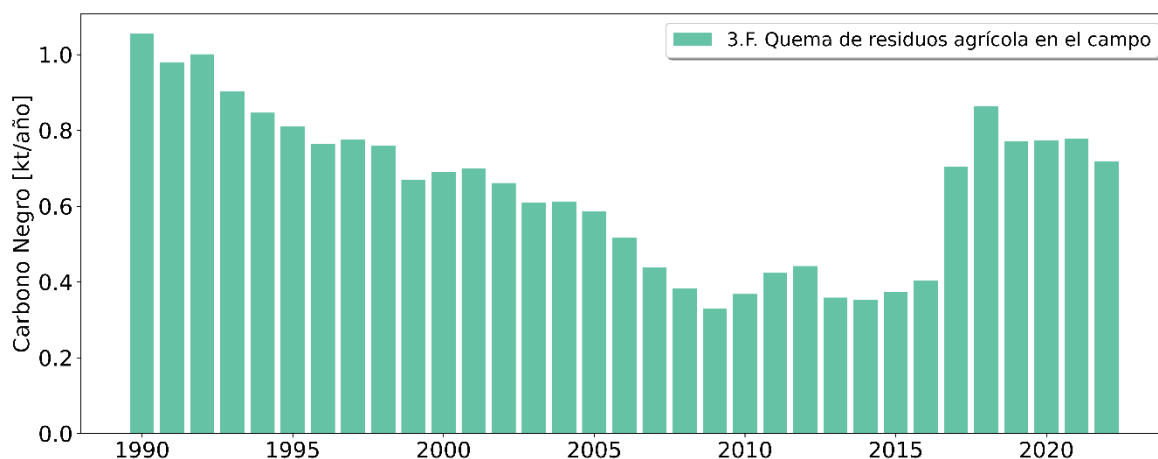


Figura 9-12. Tendencia de las emisiones de CN para Agricultura

Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA

Para la quema de residuos agrícolas se contabiliza la materia seca total quemada en la categoría. En este caso se ve una disminución sustantiva de las emisiones, de 1,05 kt de CN en 1990 a 0,72 kt de CN en 2022. A lo largo de la serie se ve una disminución sostenida, salvo en algunos años en donde la cantidad de quema de residuos aumentan respecto del año anterior para luego volver a disminuir. Las emisiones contabilizadas en este sector consideran la quema de Cereales y otros cultivos (3.F.1) y Frutícolas (3.F.2); la primera contribuyó en un 84 % al total de emisiones de CN de esta categoría, mientras la segunda contribuyó con un 15,9 %. Para su estimación se utilizó el mismo factor de emisión, por lo que fueron agrupadas bajo la categoría 3.F.

9.4.2 Aspectos metodológicos de la categoría

9.4.2.1 Quema de residuos agrícola en el campo (CRT 3.F)

La estimación de emisiones del sector agricultura se realizó mediante una estimación simple, la que considera la cantidad de materia seca quemada y un factor de emisión. A continuación, se presentan la ecuación utilizada.

Ecuación 9-11. Emisiones de CN producto de la quema de residuos agrícolas en Agricultura

$$E = MS * FE$$

Donde:

- E: Emisiones de CN.
- MS: Materia seca quemada.
- FE: Factor de emisión (kg de CN/t MS).

Fuente: Basado en EMEP/EEA (2019)

9.4.3 Datos de actividad de la categoría

9.4.3.1 Quema de residuos agrícola en el campo (CRT 3.F)

Se consideraron las hectáreas y materia seca quemada reportada en la categoría 3.F. del INGEI.

9.4.4 Factores de emisión aplicados en la categoría

9.4.4.1 Quema de residuos agrícola en el campo (CRT 3.F)

Para la estimación de emisiones del sector Agricultura se utilizó un factor de emisión directo de CN. Este factor de emisión fue utilizado para estimar las emisiones de todas las categorías dentro del sector. A continuación, se presenta el factor utilizado.

Tabla 9-27. Factor de emisión para el sector Agricultura

Categoría	Actividad	Kg (CN)/t (materia seca)	Referencia
3.F. Quema de residuos agrícolas en el campo	Cereales y otros cultivos	0,5	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factors (3.F, Table 3-1)
	Frutícolas	0,5	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factors (3.F, Table 3-1)

Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA

9.4.5 Procedimiento de garantía y control de calidad y verificación

No se realizaron procesos de garantía y control de calidad ni de verificación.

9.4.6 Nuevos cálculos

Durante este ciclo de actualización no se realizaron nuevos cálculos para ninguna de las categorías.

9.4.7 Mejoras planificadas para la categoría

No se consideraron mejoras para este sector.

9.5 Sector Uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura (4)

9.5.1 Descripción y tendencia de las emisiones de carbono negro

El sector Uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura (UTCUTS) es el segundo mayor emisor a nivel nacional. Las emisiones contabilizadas en este sector corresponden a las producidas por incendios forestales y quemas controladas, las que en 2022 representaron el 11,3% de las emisiones nacionales, con 2,8 kt de CN, aumentando en 212 % respecto de 1990 y aumentando en un 16,3 % respecto del 2020 (Figura 9-13).

Al observar la serie, no se aprecia una tendencia clara de las emisiones de CN debido a que los eventos de incendios forestales no son controlados; ejemplo de ello son los años 1998, 1999, 2002, 2015 y 2017 donde las emisiones de CN superaron las 2,5 kt, especialmente en 2017, año en el cual cerca de 570.000 ha fueron afectadas por incendios que, en términos de emisiones, se tradujo en 13,9 kt de CN.

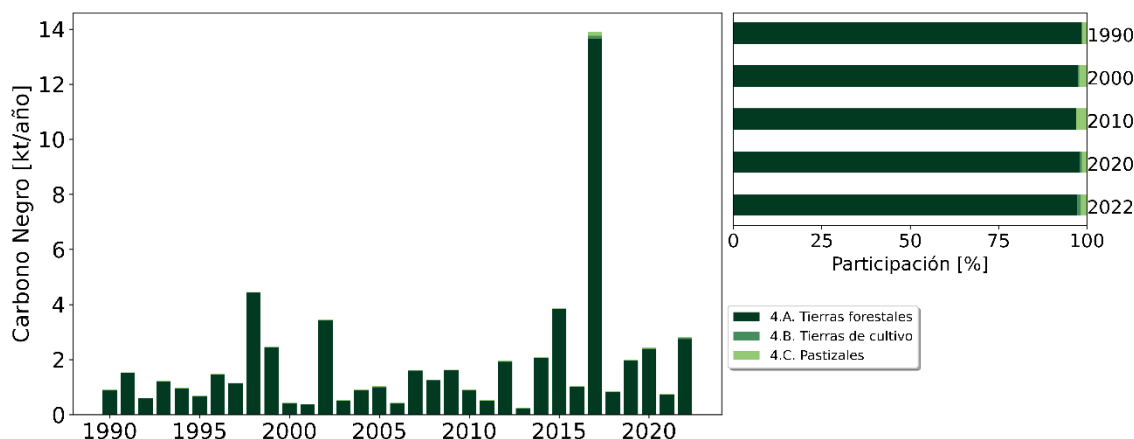


Figura 9-13. Tendencia de las emisiones de CN para UTCUTS.

Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA

9.5.1.1 Tierras forestales (CRT 4.A)

Las emisiones asociadas a Tierras forestales representan más del 97,0 % de las emisiones totales de CN del sector UTCUTS durante toda la serie. Estas emisiones consideran incendios y quemas controladas, contempladas dentro de la subcategoría de Pérdida anual de biomasa (4.A.1.b.) las que se dividen en: Bosque nativo, Plantaciones forestales, Otras plantaciones y Quema controlada de residuos forestales. La participación de cada una de estas varía según donde ocurran los incendios, por lo que no hay una tendencia clara de que sector predomina sobre los otros. En 2022, las emisiones alcanzaron las 2,8 kt de CN, lo que representó un aumento de un 212% respecto de 1990 y un aumento del 16,3% con respecto al 2020.

Cabe destacar que, en 2017, las emisiones de esta categoría alcanzan las 13,7 kt de CN, siendo el máximo de toda la serie y con un nivel comparable a todo el sector energía. De esta manera, en 2017, se estima que las emisiones de CN se duplicaron debido a la magnitud los incendios que afectaron Chile.

9.5.1.2 Tierras de cultivo (CRT 4.B)

Las Tierras de cultivos son la categoría menos impactada por incendios y a su vez la menos emisora de CN del sector. En 2022, las emisiones de esta categoría representaron un 1,1 % de las emisiones del sector, con 0,03 kt de CN, lo que representó un aumento del 1.283% con respecto a 1990 y un aumento del 137 % respecto del 2020; dado únicamente por la subcategoría Tierras de cultivo que permanecen como tales (4.B.1.). Por otra parte, en 2017 las emisiones de esta categoría alcanzan su máximo con 0,11 kt de CN.

9.5.1.3 Pastizales (CRT 4.C)

La categoría Pastizales es la segunda mayor emisora del sector, con un 1,8% de las emisiones al 2022. En el mismo año, las emisiones alcanzaron las 0,05 kt de CN, lo que representó un aumento del 295 % respecto de 1990 y un aumento del 38,8 % respecto del 2020; dado exclusivamente por la subcategoría Pastizales que permanecen como tales (4.C.1). En 2017 las emisiones de CN alcanzaron su máximo, con 0,14 kt.

9.5.2 Aspectos metodológicos de la categoría

9.5.2.1 Tierras forestales (CRT 4.A), Tierras de cultivo (CRT 4.B) y Pastizales (CRT 4.C)

El cálculo de las emisiones del sector UTCUTS considera un nivel de actividad, un factor de emisión y otros factores que se detallan en la siguiente ecuación.

Ecuación 9-12. Emisiones de CN producto de la quema de biomasa en UTCUTS

$$\sum E = NA_i * BA_i * FC_i * FE_i$$

Donde:

- E: Emisiones de CN.
- NA: Nivel de actividad (hectáreas).
- BA: Biomasa aérea (t de biomasa/ha) o biomasa que puede quemarse.
- FC: Factor de combustión (porcentaje de biomasa quemada).
- FE: Factor de emisión (kg de CN/t de biomasa).
- i: Actividad.

Fuente: Basado en EMEP/EEA (2019)

9.5.3 Datos de actividad de la categoría

Se utilizaron las hectáreas afectadas por incendios reportadas en el INGEI.

9.5.4 Factores de emisión aplicados en la categoría

La estimación de emisiones del sector UTCUTS cuenta con diferentes niveles de detalle según la categoría estimada, particularmente para la categoría Tierras forestales, se cuenta con un factor de biomasa aérea por región. Para facilitar la lectura, solo se presentarán los factores de emisión y los otros factores no separados a nivel regional. A continuación, se presentan los factores de emisión para cada categoría y otros factores utilizados en la estimación de emisiones.

9.5.4.1 Tierras forestales (CRT 4.A)

Tabla 9-28. Factores de emisión y otros factores para el sector UTCUTS

Categoría	Actividad	BA (t/ha)	FC (%)	kg (CN)/t (biomasa)	Referencia otros factores	Referencia FE
4.A. Tierras forestales	Bosque nativo	División regional	0,47	0,56	INGEI	Akagi et al. 2011
	Plantaciones forestales	División regional	0,47	0,56	INGEI	Akagi et al. 2011
	Otras	División regional	0,5	0,75	INGEI	Akagi et al. 2011
	Quema controlada de residuos forestales	División regional	0,47	0,75	INGEI	Akagi et al. 2011

9.5.4.2 Tierras de cultivo (CRT 4.B)

Tabla 9-29. Factores de emisión y otros factores para el sector UTCUTS

Categoría	Actividad	BA (t/ha)	FC (%)	kg (CN)/t (biomasa)	Referencia otros factores	Referencia FE
4.B. Tierras de cultivo	Incendios en tierras de cultivo	0,7	0,7	0,75	INGEI	Akagi et al. 2011

9.5.4.3 Pastizales (CRT 4.C)

Tabla 9-30. Factores de emisión y otros factores para el sector UTCUTS

Categoría	Actividad	BA (t/ha)	FC (%)	kg (CN)/t (biomasa)	Referencia otros factores	Referencia FE
4.C Pastizales	Matorrales	División regional	0,72	0,37	INGEI	Akagi et al. 2011
	Pastizales	División regional	0,86	0,91	INGEI	Akagi et al. 2011

Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA

9.5.5 Procedimiento de garantía y control de calidad y verificación

No se realizaron procesos de garantía y control de calidad ni de verificación.

9.5.6 Nuevos cálculos

Durante este ciclo de actualización no se realizaron nuevos cálculos para ninguna de las categorías.

9.5.7 Mejoras planificadas para la categoría

No se consideraron mejoras para este sector.

9.6 Sector Residuos (5)

9.6.1 Descripción y tendencia de las emisiones de carbono negro

Las emisiones de CN del sector Residuos provienen únicamente de la incineración de residuos, las que en 2022 correspondieron al 2,0% de las emisiones nacionales de CN, alcanzando las 0,50 kt de CN, incrementándose en un 119 % desde 1990 y en un 14,9 % desde 2020 y se deben casi exclusivamente a la subcategoría de Incineración abierta de residuos (5.C.2), cuya contribución supera el 99% en toda la serie histórica. Los aumentos que muestra la serie histórica entre 1990 y 2022 se deben mayormente al incremento de población que impacta en la cantidad de residuos incinerados.

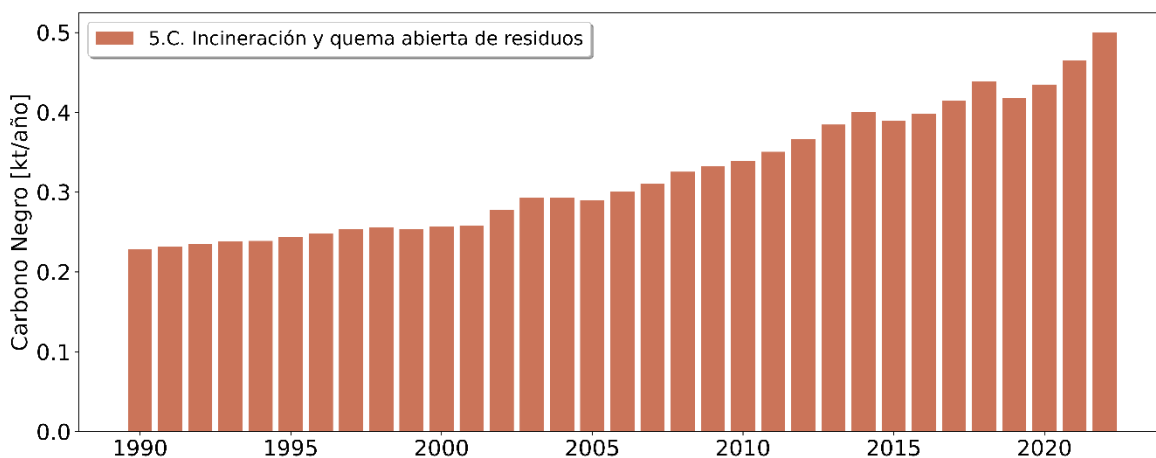


Figura 9-14 Tendencia de las emisiones de CN para Residuos.

Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA

9.6.1.1 Incineración y quema abierta de residuos (5.C.)

Las emisiones de CN del sector Residuos provienen en su totalidad de la incineración y quema abierta de residuos, entre los que se encuentran: Residuos hospitalarios, quema abierta de residuos municipales, incineración de residuos industriales sin fines energéticos e incineración de cadáveres. Para la quema abierta de residuos municipales se considera que el 43% de los residuos son quemados (materia no orgánica), mientras que el 57% restante solo se descompone (materia orgánica).

9.6.2 Aspectos metodológicos de la categoría

9.6.2.1 Incineración y quema abierta de residuos (5.C.)

El cálculo de las emisiones se realizó con una estimación simple, considerando el nivel de actividad y el factor de emisión acorde al tipo de residuo. A continuación, se presenta la ecuación utilizada.

Ecuación 9-13. Emisiones de CN producto de la incineración de residuos

$$\sum E = NA_i * FE_i$$

Donde:

- E: Emisiones de CN.
- NA: Nivel de actividad (toneladas de residuos).
- FE: Factor de emisión (kg de CN/t de residuos).
- i: Actividad.

Fuente: Basado en EMEP/EEA (2019)

9.6.3 Datos de actividad de la categoría

9.6.3.1 Incineración y quema abierta de residuos (5.C.)

Como la metodología de estimación de emisiones de CN de esta categoría considera el cálculo a partir de una fracción de las emisiones de partículas, los datos de actividad utilizados son los mismos que para la estimación de gases de efecto invernadero. Para la quema abierta de residuos municipales se considera que el 43% de los residuos son quemados (materia no orgánica), mientras que el 57% restante solo se descompone (materia orgánica).

9.6.4 Factores de emisión aplicados en la categoría

9.6.4.1 Incineración y quema abierta de residuos (5.C.)

Para la estimación de emisiones de CN se considera la fracción de éste dentro de las emisiones de partículas, excepto para las emisiones proveniente de los crematorios, para lo que se cuenta con un factor directo de CN. Los factores de emisión utilizadas en la estimación de emisiones del sector Residuos se presentan a continuación.

Tabla 9-31. Factores de emisión para el sector Residuos.

Categoría	Actividad	kg (MP _{2,5}) / t (residuos)	% CN	Kg (CN) / t (residuos)	Referencia
5.C. Incineración y quema abierta de residuos	Residuos hospitalarios	17,00*	2,3%	0,39	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factors (5.C.1.b.iii, Table 3-1)
	Crematorios			0,000002	3IBA
	Residuos industriales	0,004	3,5%	0,000140	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factors (5.C.1.b, Table 3-1)
	Residuos municipales	4,2	42%	2	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factors (5.C.2, Table 3-1)

Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA

*Se consideran el factor de emisión para el Total de Partículas Suspendidas (TSP, por su sigla en inglés)

9.6.5 Procedimiento de garantía y control de calidad y verificación

No se realizaron procesos de garantía y control de calidad ni de verificación.

9.6.6 Nuevos cálculos

Durante este ciclo de actualización no se realizaron nuevos cálculos para ninguna de las categorías.

9.6.7 Mejoras planificadas para la categoría

No se consideraron mejoras en este sector

9.7 Referencias

Alamos, N., Huneus, N., Opazo, M., Osses, M., Puja, S., Pantoja, N., Denier Van Der Gon, H., Schueftan, A., Reyes, R., & Calvo, R. (2022). High-resolution inventory of atmospheric emissions from transport, industrial, energy, mining and residential activities in Chile. *Earth System Science Data*, 14(1), 361–379. <https://doi.org/10.5194/essd-14-361-2022>

Bond, T. C., Doherty, S. J., Fahey, D. W., Forster, P. M., Berntsen, T., Deangelo, B. J., Flanner, M. G., Ghan, S., Kärcher, B., Koch, D., Kinne, S., Kondo, Y., Quinn, P. K., Sarofim, M. C., Schultz, M. G., Schulz, M., Venkataraman, C., Zhang, H., Zhang, S., ... Zender, C. S. (2013). Bounding the role of black carbon in the climate system: A scientific assessment. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 118(11), 5380–5552. <https://doi.org/10.1002/jgrd.50171>

Boucher, O., Claire, G., Hoose, C., & Andy, J. (2013). Clouds and Aerosols. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*.

Burnett, R., Chen, H., Szyszkowicz, M., Fann, N., Hubbell, B., Pope, C. A., Apte, J. S., Brauer, M., Cohen, A., Weichenthal, S., Coggins, J., Di, Q., Brunekreef, B., Frostad, J., Lim, S. S., Kan, H., Walker, K. D., Thurston, G. D., Hayes, R. B., ... Spadaro, J. v. (2018). Global estimates of mortality associated with longterm exposure to outdoor fine particulate matter. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 115(38), 9592–9597. <https://doi.org/10.1073/pnas.1803222115>

Huneus, N., Urquiza, A., Gayó, E., Osses, M., Arriagada, R., Valdés, M., Álamos, N., Amigo, C., Arrieta, D., Basoa, K., Billi, M., Blanco, G., Boisier, J. P., Calvo, R., Casielles, I., Castro, M., Chahuán, J., Christie, D., Cordero, L., ... Cortés, S. (2020). El aire que respiramos: pasado, presente y futuro – Contaminación atmosférica por MP_{2,5} en el centro y sur de Chile.

IPCC. (2021). *Climate Change 2021 The Physical Science Basis Summary for Policymakers Working Group I Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. In *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*.

MMA. (2015). *Contribución Nacional Tentativa De Chile (Indc) Para El Acuerdo Climático París 2015*. 27.

MMA. (2020). *Chile's Nationally Determined Contribution - Update 2020*.

Rowe, P. M., Cordero, R. R., Warren, S. G., Stewart, E., Doherty, S. J., Pankow, A., Schrempf, M., Casassa, G., Carrasco, J., Pizarro, J., MacDonell, S., Damiani, A., Lambert, F., Rondanelli, R., Huneus, N., Fernandez, F., & Neshyba, S. (2019). Black carbon and other light-absorbing impurities in snow in the Chilean Andes. *Scientific Reports*, 9(1), 4008. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-39312-0>

Szopa, S., Naik, V., Adhikary, B., Artaxo, P., Berntsen, T., Collins, W. D., Fuzzi, S., Gallardo, L., Kiendler Scharr, A., Klimont, Z., Liao, H., Unger, N., & Zanis, P. (2021). Short-Lived Climate Forcers. In *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, August, 73.

10 Inventarios regionales de gases de efecto invernadero

10.1 Introducción

Debido a la extensión de Chile, las distintas regiones políticas del país se diferencian en aspectos que van desde lo climático hasta lo económico y social. Estas diferencias pueden influir de manera local o regional en las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y forzantes climáticos de vida corta (FCVC), como el carbono negro (CN). Estas emisiones son contabilizadas y reportadas por el país en el Inventario Regional de Gases de Efecto Invernadero (IRGEI) y en el Inventario Regional de Carbono Negro (IRCN).

Tanto el IRGEI como el INCN toman como base los resultados obtenidos de la estimación de emisiones a nivel nacional y las distribuyen, para algunos sectores, según distintos indicadores de intensidad que se relacionan con la categoría emisora. De esta forma, la estimación de emisiones GEI y CN a nivel regional no conforma una nueva estimación, sino una asignación de las emisiones a nivel regional, manteniendo las categorías, los niveles de actividad y las metodologías de estimación respecto al INGEI. Si bien la distribución de estas emisiones se realiza considerando la ubicación de las fuentes emisoras, ésta no considera cadenas de producción o demandas energéticas, por lo que las características geográficas de cada región tienen influencia en las emisiones asignadas.

10.2 Aspectos metodológicos

Los inventarios regionales elaborados por el Ministerio del Medio Ambiente son una mirada regional de las emisiones estimadas a nivel nacional. Esto es, por una parte, la distribución de las emisiones estimadas con bases de datos nacionales y, por otra parte, la asignación de emisiones según la fuente de emisión. Por esto último, es importante notar que los inventarios regionales tienen un enfoque de Alcance 1, siguiendo los lineamientos del Protocolo Global para Inventarios de Emisión de Gases de Efecto Invernadero a Escala Comunitaria (GPC) del Greenhouse gas protocol (GHGP)¹⁰¹.

Como se menciona anteriormente, los inventarios no presentan nuevas estimaciones de emisiones o absorciones, sino que presentan una distribución de las estimaciones previas. La distribución de las emisiones se realiza de distintas maneras, de acuerdo con las distintas categorías. Cabe destacar que algunos sectores del inventario son estimados con datos de actividad y estadísticas regionales por lo que, para estos casos, el inventario nacional es la suma de los inventarios regionales. El resumen de las metodologías utilizadas en cada sector se presenta en la Tabla 10-1.

¹⁰¹<https://ghgprotocol.org/>

Tabla 10-1. Resumen de metodología utilizada para la regionalización de las emisiones.

Sector IRGEI	Descripción del sector	Método de regionalización
1. Energía	Contabiliza las emisiones por quema de combustibles con fines energéticos y la generación de emisiones por transporte, producción y almacenamiento de combustibles.	-Regionalización en base a indicadores económicos. -Desde el 2014 se cuenta con estadísticas de consumo de combustible a nivel regional, por lo que desde el 2014 en adelante se utilizan estas estadísticas provenientes del Ministerio de Energía de Chile.
2. IPPU	Contabiliza las emisiones generadas por el cambio fisicoquímico de materias primas en proceso industriales y las generadas directamente por el uso de productos.	-Las emisiones se distribuyen según las empresas emisoras, considerando la región en que operan y según su intensidad de producción. -Para las emisiones de gases fluorados se utilizan indicadores económicos según la actividad específica en la que se utiliza el gas y sociales como crecimiento poblacional.
3. Agricultura	Contabiliza las emisiones producto de las actividades agropecuarias y el uso de fertilizantes.	-En esta categoría se cuenta con las estimaciones a nivel regional.
4. UTCUTS	Contabiliza las emisiones y absorciones producto de los distintos tipos de tierras, suelos y plantaciones.	-En esta categoría se cuenta con las estimaciones a nivel regional.
5. Residuos	Contabiliza las emisiones provenientes de la generación y disposición de residuos de todas las actividades antropogénicas.	-En esta categoría se cuenta con las estimaciones a nivel regional.

Fuente: Equipo técnico coordinador

Los indicadores utilizados en la distribución de las emisiones varían dependiendo de la naturaleza de estas mismas. Dependiendo de la fuente emisora, actividad relativa a la producción u otro indicador relativo, las emisiones se distribuyen en todo el país. Aquí se presentan las fuentes de información que se utilizaron para cada una de las categorías que fueron estimadas a nivel nacional y luego distribuidas.

Tabla 10-2. Indicadores 1.A.1. Industrias de la Energía

Código IPCC	Categorías	Indicador	Fuentes
1.A.1.a.i.	Generación de electricidad	Generación por planta SIC y SING; Unidad de consumo; Mapa coordinador eléctrico nacional; Ajuste por autoproducción y acople con Balances regionales de energía	https://www.coordinador.cl/ http://energiaabierta.cl/visualizaciones/balances-de-energia/
1.A.1.b.	Refinación del petróleo	Crudo procesado por plantas ENAP	Informe estadístico SEC
1.A.1.c.	Manufactura de combustibles sólidos y otras industrias de la energía	Extracción de carbón por región	Anuarios Cochilco https://www.cochilco.cl/Paginas/Estadisticas/Publicaciones/Anuario.aspx

Tabla 10-3. Indicadores 1.A.2. Industrias manufactureras y de la construcción

Código IPCC	Categorías	Indicador	Fuentes
1.A.2.a.	Hierro y acero	Balances regionales de energía por combustible	http://energiaabierta.cl/visualizaciones/balances-de-energia/
1.A.2.b.	Metales no ferrosos	Extracción Minerales (TM) para cobre y no cobre e intensidad energética por región de acuerdo con el BNE regional desde 2014	Anuarios Cochilco https://www.cochilco.cl/Paginas/Estadisticas/Publicaciones/Anuario.aspx
1.A.2.c.	Sustancias químicas	Producción Metano y Etileno	http://energiaabierta.cl/visualizaciones/balances-de-energia/
1.A.2.d.	Pulpa, papel e imprenta	Capacidad de producción por planta de ODEPA y CORMA; e intensidad energética según Balances regionales de energía, Se suma autoproducción eléctrica	https://www.odepa.gob.cl/publicaciones/articulos/evolucion-de-la-produccion-de-celulosa-en-chile-1990-2006-2 https://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2018/01/celulosaFinal.pdf
1.A.2.e.	Procesamiento de alimentos, bebidas y tabaco	Se refiere a producción de azúcar, para lo que se utilizan las ha de remolacha y sumando aparte la autogeneración en planta Curicó	https://www.odepa.gob.cl/estadisticas-del-sector/estadisticas-productivas
1.A.2.f.	Minerales no metálicos	Producción cemento por industria por planta, de acuerdo con capacidad de planta instalada.	Producción empresas de memorias
1.A.2.i.	Minería (con excepción de combustibles) y cantería	Extracción Minerales (TM) para cobre y no cobre e intensidad energética por región de acuerdo al BNE regional desde 2014	Anuarios Cochilco https://www.cochilco.cl/Paginas/Estadisticas/Publicaciones/Anuario.aspx
1.A.2.m.	Industria no especificada	PIB por actividad económica por región, sumando industria manufacturera y construcción, Se comparó con BNE regional y coincide con la desagregación por PIB	Banco central

Tabla 10-4. Indicadores 1.A.3. Transporte

Código IPCC	Categorías	Indicador	Fuentes
1.A.3.a.ii.	Aviación de cabotaje	Pasajero-km, asignando según región de origen	Junta Aeronáutica Civil (JAC) http://www.jac.gob.cl/estadisticas/estadisticas-historicas/
1.A.3.b.	Transporte terrestre	Parque vehicular en circulación por tipo de vehículo por región multiplicado por km/año por región ajustado para acoplar con BNE regional 2014 - 2020, el que se elabora con venta de combustibles por región.	Vehículos INE https://www.ine.cl/estadisticas/economia/transporte-y-comunicaciones/permiso-de-circulacion Modelo STEP http://www.sectra.gob.cl/biblioteca/detalle1.asp?mfn=3236
1.A.3.c.	Ferrocarriles	PIB Minería e industria manufacturera	Banco central
1.A.3.d.ii.	Navegación marítima y fluvial nacional	TKM Marítimo cabotaje, asignación según origen, ajustado con intensidad de TJ/tkm utilizando datos del BNE regional 2014-2020	Distancia entre puertos Boletín Estadístico Marítimo (BEM) de Directemar https://www.directemar.cl/directemar/estadisticas-maritimas/boletin-estadistico-maritimo/3-cabotaje-2019
1.A.3.e.i.	Transporte por gasoductos	En base a los mapas de gasoductos	https://energiamaps.cne.cl/
1.A.3.e.ii.	Todo terreno	Parque vehicular en circulación por tipo de vehículo por región multiplicado por km/año por región, ajustada para acoplar con BNE regional 2014 - 2020, el que se elabora con venta de combustibles por región	Vehículos INE https://www.ine.cl/estadisticas/economia/transporte-y-comunicaciones/permiso-de-circulacion Modelo STEP http://www.sectra.gob.cl/biblioteca/detalle1.asp?mfn=3236

Tabla 10-5. Indicadores 1.A.4. Otros sectores

Código IPCC	Categorías	Indicador	Fuentes
1.A.4.a.	Comercial / Institucional	PIB Regional, Administración pública y comercios y hoteles	Banco central
1.A.4.b.	Residencial	Hogares ponderados por intensidad térmica de acuerdo con el BNE regional 2015-2016 con y sin biomasa	Hogares: Resultados Encuesta CASEN 2017; Estadísticos; Vivienda y entorno
1.A.4.c.ii.	Vehículo todo terreno y otra maquinaria	PIB sectorial agropecuario/silvícola y Pesca	Banco central
1.A.4.c.iii.	Pesca (combustión móvil)	PIB sectorial Pesca	Banco central

Tabla 10-6. Indicadores 1.B. Emisiones fugitivas

Código IPCC	Categorías	Indicador	Fuentes
1.B.1.	Combustibles sólidos	Extracción de carbón por región	Anuarios Cochilco https://www.cochilco.cl/Paginas/Estadistica/Publicaciones/Anuario.aspx
1.B.2.a.	Petróleo	Crudo procesado por plantas ENAP y Derivados de petróleo distribuidos	Informe estadístico SEC
1.B.2.b.	Gas natural	Gas Natural procesado	Informe estadístico SEC

Tabla 10-7. Indicadores 2.A. Industria de los minerales

Código IPCC	Categorías	Indicador	Fuentes
2.A.1.	Producción de cemento	Producción industria cemento por planta	Despacho anual de cemento de CCHC y capacidad instalada por planta
2.A.2.	Producción de cal	Producción por planta	Reporte directo de empresas
2.A.3.	Producción de vidrio	Producción por empresa y capacidad de producción por planta	Reportes de sustentabilidad
2.A.4.d.	Otros (especificar)	En base a uso de carbonato por empresa	Ubicación empresas de azúcar y celulosas

Tabla 10-8. Indicadores 2.B. Industria química

Código IPCC	Categorías	Indicador	Fuentes
2.B.2.	Producción de ácido nítrico	Producción de ácido nítrico por planta (todo en Antofagasta)	Información Enaex
2.B.8.a.	Producción de Metanol	Producción metanol (todo en Magallanes)	Información ENAP
2.B.8.b.	Producción de Etileno	Producción etileno (todo en Biobío)	Información Methanex

Tabla 10-9. Indicadores 2.C. Industria de los metales

Código IPCC	Categorías	Indicador	Fuentes
2.C.1.	Producción de hierro y acero	Balances regionales de energía y producción Gerdau y CAP	Reportado por empresas
2.C.2.	Producción de ferroaleaciones	Producción regional. Actualmente no ocurre.	Información de la empresa
2.C.5.	Producción de plomo	Reciclaje plomo (única planta en Antofagasta)	Reportado por empresas

Tabla 10-10. Indicadores 2.D. Productos no energéticos de combustibles y uso de solventes

Código IPCC	Categorías	Indicador	Fuentes
2.D.1.	Uso de lubricantes	Parque vehicular total por región	Vehículos INE https://www.ine.cl/estadisticas/economia/transporte-y-comunicaciones/permiso-de-circulacion
2.D.2.	Uso de la cera de parafina	Parque vehicular total por región	Vehículos INE https://www.ine.cl/estadisticas/economia/transporte-y-comunicaciones/permiso-de-circulacion

Tabla 10-11. Indicadores 2.F. Uso de productos sustitutos de las sustancias que agotan la capa de ozono

Código IPCC	Categorías	Indicador	Fuentes
2.F.1.a.	Refrigeración comercial	Superficies de supermercado por región	INE https://www.ine.cl/estadisticas/economia/comercio-servicios-y-turismo/ventas-de-supermercados
2.F.1.b.	Refrigeración doméstica	Viviendas por región	Hogares: Resultados Encuesta CASEN 2017; Estadísticos; Vivienda y entorno
2.F.1.c.	Refrigeración industrial	PIB alimentos	Banco Central
2.F.1.d.	Transporte refrigerado	PIB alimentos	Banco Central
2.F.1.e.	Aire acondicionado fijo	PIB comercial	Banco Central
2.F.1.f.	Aire acondicionado móvil	Parque vehicular	INE
2.F.2.	Agentes espumantes	Viviendas por región	CENSO 2017
2.F.3.	Protección contra incendios	Población regional	INE
2.F.4.	Aerosoles	Población regional	INE
2.F.5.	Solventes	PIB industrial	Banco Central

Tabla 10-12. Indicadores 2.G. Manufactura y utilización de otros productos

Código IPCC	Categorías	Indicador	Fuentes
2.G.1.	Equipos eléctricos	número de subestaciones que utilizan GIS y su potencia	Coordinador eléctrico https://infotecnica.coordinador.cl/instalaciones/subestaciones
2.G.3.c.	Otros (especificar)	Población	INE

10.3 Tendencia de emisiones y absorciones

10.3.1 Gases de efecto invernadero

La tendencia del balance de GEI muestra un incremento de las emisiones para la serie 1990 – 2022 a nivel nacional que, al ser asignadas a las distintas regiones del país, evidencian distintos comportamientos. La zona norte y centro de Chile se comporta como zona emisora, mientras que las zonas sur y austral del país, como sumidero.

La tendencia general en la serie histórica para las zonas que emiten en Chile es al alza. Se aprecia un aumento sostenido de emisiones de gases de efecto invernadero en el tiempo, que responden en primer lugar a los niveles de consumo de combustibles fósiles en procesos de generación de energía eléctrica y, en segundo lugar, a la densidad poblacional vinculada a actividades de combustión de transporte terrestre, calefacción y/o disposición y tratamiento de residuos. Esto explica que las regiones donde se ubican termoeléctricas, como es el caso de Antofagasta, Valparaíso y Biobío, presenten un mayor nivel de emisión, al igual que las regiones donde existe mayor concentración de la población, como la Región Metropolitana.

La tendencia general en la serie histórica para las zonas que se comportan como sumidero es a la baja, existiendo regiones que han pasado de tener balance negativo (sumidero) a actuar como zonas emisoras, este es el caso de Maule, Ñuble y Biobío. El comportamiento sumidero se debe a la predominancia de absorciones generadas por plantaciones y otros tipos de uso del suelo. Esto explica y que las absorciones de Chile, contabilizadas en el sector UTCUTS, se produzcan mayormente en el sur del país, donde hay una menor densidad poblacional y existe una mayor cobertura vegetal. Las principales tendencias son presentadas en la Tabla 10-13 y en la Figura 10-1, donde es importante relevar el hecho de que, si bien se aprecia que la condición de región

emisora o sumidero se mantiene en el tiempo, las emisiones han incrementado y las capturas han disminuido entre 1990 y 2022, y existen años particulares en que la condición de sumidero de ciertas regiones se ha invertido producto de incendios forestales. Este es el caso del año 2017 en la región del Maule, los incendios de la Araucanía durante la temporada 2015 -2016 o los incendios que afectaron a la región de Los Lagos y Aysén en 1998.

Es importante señalar que, si bien las emisiones están relacionadas principalmente con la fuente, algunas de ellas responden a otros factores (por ejemplo, al consumo eléctrico) y por ello no se relacionan directamente con las actividades propias de la región. Esta información es relevante al momento de definir regiones que emiten o absorben de manera neta.

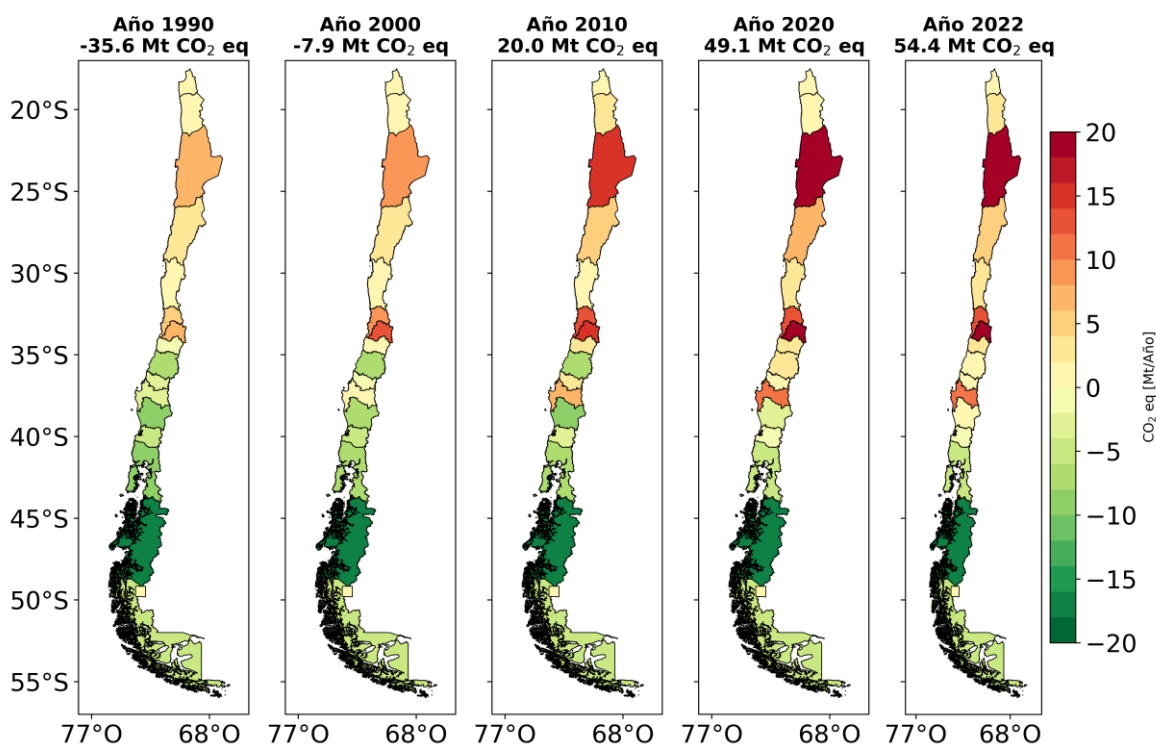


Figura 10-1. Balance de emisiones anuales de GEI por región política de Chile expresados en CO₂ eq. para los años 1990, 2000, 2010, 2020 y 2022.

Fuente: Equipo técnico coordinador

Tabla 10-13. Balance regional de emisiones de GEI (kt CO₂ eq.), serie 1990 – 2022.

Región	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2022
Arica y Parinacota	214	335	350	367	366	518	505	634
Tarapacá	521	702	1.982	1.420	2.479	2.525	1.720	2.136
Antofagasta	6.506	6.865	9.729	13.158	15.804	20.335	20.356	19.506
Atacama	2.167	2.220	2.781	2.979	5.301	6.175	6.119	5.887
Coquimbo	912	1.240	1.480	1.375	1.815	2.038	2.415	2.844
Valparaíso	4.746	5.491	8.307	9.721	12.288	13.529	12.352	12.725
Metropolitana	6.884	10.722	13.201	14.263	15.663	18.589	20.020	23.037
O'Higgins	-90	560	1.159	1.450	2.331	2.446	2.705	3.485
Maule	-6.856	-5.753	-6.039	-4.949	-6.087	-198	2.362	444

Región	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2022
Ñuble	-3.209	-1.294	-1.534	1.017	2.934	3.083	1.043	1.913
Biobío	-2.093	1.536	1.413	6.380	7.132	13.463	11.722	11.403
Araucanía	-8.776	-7.744	-7.641	-8.409	-8.280	3.728	-2.449	101
Los Ríos	-4.533	-3.256	-4.531	-4.012	-3.159	-3.854	-1.405	-1.038
Los Lagos	-9.087	-7.480	-6.672	-6.429	-6.045	-6.691	-5.182	-5.376
Aysén	-17.320	-17.565	-17.430	-17.562	-17.618	-17.717	-17.748	-17.419
Magallanes	-5.565	-4.875	-4.485	-2.555	-4.942	-5.977	-5.401	-5.912
Nacional	-35.578	-18.294	-7.931	8.214	19.983	51.993	49.135	54.369

Fuente: Equipo técnico coordinador

Al año 2022 (Figura 10-1), las regiones se pueden clasificar dentro de dos grupos. Por una parte, se observa un grupo de regiones con un balance de emisiones positivo o regiones emisoras (Arica y Parinacota, Tarapacá, Antofagasta, Atacama, Coquimbo, Valparaíso, Metropolitana, O'Higgins, Maule, Ñuble y Biobío) y, por otra parte, se observa un segundo grupo con un balance de emisiones negativo, es decir, regiones sumidero (Los Ríos, Los Lagos, Aysén y Magallanes).

El cambio que han experimentado las distintas regiones a lo largo de la serie histórica 1990 – 2022 se refleja en un crecimiento que ocurre tanto en las regiones emisoras, como en las regiones sumidero, evidenciándose principalmente en las zonas del norte, donde se desarrolla la actividad de generación eléctrica y en donde la falta de sumideros es un factor importante. Sin perjuicio de lo anterior, la zona austral del país también muestra una tendencia al incremento de emisiones de gases de efecto invernadero, pero en menor magnitud. Lo anterior se debe al efecto amortiguador que producen las absorciones que se concentran en la misma zona. En la Tabla 10-14 se presentan los cambios en el balance de emisiones para cada región. Los perfiles de emisiones y absorciones sectoriales por región se presentan en el Anexo 11.7.1.

Tabla 10-14. Cambio de los balances de emisiones de CO₂ eq al año 2022 respecto de los años 1990, 2000, 2010 y 2020

Región	1990-2022	2000-2022	2010-2022	2020-2022
Arica y Parinacota	197%	81%	73%	26%
Tarapacá	310%	8%	-14%	24%
Antofagasta	200%	100%	23%	-4%
Atacama	172%	112%	11%	-4%
Coquimbo	212%	92%	57%	18%
Valparaíso	168%	53%	4%	3%
Metropolitana	235%	75%	47%	15%
O'Higgins	3980%	201%	50%	29%
Maule	106%	107%	107%	-81%
Ñuble	160%	225%	-35%	83%
Biobío	645%	707%	60%	-3%
Araucanía	101%	101%	101%	104%
Los Ríos	77%	77%	67%	26%
Los Lagos	41%	19%	11%	-4%
Aysén	-1%	0%	1%	2%
Magallanes	-6%	-32%	-20%	-9%
Nacional	253%	786%	172%	11%

Fuente: Equipo técnico coordinador

Valores igual a 0 equivalen a valores positivos inferiores a 0,5

Las emisiones regionales totales (sin UTCUTS), también muestran una tendencia al incremento en la serie histórica, esto se aprecia en la Figura 10-2 y en la Tabla 10-15. En orden creciente de magnitud, son las regiones de Biobío, Valparaíso, Metropolitana y Antofagasta las que presentan un aumento más significativo en el tiempo. Lo anterior se relaciona directamente con el tipo de actividad emisora que se desarrolla localmente, pero también con el alza del Producto Interno Bruto Regional (PIB) y el crecimiento poblacional. De las regiones mencionadas, si bien la Región Metropolitana es la que lidera el crecimiento poblacional y el incremento del PIB, las regiones de Antofagasta, Valparaíso y Biobío son las siguientes regiones que presentan tendencia positiva en el PIB y están dentro de las siete regiones que muestran mayor incremento poblacional. Esto explica que en general, en la serie histórica 1990 -2022, sea la Región Metropolitana la que contribuye en mayor proporción a las emisiones, seguida por Antofagasta, Biobío y Valparaíso; y que la contribución acumulada de estas regiones vaya al incremento en el tiempo, alcanzando un 63% de las emisiones totales durante el 2022.

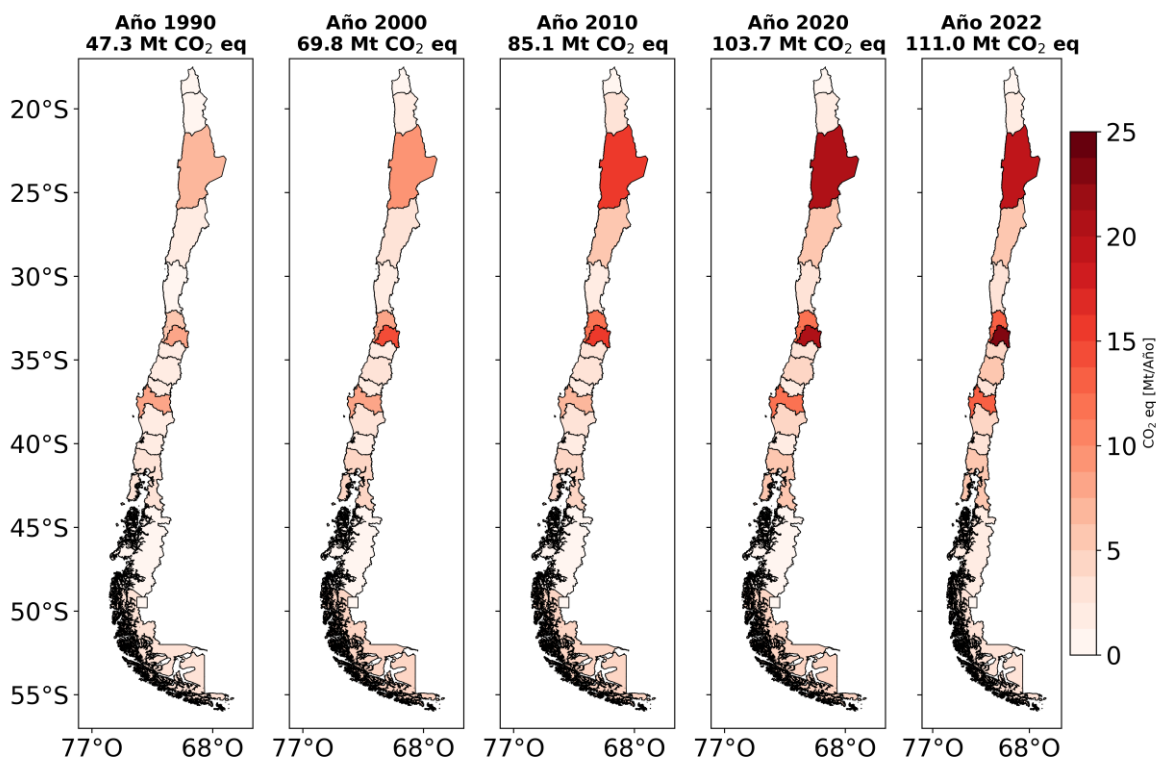


Figura 10-2. Emisiones anuales de GEI por región política de Chile expresados en Mt CO₂ eq. para los años 1990, 2000, 2010, 2015 y 2022.

Fuente: Equipo técnico coordinador

Tabla 10-15. Emisiones totales regionales GEI (kt CO₂ eq.), serie 1990 – 2022.

Región	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2022
Arica y Parinacota	335	458	473	491	491	642	629	758
Tarapacá	624	807	2.083	1.518	2.582	2.628	1.823	2.238
Antofagasta	6.504	6.864	9.729	13.160	15.806	20.337	20.357	19.508
Atacama	2.135	2.189	2.750	2.952	5.261	6.144	6.075	5.856
Coquimbo	834	1.129	1.363	1.421	1.915	2.307	2.610	3.058

Región	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2022
Valparaíso	5.514	6.049	8.696	9.581	12.060	13.652	12.479	12.978
Metropolitana	7.755	11.557	13.988	14.948	16.162	19.221	20.590	23.692
O'Higgins	1.573	1.984	2.294	2.344	2.879	3.337	3.733	4.770
Maule	2.173	2.789	2.862	2.827	3.299	3.838	4.310	5.049
Ñuble	1.424	1.697	1.776	2.049	2.099	2.159	2.376	2.720
Biobío	7.604	7.480	8.534	8.990	7.077	11.134	11.826	13.344
Araucanía	2.467	3.115	3.399	3.327	3.489	3.657	3.862	4.099
Los Ríos	1.434	1.658	1.913	2.071	2.175	2.392	2.442	2.578
Los Lagos	2.798	3.461	4.373	3.960	4.419	4.827	5.360	5.629
Aysén	502	582	668	715	830	927	989	1.279
Magallanes	3.630	4.169	4.868	5.969	4.533	3.604	4.255	3.491
Nacional	47.308	55.990	69.769	76.321	85.077	100.805	103.716	111.049

Fuente: Equipo técnico coordinador

Adicionalmente, en el marco del compromiso voluntario de descarbonización de Chile, entre junio del 2019 y octubre del 2022 se han cerrado cuatro centrales termoeléctricas en la región de Antofagasta¹⁰², lo que ha generado una disminución significativa de las emisiones entre 2015 y 2022 que puede observarse en la Figura 10-2 y en la Tabla 10-15. Esto explica por qué Antofagasta es la región que presenta una mayor disminución de la tendencia al alza de emisiones que se da entre 2006-2014 y entre 2014 - 2022.

10.3.2 Carbono negro

La tendencia de las emisiones de CN a lo largo del país para el periodo 1990 – 2022, muestra un crecimiento sostenido en la mayoría de las regiones. Este comportamiento tiene estrecha relación con las actividades y características de cada región. Por ejemplo, en las regiones donde se desarrolla una mayor actividad minera, como ocurre en la región de Antofagasta, las emisiones de CN presentan uno de los mayores incrementos debido a la operación de maquinarias en las faenas, lo que se condice también con el aumento de la contribución de la región al total nacional, que ha subido en un 3% desde 1990. Por otro lado, en el sur del país se evidencian altos niveles de emisiones de CN asociados al consumo de leña residencial cuyo uso principal en los hogares es el confort térmico a través de la calefacción. Este es el motivo por el cual las regiones de Araucanía y Biobío presentan el mayor crecimiento desde 1990 en emisiones de CN, representando en todos los años de la serie histórica más del 31% de las emisiones de carbono negro nacionales. Durante el año 2022 la contribución de estas dos regiones al total nacional de emisiones de CN, alcanzó un 38%.

Tabla 10-16. Emisiones regionales CN (t.), serie 1990 – 2022.

Región	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2022
Arica y Parinacota	75	116	85	78	48	57	51	60
Tarapacá	83	143	242	220	307	365	365	437
Antofagasta	571	668	858	921	1.280	1.605	1.653	1.808
Atacama	188	277	279	245	326	467	395	474
Coquimbo	206	269	292	256	264	295	321	377
Valparaíso	794	966	997	1.132	947	938	869	802
Metropolitana	1.871	2.741	2.381	2.376	1.944	2.037	1.964	2.055
O'Higgins	618	672	711	706	705	707	681	715
Maule	1.410	1.408	1.385	1.360	1.583	2.125	2.228	1.945
Ñuble	923	914	888	1.000	1.318	1.200	1.084	1.458
Biobío	2.667	2.812	2.971	3.057	3.332	4.462	4.559	4.564
Araucanía	2.266	2.544	2.595	2.955	2.733	4.837	4.462	4.941
Los Ríos	1.072	1.078	1.396	1.431	1.518	1.955	1.485	1.780

¹⁰² RETIRO DEL CARBÓN AL 2030 AVANCES Y TAREAS PENDIENTES EN EL CRONOGRAMA DE DESCARBONIZACIÓN EN CHILE, Chile Sustentable, 2023. <https://www.chilesustentable.net/wp-content/uploads/2023/08/avances-de-descarbonizacion-web-1.pdf>

Región	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2022
Los Lagos	1.712	1.834	1.956	2.188	2.314	2.604	2.616	2.641
Aysén	434	368	418	436	481	542	554	570
Magallanes	279	303	260	466	227	247	238	281
Nacional	15.170	17.112	17.712	18.829	19.327	24.442	23.528	24.906

Fuente: Equipo técnico coordinador

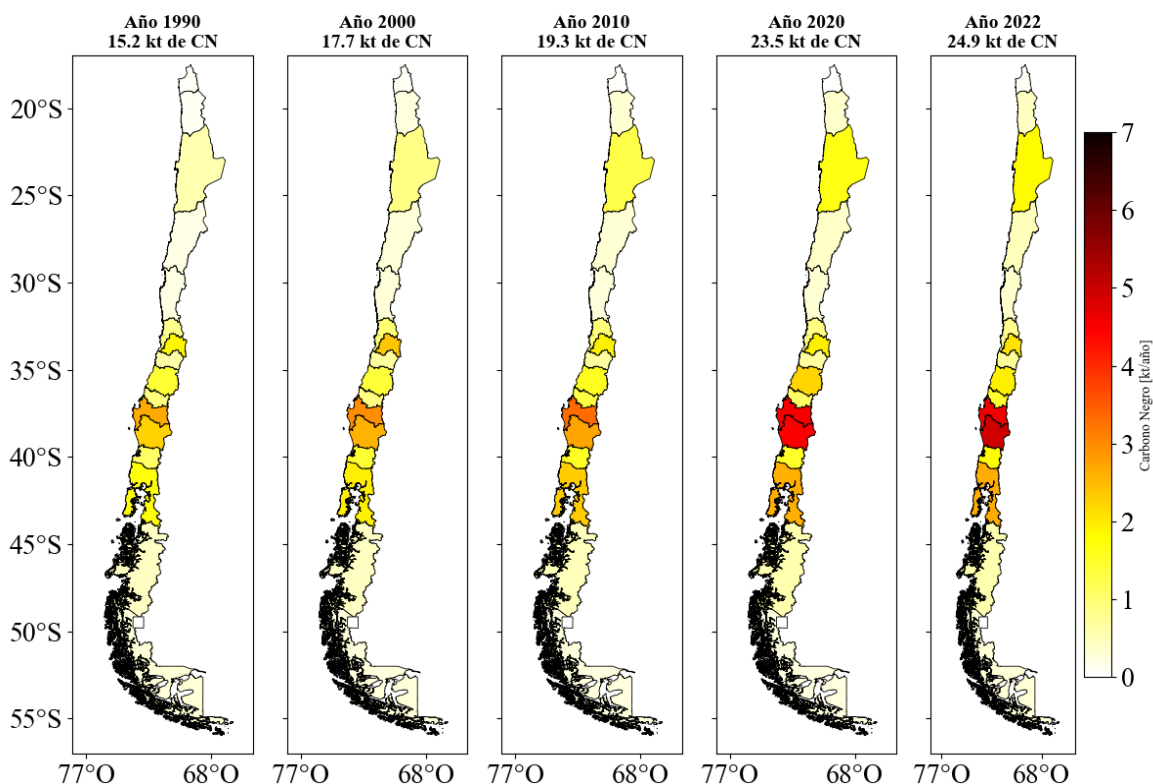


Figura 10-3. Emisiones anuales de CN por región política de Chile para los años 1990, 2000, 2010, 2020 y 2022

Fuente: Equipo técnico coordinador

Al analizar la variación de las emisiones de CN al 2022 (Tabla 10-17 y Figura 10-3), se observa un incremento en todas las regiones respecto al año 1990, salvo para la región de Arica y Parinacota. Sin perjuicio de ello, existen cuatro regiones que presentan una disminución de tendencia al incremento entre 1990 y 2022: Valparaíso (-0,5 kt de CN/año), Magallanes (-1,4 kt de CN/año), Arica y Parinacota (-1,8 kt de CN/año) y la región Metropolitana (-12,9 kt de CN/año). Estas tendencias se encuentran moduladas principalmente por el sector Energía y UTCUTS. Lo anterior explica que las regiones que presentan una mayor tendencia al alza desde 1990 al 2022 son: Antofagasta (40,1 kt de CN/año), Maule (50,9 kt de CN/año), Araucanía (55,2 kt de CN/año) y Biobío (61,2 kt de CN/año).

Cabe destacar que las emisiones totales de las regiones del norte del país están fuertemente influenciadas por las actividades industriales y el transporte, mientras que las emisiones del sur del país tienen una fuerte influencia de los incendios forestales.

Tabla 10-17. Cambio en las emisiones de CN al año 2022 respecto de los años 1990, 2000, 2010 y 2020

Región	1990-2022	2000-2022	2010-2022	2020-2022
Arica y Parinacota	-21%	-29%	24%	16%
Tarapacá	429%	81%	43%	20%
Antofagasta	217%	111%	41%	9%
Atacama	152%	70%	45%	20%
Coquimbo	83%	29%	43%	18%
Valparaíso	1%	-20%	-15%	-8%
Metropolitana	10%	-14%	6%	5%
O'Higgins	16%	1%	1%	5%
Maule	38%	40%	23%	-13%
Ñuble	58%	64%	11%	34%
Biobío	71%	54%	37%	0%
Araucanía	118%	90%	81%	11%
Los Ríos	66%	28%	17%	20%
Los Lagos	54%	35%	14%	1%
Aysén	31%	36%	18%	3%
Magallanes	1%	8%	24%	18%
Nacional	64%	41%	29%	6%

Fuente: Equipo técnico coordinador

Otro evento impredecible pero no menos importante relacionado con las emisiones de CN en las regiones, son los incendios forestales, estos fenómenos ocurren principalmente en la zona centro sur del país y contribuyen a que las regiones dentro de la zona afectada posean mayores emisiones de carbono negro, produciendo incluso peaks anuales que se escapan muy por encima de la tendencia de la serie histórica. También se observa que la Región Metropolitana contribuye de manera importante a las emisiones de CN. Esto se condice con las diferentes actividades industriales y de transporte que se desarrollan en esta región y que contribuyen de manera sustantiva al total de emisiones.

10.4 Inventario regional de gases de efecto invernadero

Como se mencionó anteriormente, los resultados del inventario se pueden agrupar de acuerdo con el balance de emisiones de cada región, clasificándola como zonas sumidero o zonas emisoras. En la Figura 10-4 y Tabla 10-18 se observan las emisiones netas de cada región, detallando la contribución sectorial a las emisiones y absorciones de gases de efecto invernadero. En ellas se aprecia la fuerte influencia del sector Energía en el grupo de regiones que son emisoras netas y una gran influencia del sector UTCUTS en las regiones que son sumideros netos. Esto explica que las regiones de Antofagasta, Valparaíso y Biobío presenten un mayor nivel de emisión debido a la presencia de termoeléctricas, y que las absorciones de Chile —que se deben a la categoría UTCUTS— se produzcan en su gran mayoría al sur del país, donde hay una menor densidad poblacional y existe una mayor cobertura vegetal.

Al analizar la contribución sectorial a las emisiones de gases de efecto invernadero por región para el año 2022, se observa lo siguiente:

- El 68% de los GEI del sector Energía se concentra sumando las regiones Antofagasta, Metropolitana, Valparaíso y Biobío. Lo que tiene directa relación con la distribución de las plantas generadoras de energía del país y con el transporte terrestre.

- El 55 % de los GEI del sector IPPU se logra sumando las regiones de Metropolitana, Valparaíso, Biobío y Antofagasta. Esto se relaciona con la densidad poblacional, indicador utilizado en la metodología de distribución del uso de SAO, que explica cerca del 70% de la emisión del sector.
- El 55% de los GEI del sector Agricultura está repartido entre las regiones de O'Higgins, Araucanía, Los Ríos y Los Lagos, destacándose esta última con un 19% con respecto al total. Las emisiones del sector en estas regiones responden al uso de fertilizantes nitrogenados y al manejo de estiércol y a las actividades ganaderas.
- El 77 % del sector UTCUTS en términos absolutos se logra sumado las regiones del Maule, Los Lagos, Magallanes y Aysén, destacándose esta última, que aporta el 33% al total. La participación del sector en el balance nacional se debe principalmente al bosque nativo, y las fluctuaciones de la serie histórica responden a cosechas e incendios forestales, sobre todo en 1998 y 1996.
- El 41% de los GEI del sector Residuos son emitidos en la Región Metropolitana y le sigue Biobío con un 13%. Estas emisiones se relacionan directamente con la densidad poblacional, con la cantidad de residuos sólidos y líquidos producidos y con los cambios en los sistemas de tratamiento y valorización.

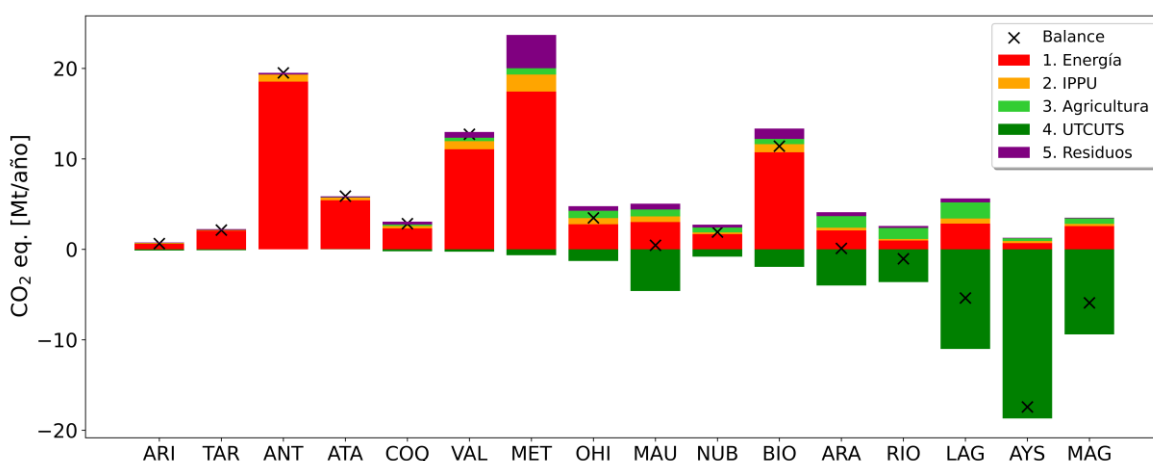


Figura 10-4. Emisiones y absorciones sectoriales de GEI para el año 2022, por región política de Chile.
Fuente: Equipo técnico coordinador

Tabla 10-18. Emisiones regionales de GEI. (kt CO₂ eq.) por sector, año 2022

Región	Energía	IPPU	Agricultura	UTCUTS	Residuos
Arica y Parinacota	619.9	61.7	36.0	-124.7	40.9
Tarapacá	2,054.9	65.1	12.0	-102.5	106.2
Antofagasta	18,543.6	771.7	8.9	-1.8	183.6
Atacama	5,417.4	291.6	28.9	31.2	118.3
Coquimbo	2,315.9	262.4	162.8	-213.6	316.5
Valparaíso	11,057.5	902.6	375.4	-253.7	642.9
Metropolitana	17,434.5	1,882.6	699.2	-654.6	3,675.5
O'Higgins	2,770.9	679.0	815.9	-1,285.5	504.2
Maule	3,013.8	630.3	763.4	-4,605.4	641.7
Ñuble	1,679.8	185.4	544.8	-806.8	309.9
Biobío	10,728.7	892.5	578.9	-1,940.9	1,143.8
Araucanía	2,084.2	311.3	1,265.7	-3,998.6	437.9
Los Ríos	972.8	167.9	1,230.1	-3,616.2	207.5
Los Lagos	2,845.6	563.9	1,777.8	-11,005.1	441.4
Aysén	687.2	231.5	295.9	-18,698.1	64.7

Región	Energía	IPPU	Agricultura	UTCUTS	Residuos
Magallanes	2,564.2	249.0	614.6	-9,403.5	63.6
Total	84,790.9	8,148.6	9,210.6	-56,679.7	8,898.6

Fuente: Equipo técnico coordinador

10.4.1 Sector Energía (1)

El sector Energía contabiliza las emisiones producto de la quema de combustibles con fines energéticos. Entre las actividades que más emisiones producen se encuentran la generación de electricidad y el transporte terrestre. El inventario regional del sector Energía, distribuye las emisiones estimadas a nivel nacional de las distintas categorías que componen el sector, en las regiones políticas de Chile. Esto se realiza a través de distintos indicadores para los años 1990 a 2013 y, para los años restantes de la serie (2014 - 2022) se utilizaron las estadísticas de uso energético levantadas en el Balance Nacional de Energía. Cabe destacar que las emisiones asignadas a cada región contabilizan las emisiones que son producidas dentro del área correspondiente a cada región, por lo que las regiones que cuenten con centrales generadoras de electricidad contabilizarán las emisiones producidas por dichas plantas. Esto guarda relación, principalmente, con la metodología de la elaboración del inventario. Durante el 2022 las regiones que aportan la mayor cantidad de emisiones, de acuerdo con la metodología de estimación de los inventarios presentados aquí, son las regiones de Antofagasta, Metropolitana, Valparaíso y Biobío, que conforman el 68% de las emisiones del sector energía y el 52% de las emisiones totales de GEI de Chile (sin UTCUTS).

En la Tabla 10-19 y en la Figura 10-5 se muestran las emisiones de gases de efecto invernadero regionales del sector Energía (kt CO₂ eq.) para la serie histórica 1990 – 2022.

Tabla 10-19. Emisiones regionales GEI (kt CO₂ eq.) del sector Energía, serie 1990 – 2022.

Región	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2022
Arica y Parinacota	267	381	396	415	408	539	500	620
Tarapacá	596	776	2.037	1.456	2.506	2.532	1.673	2.055
Antofagasta	5.955	6.238	8.832	11.803	15.016	19.336	19.368	18.544
Atacama	2.072	2.086	2.605	2.771	5.008	5.633	5.558	5.417
Coquimbo	509	784	987	970	1.362	1.702	1.892	2.316
Valparaíso	4.780	5.135	7.690	8.476	11.073	12.147	10.816	11.057
Metropolitana	6.353	9.544	11.302	11.312	12.774	15.095	14.730	17.434
O'Higgins	789	1.037	1.268	1.232	1.567	1.747	1.891	2.771
Maule	980	1.419	1.523	1.480	1.825	2.171	2.399	3.014
Ñuble	693	918	1.022	1.274	1.281	1.274	1.345	1.680
Biobío	5.958	5.551	6.520	6.918	4.950	8.575	9.450	10.729
Araucanía	632	1.053	1.259	1.242	1.351	1.724	1.874	2.084
Los Ríos	273	344	488	537	603	803	785	973
Los Lagos	889	1.313	2.043	1.482	1.879	2.190	2.644	2.846
Aysén	111	156	218	237	350	463	521	687
Magallanes	2.483	3.076	3.607	4.397	3.533	2.832	3.452	2.564
Nacional	33.338	39.812	51.796	56.004	65.489	78.764	78.899	84.791

Fuente: Equipo técnico coordinador

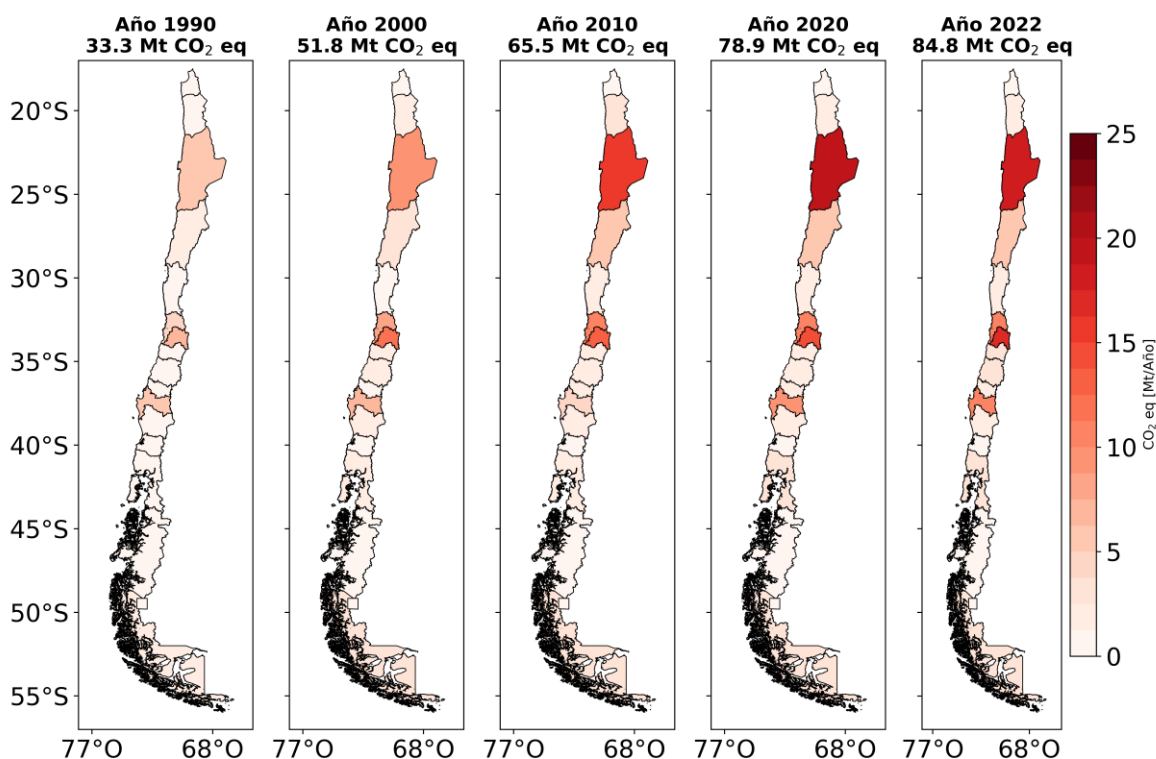


Figura 10-5. Emisiones anuales de GEI, del sector Energía, por región política de Chile para los años 1990, 2000, 2010, 2020 y 2022

Fuente: Equipo técnico coordinador

Las emisiones de GEI del sector Energía se incrementaron en todas las regiones entre 1990 y 2022. Entre 2020 y 2022, sin embargo, las regiones de Atacama, Antofagasta y Magallanes las disminuyeron. Los cambios porcentuales se observan en la Tabla 10-20.

Cabe destacar que, si bien la región de Antofagasta no es la que muestra un mayor incremento en las emisiones del año 2022 respecto al año 1990, es la que presenta una mayor tendencia alza en dicho periodo (529 kt CO₂ eq./año). Sin perjuicio de lo anterior, la misma región mostró una de las mayores tendencias a la disminución de emisiones GEI entre 2020 y 2022. Esto tiene directa relación con las cuatro termoeléctricas instaladas en Tocopilla, cerradas entre 2019 y 2022.

Tabla 10-20. Cambio en las emisiones regionales de GEI para el sector Energía al año 2022 respecto de los años 1990, 2000, 2010 y 2020

Región	1990-2022	2000-2022	2010-2022	2020-2022
Arica y Parinacota	133%	56%	52%	24%
Tarapacá	245%	1%	-18%	23%
Antofagasta	211%	110%	23%	-4%
Atacama	161%	108%	8%	-3%
Coquimbo	355%	135%	70%	22%
Valparaíso	131%	44%	0%	2%
Metropolitana	174%	54%	36%	18%
O'Higgins	251%	119%	77%	47%
Maule	207%	98%	65%	26%

Región	1990-2022	2000-2022	2010-2022	2020-2022
Ñuble	143%	64%	31%	25%
Biobío	80%	65%	117%	14%
Araucanía	230%	66%	54%	11%
Los Ríos	256%	99%	61%	24%
Los Lagos	220%	39%	51%	8%
Aysén	521%	215%	96%	32%
Magallanes	3%	-29%	-27%	-26%
Nacional	154%	64%	29%	7%

Fuente: Equipo técnico coordinador

También destaca el hecho de que la región Metropolitana presenta la mayor tendencia al incremento entre 2020 y 2022, lo que puede deberse a la reactivación del transporte y actividades industriales post pandemia.

10.4.2 Sector Procesos industriales y uso de productos (2)

El sector Procesos Industriales y Uso de Productos (IPPU, por su sigla en inglés) contabiliza las emisiones generadas por cambios fisicoquímicos en distintas materias primas y las emisiones generadas directamente por el uso de algunos gases de efecto invernadero en diferentes actividades. Respecto de las emisiones nacionales provenientes de procesos industriales, éstas son distribuidas según la ubicación de las fuentes locales de producción, mientras que las emisiones por uso de productos se distribuyen según distintos indicadores de acuerdo con la actividad correspondiente (por ejemplo, PIB, crecimiento poblacional, parque automotriz).

Durante el 2022 las regiones que aportaron la mayor cantidad de emisiones, de acuerdo con la metodología de estimación de los inventarios presentados aquí, fueron las regiones Metropolitana, Valparaíso, Biobío y Antofagasta, que conformaron el 55% de las emisiones del sector IPPU y el 4,0% de las emisiones totales de GEI de Chile (sin UTCUTS). Cabe destacar que la región metropolitana por sí sola, contribuye con el 23% de las emisiones nacionales de este sector, lo que tiene directa relación con la metodología de distribución, puesto que se relaciona con la densidad poblacional.

Los resultados regionales del sector IPPU son presentados en la Tabla 10-21 y en la Figura 10-6.

Tabla 10-21. Emisiones regionales GEI (kt CO₂ eq.) del sector IPPU, serie 1990 – 2022.

Región	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2022
Arica y Parinacota	0,6	0,8	2,4	6,1	11,6	30,6	51,6	61,7
Tarapacá	0,7	1,0	2,6	8,0	18,1	34,8	50,9	65,1
Antofagasta	487,3	559,6	812,2	1.262,9	683,6	890,6	829,3	771,7
Atacama	1,1	35,8	63,1	89,9	151,8	406,3	381,0	291,6
Coquimbo	1,6	2,2	7,0	21,6	59,9	132,9	230,1	262,4
Valparaíso	194,7	285,2	306,5	374,8	471,2	700,1	694,9	902,6
Metropolitana	289,8	436,5	493,2	641,1	839,0	922,4	1.545,5	1.882,6
O'Higgins	1,9	2,6	12,3	48,7	146,4	310,6	529,6	679,0
Maule	45,0	54,8	74,5	107,1	156,6	292,8	546,1	630,3
Ñuble	5,5	6,8	11,1	26,8	53,0	92,6	161,1	185,4
Biobío	579,8	749,6	845,0	805,2	715,0	824,7	793,1	892,5
Araucanía	3,2	4,0	10,6	25,6	67,4	169,6	275,8	311,3
Los Ríos	9,2	9,6	12,3	22,2	44,0	84,7	137,0	167,9
Los Lagos	3,3	4,7	16,1	54,0	112,9	181,2	331,4	563,9
Aysén	4,3	6,5	11,5	18,0	28,9	45,1	88,5	231,5
Magallanes	237,9	192,5	429,4	693,3	158,2	40,5	134,4	249,0
Nacional	1.866,1	2.352,2	3.109,9	4.205,2	3.717,4	5.159,4	6.780,4	8.148,6

Fuente: Equipo técnico coordinador

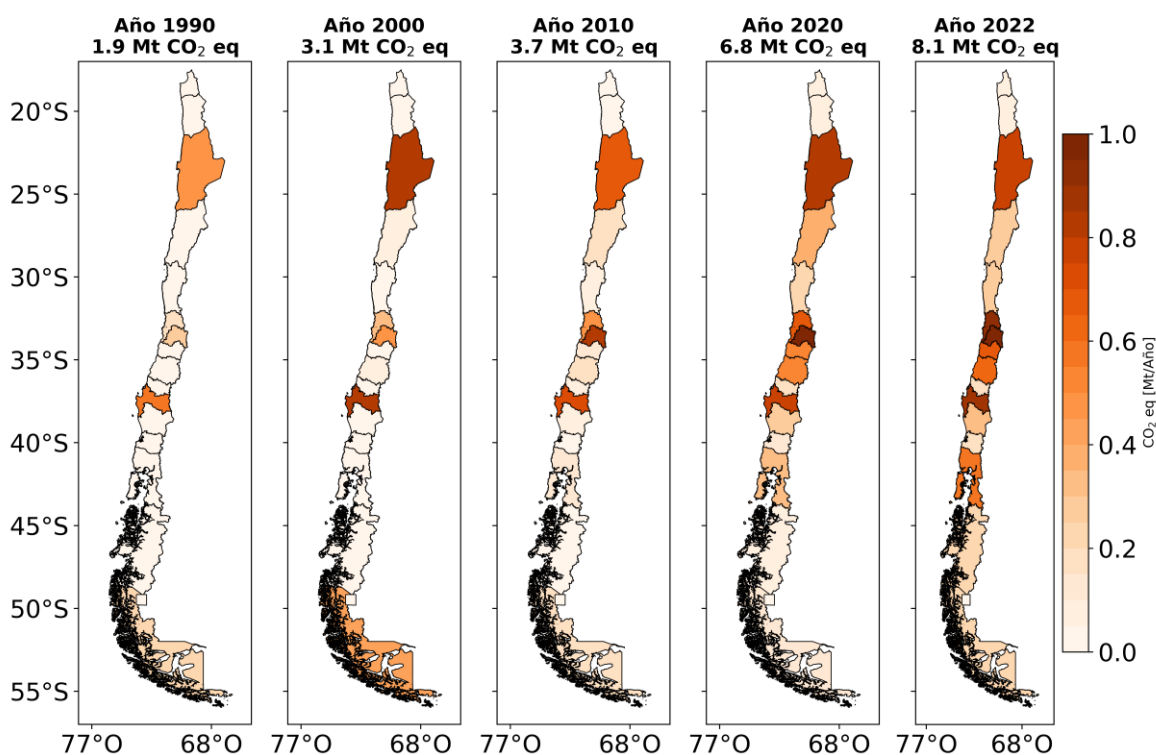


Figura 10-6. Emisiones anuales de GEI, del sector IPPU, por región política de Chile para los años 1990, 2000, 2010 y 2020

Fuente: Equipo técnico coordinador

De acuerdo con lo ilustrado en la Tabla 10-21 y en la Figura 10-6, la serie muestra un incremento significativo de emisiones de GEI en todas las regiones del país entre 1990 y 2022, caracterizado por una contribución heterogénea de las regiones a las emisiones totales del sector IPPU al inicio de la serie histórica. Esta situación se revierte con los años debido, principalmente, al uso de refrigerantes en todo el país. Sin perjuicio de lo anterior, y aunque la variación de emisiones regionales de GEI para el sector IPPU entre 2020 y 2022 se ajusta a la tendencia histórica, las regiones de Atacama y Antofagasta muestran un decaimiento de las emisiones de un 23% y un 7% respectivamente (Tabla 10-22); a pesar de ser Antofagasta una de las principales regiones contribuyentes a las emisiones nacionales del sector IPPU con un 9,5%.

Tabla 10-22. Cambio en las emisiones regionales de GEI para el sector IPPU al año 2022 respecto de los años 1990, 2000, 2010 y 2020

Región	1990-2022	2000-2022	2010-2022	2020-2022
Arica y Parinacota	9853%	2479%	430%	20%
Tarapacá	9173%	2412%	261%	28%
Antofagasta	58%	-5%	13%	-7%
Atacama	27513%	362%	92%	-23%
Coquimbo	15959%	3653%	338%	14%
Valparaíso	364%	195%	92%	30%
Metropolitana	550%	282%	124%	22%
O'Higgins	34796%	5435%	364%	28%
Maule	1300%	746%	303%	15%

Región	1990-2022	2000-2022	2010-2022	2020-2022
Ñuble	3241%	1563%	250%	15%
Biobío	54%	6%	25%	13%
Araucanía	9694%	2841%	362%	13%
Los Ríos	1720%	1262%	282%	23%
Los Lagos	17030%	3399%	400%	70%
Aysén	5233%	1909%	700%	162%
Magallanes	5%	-42%	57%	85%
Nacional	337%	162%	119%	20%

Fuente: Equipo técnico coordinador

Adicionalmente cabe mencionar que la región Metropolitana es, muy por encima de las demás regiones, la que muestra una mayor tendencia al alza de emisiones de GEI entre 1990 y 2022, con un 41,8 kt CO₂ eq./año, seguida de la región de Valparaíso con 19,0 kt CO₂ eq./año. Esto se relaciona directamente con el crecimiento poblacional. También se debe mencionar que la única región cuya tendencia general es a la disminución de emisiones GEI para el sector IPPU, es la región de Magallanes (con -4,9 kt CO₂ eq./año), la misma que ha mostrado la menor diferencia entre las emisiones del año 2022 respecto al año 1990, con un 5% (Tabla 10-21).

10.4.3 Sector Agricultura (3)

El sector Agricultura incluye las emisiones 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 productivas, ecológicas o sociales. Para este sector se cuenta con estadísticas regionales, a partir de las cuales se levanta el Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero, por ello la regionalización de las emisiones es a través de los mismos datos de actividad.

Respecto a las contribuciones regionales al total de emisiones de GEI del sector Agricultura, no se observan cambios significativos a lo largo de la serie temporal. Se aprecia una participación relativamente constante en el tiempo, principalmente de las regiones de Los Lagos, Los Ríos y la Araucanía, las que han sido históricamente las principales zonas emisoras del sector. De esta manera, durante el año 2022 las regiones que más aportaron en orden creciente fueron O'Higgins, Los Ríos, Araucanía y Los Lagos, destacándose esta última con aporte de un 19% al total de emisiones nacionales del sector. Cabe mencionar que, entre las cuatro regiones mencionadas, las emisiones GEI acumuladas corresponden al 55% de las emisiones nacionales del sector Agricultura, que a su vez representa el 4,6% de las emisiones totales de Chile (sin UTCUTS). Lo anterior se relaciona directamente con las zonas de mayor desarrollo de actividades ganaderas, al uso de fertilizantes nitrogenados y al manejo de estiércol.

Los resultados regionales del sector Agricultura son presentados en la Tabla 10-23 y en la Figura 10-7.

Tabla 10-23. Emisiones regionales GEI (kt CO₂ eq.) del sector Agricultura, serie 1990 – 2022.

Región	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2022
Arica y Parinacota	55,6	61,7	57,7	49,7	43,7	40,4	37,8	36,0
Tarapacá	17,4	17,8	16,6	15,6	14,5	11,6	12,1	12,0
Antofagasta	16,0	15,7	13,9	12,1	11,0	9,4	9,3	8,9
Atacama	39,0	43,4	45,1	47,0	50,0	42,8	34,1	28,9
Coquimbo	260,6	258,0	267,3	289,0	315,0	242,7	195,2	162,8
Valparaíso	409,2	480,9	503,7	481,7	374,7	323,7	363,4	375,4
Metropolitana	535,2	652,2	732,3	751,9	777,5	717,5	688,1	699,2

Región	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2022
O'Higgins	683,1	792,5	825,8	798,2	934,2	871,7	832,5	815,9
Maule	1.037,3	1.170,3	1.112,5	1.033,1	951,1	965,1	835,8	763,4
Ñuble	656,8	700,5	672,9	632,5	595,3	577,2	590,2	544,8
Biobío	860,6	909,8	879,5	816,3	762,7	693,1	580,2	578,9
Araucanía	1.688,9	1.883,4	1.951,8	1.857,9	1.762,7	1.487,9	1.366,6	1.265,7
Los Ríos	1.103,2	1.250,3	1.354,7	1.406,0	1.355,3	1.302,6	1.301,1	1.230,1
Los Lagos	1.803,2	2.029,4	2.192,9	2.271,7	2.164,2	2.150,5	2.003,3	1.777,8
Aysén	370,0	397,2	411,3	429,6	390,9	338,3	305,4	295,9
Magallanes	885,3	872,1	799,4	839,6	798,2	682,2	612,0	614,6
Nacional	10.421,4	11.535,4	11.837,5	11.732,2	11.301,1	10.456,8	9.767,4	9.210,6

Fuente: Equipo técnico coordinador

De acuerdo con lo ilustrado en la Tabla 10-23 y en la Figura 10-7, la serie muestra la disminución de emisiones de GEI en todas las regiones del país entre 1990 y 2022, a excepción de las regiones Metropolitana, O'Higgins y Los Ríos. Respecto a la variación de emisiones entre el 2020 y el 2022, todas las regiones disminuyeron sus emisiones del sector Agricultura, salvo Valparaíso, Metropolitana y Biobío, sin embargo, estos cambios no superan siquiera el 3% de variación porcentual. Esto se puede apreciar en la Tabla 10-24.

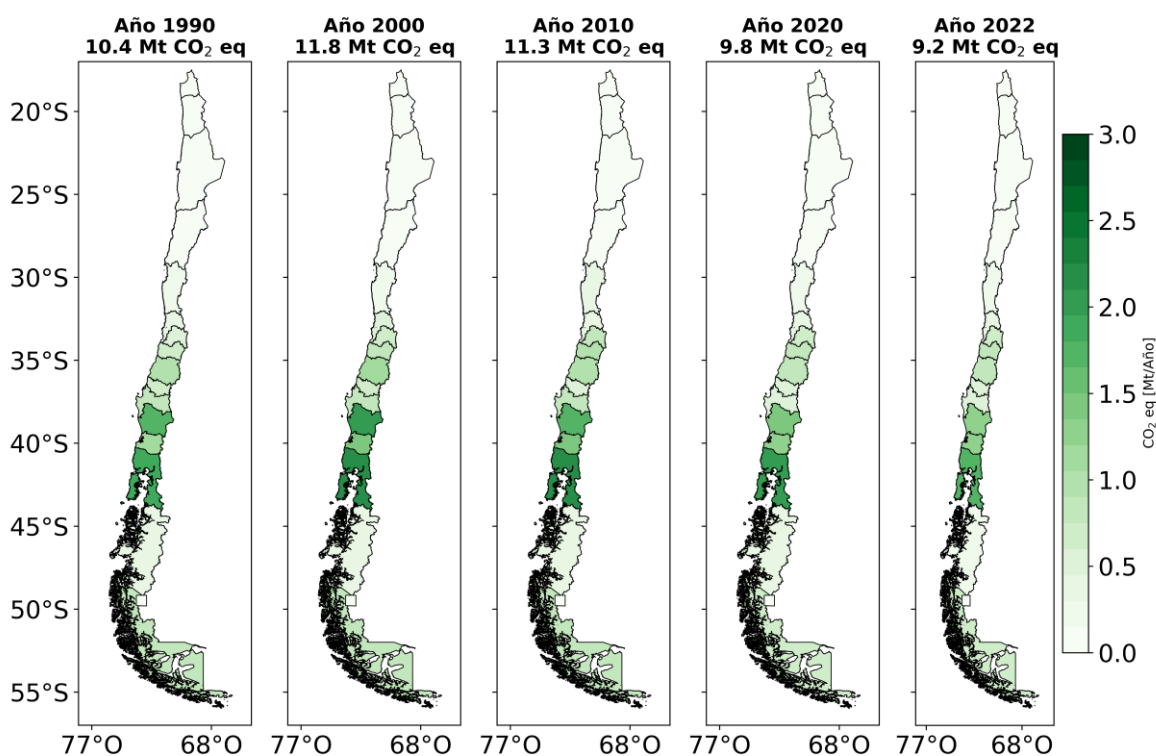


Figura 10-7. Emisiones anuales de GEI, del sector Agricultura, por región política de Chile para los años 1990, 2000, 2010 y 2020

Fuente: Equipo técnico coordinador

Tabla 10-24. Cambio en las emisiones regionales de GEI para el sector Agricultura al año 2022 (kt) respecto de los años 1990, 2000, 2010 y 2020

Región	1990-2022	2000-2022	2010-2022	2020-2022
Arica y Parinacota	-35%	-38%	-18%	-5%
Tarapacá	-31%	-28%	-17%	-1%
Antofagasta	-44%	-36%	-19%	-4%
Atacama	-26%	-36%	-42%	-15%
Coquimbo	-38%	-39%	-48%	-17%
Valparaíso	-8%	-25%	0%	3%
Metropolitana	31%	-5%	-10%	2%
O'Higgins	19%	-1%	-13%	-2%
Maule	-26%	-31%	-20%	-9%
Ñuble	-17%	-19%	-8%	-8%
Biobío	-33%	-34%	-24%	0%
Araucanía	-25%	-35%	-28%	-7%
Los Ríos	12%	-9%	-9%	-5%
Los Lagos	-1%	-19%	-18%	-11%
Aysén	-20%	-28%	-24%	-3%
Magallanes	-31%	-23%	-23%	0%
Nacional	-12%	-22%	-18%	-6%

Fuente: Equipo técnico coordinador

Adicionalmente cabe mencionar que la región de Los Lagos y la región de Los Ríos son las que presentan la mayor tendencia al incremento de emisiones en la serie 1990-2022, con 3,6 kt CO₂ eq./año y 4,3 kt CO₂ eq./año, respectivamente. A pesar de magnitud poco significativa del incremento anual de emisiones para estas regiones (tendencia positiva), se debe considerar que ambas se encuentran dentro de las más contribuyentes al sector. Lo contrario ocurre con la Araucanía, que estando dentro de las regiones que más contribuyen a las emisiones nacionales del sector Agricultura (13,7% durante el 2022), es la que presenta la mayor tendencia a la baja en la serie histórica 1990-2022, mostrando una tasa de disminución de -18,5 kt CO₂ eq./año.

10.4.4 Sector Uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura (4)

El sector Uso de la tierra, cambio de 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. Al igual que el sector Agricultura, el sector UTCUTS se elabora en base a estadísticas regionales que permiten elaborar el inventario directamente para cada región. A diferencia de los otros sectores, este contabiliza emisiones y absorciones donde, para el caso de Chile, predominan las últimas sobre las primeras. En general se observa que los sumideros más importantes de Chile se ubican en el sur del país, particularmente en las regiones de Los Lagos y de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo.

Durante el 2022 las regiones que aportaron la mayor cantidad de absorciones, de acuerdo con la metodología de estimación de los inventarios presentados aquí, fueron las regiones Maule, Los Lagos, Magallanes y Aysén cuyo aporte acumulativo conformó el 77% de las absorciones nacionales del sector. Cabe destacar que, de estas regiones, Aysén aportó durante el mismo año el 33% de las absorciones GEI por sí sola e históricamente su contribución ha superado el 30% (salvo para años fuertemente afectados por incendios locales, como en 1998, donde su absorción neta fue de 12,6 %). La participación del sector en el balance nacional se debe principalmente al bosque nativo, y las fluctuaciones de la serie histórica responden a cosechas e incendios forestales, sobre todo en 1998. Como se mencionó anteriormente, las absorciones del sector se concentran en el sur del país. Los resultados regionales de UTCUTS son presentados en la Tabla 10-25 y en la Figura 10-8.

Tabla 10-25. Emisiones regionales GEI (kt CO₂ eq.) del sector UTCUTS, serie 1990 – 2022.

Región	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2022
Arica y Parinacota	-121,8	-122,6	-123,6	-124,9	-124,6	-123,9	-124,4	-124,7
Tarapacá	-102,9	-105,0	-100,8	-98,3	-102,4	-102,2	-102,6	-102,5
Antofagasta	1,7	1,0	0,1	-1,0	-2,1	-2,0	-1,3	-1,8
Atacama	32,3	30,2	30,7	27,6	40,2	30,9	43,7	31,2
Coquimbo	78,7	111,7	116,7	-45,7	-99,9	-269,4	-195,1	-213,6
Valparaíso	-767,8	-557,1	-388,9	139,6	228,0	-123,5	-127,3	-253,7
Metropolitana	-871,2	-835,8	-787,1	-684,3	-499,1	-631,9	-569,8	-654,6
O'Higgins	-1.663,2	-1.423,9	-1.134,3	-894,1	-548,4	-890,7	-1.028,0	-1.285,5
Maule	-9.029,5	-8.542,2	-8.900,4	-7.775,9	-9.386,3	-4.036,6	-1.948,1	-4.605,4
Ñuble	-4.632,8	-2.990,8	-3.310,5	-1.032,4	834,7	924,0	-1.332,4	-806,8
Biobío	-9.696,9	-5.944,7	-7.121,7	-2.610,0	54,2	2.329,0	-103,9	-1.940,9
Araucanía	-11.243,1	-10.858,8	-11.039,4	-11.736,1	-11.768,4	71,5	-6.311,1	-3.998,6
Los Ríos	-5.966,9	-4.914,4	-6.443,3	-6.082,7	-5.333,5	-6.245,4	-3.846,6	-3.616,2
Los Lagos	-11.885,1	-10.941,6	-11.045,7	-10.388,4	-10.464,3	-11.518,0	-10.541,2	-11.005,1
Aysén	-17.822,1	-18.146,9	-18.098,1	-18.277,4	-18.447,2	-18.643,2	-18.736,5	-18.698,1
Magallanes	-9.194,8	-9.043,6	-9.353,1	-8.523,4	-9.474,9	-9.580,6	-9.656,5	-9.403,5
Nacional	-82.885,5	-74.284,5	-77.699,6	-68.107,2	-65.093,9	-48.812,1	-54.581,1	-56.679,7

Fuente: Equipo técnico coordinador

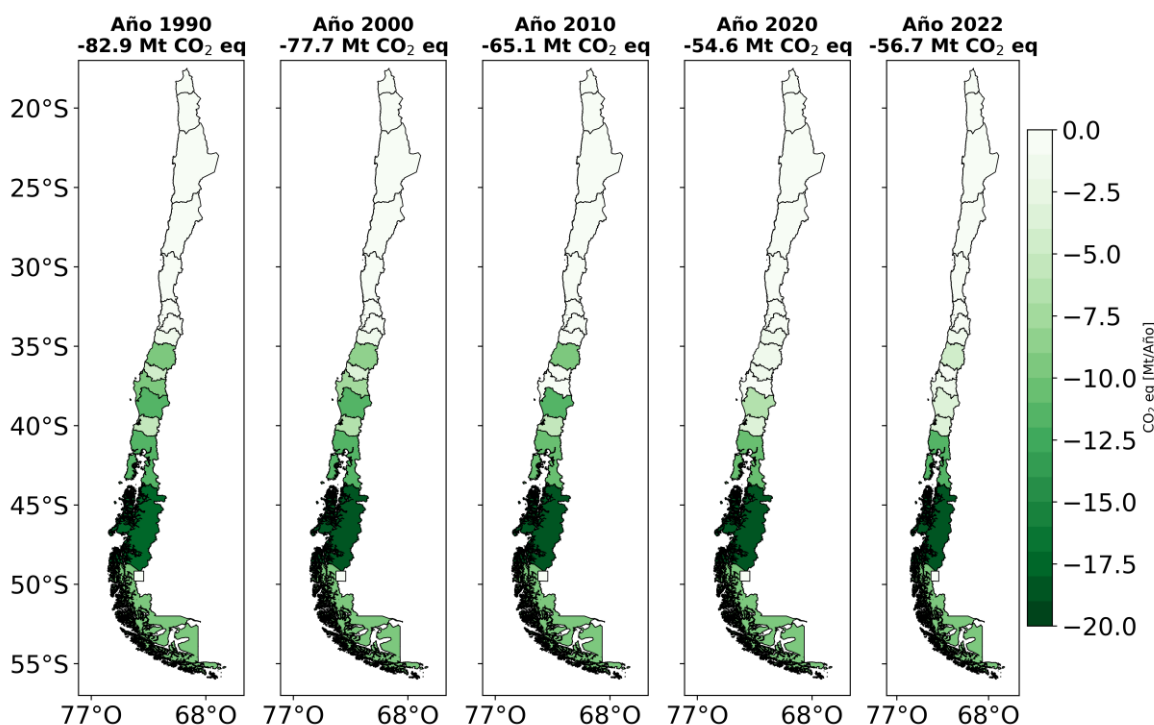


Figura 10-8. Emisiones anuales de GEI, del sector UTCUTS, por región política de Chile para los años 1990, 2000, 2010 y 2020

Fuente: Equipo técnico coordinador

De acuerdo con lo ilustrado en la Tabla 10-25 y en la Figura 10-8, la serie muestra una disminución de absorciones de GEI en la mayoría de las regiones del país entre 1990 y 2022, y de manera significativamente mayor en las regiones centro-sur del país, donde las emisiones se han incrementado desde 1990 entre un 64 y un 83%. Las regiones de Los Ñuble, Maule y Biobío son las que han mostrado la mayor tendencia a la disminución de absorciones con una pendiente al alza de emisiones entre 1990 y 2022 de 182 kt CO₂ eq./año, 320 kt CO₂ eq./año y 391 kt CO₂ eq./año respectivamente. Aunque Biobío sea la que ha mostrado una mayor tendencia a la disminución de absorciones desde 1990, cabe mencionar que entre 2020 y 2022, fue la región que mostró la recuperación importante de su capacidad sumidero.

Las variaciones porcentuales del sector UTCUTS en la serie histórica se muestran en la Tabla 10-26. Sin perjuicio de lo anterior, la contribución heterogénea a las absorciones nacionales del sector UTCUTS se mantiene a lo largo de toda la serie histórica.

Tabla 10-26. Cambio en las emisiones regionales de GEI para el sector UTCUTS al año 2022 respecto de los años 1990, 2000, 2010 y 2020

Región	1990-2022	2000-2022	2010-2022	2020-2022
Arica y Parinacota	-2%	-1%	0%	0%
Tarapacá	0%	-2%	0%	0%
Antofagasta	-210%	-1443%	12%	-40%
Atacama	-3%	2%	-22%	-29%
Coquimbo	-372%	-283%	-114%	-9%
Valparaíso	67%	35%	-211%	-99%
Metropolitana	25%	17%	-31%	-15%
O'Higgins	23%	-13%	-134%	-25%
Maule	49%	48%	51%	-136%
Ñuble	83%	76%	-197%	39%
Biobío	80%	73%	-3682%	-1767%
Araucanía	64%	64%	66%	37%
Los Ríos	39%	44%	32%	6%
Los Lagos	7%	0%	-5%	-4%
Aysén	-5%	-3%	-1%	0%
Magallanes	-2%	-1%	1%	3%
Nacional	32%	27%	13%	-4%

Fuente: Equipo técnico coordinador

10.4.5 Sector Residuos (5)

El sector Residuos contabiliza las emisiones 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). Para este sector también se contó con estadísticas regionales, por lo que la estimación de las emisiones se realizó sobre cada región.

Durante el 2022 las regiones que aportaron la mayor cantidad de emisiones, de acuerdo con la metodología de estimación de los inventarios presentados aquí, fueron las regiones Metropolitana y Biobío, que conformaron el 54,3% de las emisiones del sector Residuos y el 4,3% de las emisiones totales de GEI de Chile (sin UTCUTS). Cabe destacar que la región Metropolitana por sí sola, contribuye con el 41,3% de las emisiones nacionales de este sector y Biobío con 12,9%. Estas emisiones se relacionan directamente con la densidad poblacional, con la cantidad de residuos sólidos y líquidos producidos y con los cambios en los sistemas de tratamiento y valorización.

Respecto de las emisiones del sector entre 1990 y 2022, se ve un alza en todo el país, caracterizado por una contribución heterogénea que se relaciona directamente con la cantidad de habitantes de cada región. Los resultados decadales de las emisiones se presentan en la Tabla 10-27 y Figura 10-9. Alineándose a lo anterior, entre 2020 y 2022 se mantiene la tendencia histórica al alza, salvo para la región de Los Ríos y Magallanes, que mostraron una disminución e 5% y 12% respectivamente (Tabla 10-28). Los resultados regionales del sector Residuos son presentados en la Tabla 10-27 y Figura 10-9.

Tabla 10-27. Emisiones regionales GEI (kt CO₂ eq.) del sector Residuos, serie 1990 – 2022.

Región	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2022
Arica y Parinacota	12,5	14,3	17,1	20,2	27,0	31,5	40,0	40,9
Tarapacá	10,1	12,9	26,6	38,0	42,8	48,9	86,3	106,2
Antofagasta	46,5	51,0	70,9	81,2	95,2	100,9	150,3	183,6
Atacama	22,3	23,7	36,8	44,0	51,1	62,0	101,5	118,3
Coquimbo	62,6	84,3	101,5	140,0	177,8	229,4	292,9	316,5
Valparaíso	129,7	147,9	196,3	248,9	141,0	481,6	604,9	642,9
Metropolitana	577,8	924,4	1.460,5	2.242,9	1.771,9	2.486,5	3.627,0	3.675,5
O'Higgins	99,1	152,4	187,9	264,7	231,5	407,3	479,3	504,2
Maule	110,8	144,8	151,2	206,5	365,8	409,1	529,1	641,7
Ñuble	69,1	71,6	70,6	116,1	169,9	214,8	278,9	309,9
Biobío	206,0	269,5	290,3	449,8	649,9	1.041,4	1.002,5	1.143,8
Araucanía	143,3	174,6	177,3	201,2	307,0	275,0	346,2	437,9
Los Ríos	48,6	54,2	58,0	105,5	172,5	201,4	218,8	207,5
Los Lagos	102,4	114,8	121,7	151,9	263,0	305,0	380,9	441,4
Aysén	16,7	22,2	26,4	30,2	59,6	80,0	73,6	64,7
Magallanes	24,2	27,9	31,7	39,0	43,5	49,7	56,7	63,6
Nacional	1.681,7	2.290,5	3.024,8	4.380,1	4.569,5	6.424,5	8.268,9	8.898,6

Fuente: Equipo técnico coordinador

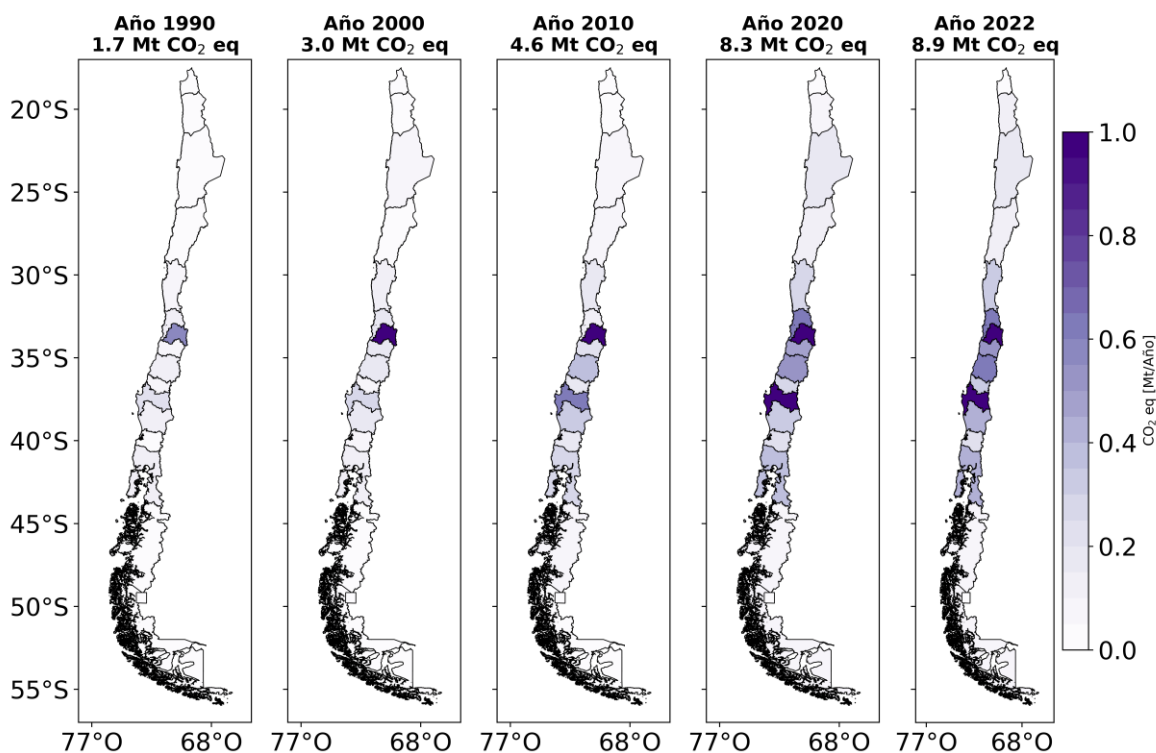


Figura 10-9. Emisiones anuales de GEI, del sector Residuos, por región política de Chile para los años 1990, 2000, 2010 y 2020

Fuente: Equipo técnico coordinador

Considerando que las emisiones regionales del sector Residuos se relacionan directamente con el parámetro de crecimiento poblacional, esto explicaría por qué son las regiones del Biobío y Metropolitana las que muestran una mayor tendencia al incremento entre 1990 y 2022. Las pendientes que describen esta alza para cada una fueron 31,1 kt CO₂ eq./año y 88,7 kt CO₂ eq./año respectivamente.

Tabla 10-28. Cambio en las emisiones regionales de GEI para el sector Residuos al año 2022 respecto de los años 1990, 2000, 2010 y 2020

Región	1990-2022	2000-2022	2010-2022	2020-2022
Arica y Parinacota	228%	139%	52%	2%
Tarapacá	947%	299%	148%	23%
Antofagasta	294%	159%	93%	22%
Atacama	430%	222%	131%	17%
Coquimbo	406%	212%	78%	8%
Valparaíso	395%	227%	356%	6%
Metropolitana	536%	152%	107%	1%
O'Higgins	409%	168%	118%	5%
Maule	479%	324%	75%	21%
Ñuble	349%	339%	82%	11%
Biobío	455%	294%	76%	14%
Araucanía	206%	147%	43%	26%
Los Ríos	327%	258%	20%	-5%
Los Lagos	331%	263%	68%	16%

Región	1990-2022	2000-2022	2010-2022	2020-2022
Aysén	288%	145%	9%	-12%
Magallanes	162%	101%	46%	12%
Nacional	429%	194%	95%	8%

Fuente: Equipo técnico coordinador

10.5 Inventario regional de carbono negro

Al igual que el Inventario Regional de Gases de Efecto Invernadero, el Inventario Regional de Carbono Negro muestra un evidente comportamiento de acuerdo con las zonas que se definen como principales emisoras de este forzante climático de vida corta, lo que tiene directa relación con las actividades locales.

En la Figura 10-10 y en la Tabla 10-29 se observa la contribución sectorial a las emisiones de carbono negro de cada región. En ellas se aprecia la fuerte influencia del sector Energía en todas las regiones y una fuerte influencia del sector UTCUTS en las regiones del Maule, Ñuble, Biobío y Araucanía, siendo esta última considerablemente más relevante. Cabe mencionar que para el año 2022 la contribución porcentual del sector Energía para todas las regiones estuvo por sobre el 75% (incluso, para nueve de ellas se superó el 90%); sin embargo, en la región de la Araucanía su contribución alcanzó el 56%, adquiriendo una mayor relevancia el sector UTCUTS, que explicó el 40% de emisiones de CN de la región para dicho año.

Al analizar la contribución sectorial a las emisiones carbono negro por región para el año 2022, se observa lo siguiente:

- El 53% del CN del sector Energía se concentra sumando las regiones Biobío, la Araucanía, los Lagos y Metropolitana. Lo que tiene directa relación con las industrias de la energía y Otros sectores, el transporte terrestre y el uso de leña como energético para calefaccionar.
- El 89 % de las emisiones de CN del sector IPPU se logra sumando las regiones de Antofagasta, Biobío, Metropolitana y Valparaíso. Esto se relaciona directamente con la ubicación de las industrias dedicadas a la producción de minerales y de metales.
- El 67% de las emisiones de CN del sector Agricultura ese encuentra repartido entre las regiones del Biobío, Ñuble y Araucanía destacándose la primera con un 36% con respecto al total. Las emisiones del sector en estas regiones responden a la quema de residuos agrícolas en el campo.
- El 84 % de las emisiones de CN del sector UTCUTS en términos absolutos se logra sumado las regiones del Biobío y Araucanía, destacándose esta última, que aportó el 69% al total. Las emisiones responden a eventos incendiarios.
- El 61% de las emisiones del CN del sector Residuos son emitidos entre la Región de Biobío, Los Lagos y la Araucanía. En las cuales destacan el aporte de los Lagos (22%) y la Araucanía (28%). Estas emisiones se relacionan directamente con la densidad poblacional y con la actividad de incineración abierta de residuos.

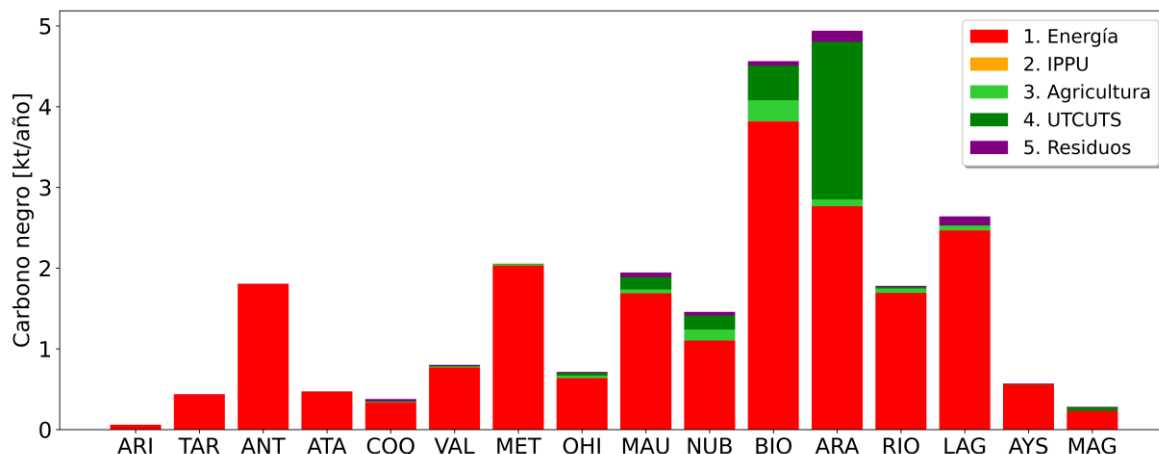


Figura 10-10. Emisiones sectoriales de CN para el año 2022, por región política de Chile.

Fuente: Equipo técnico coordinador

Tabla 10-29. Emisiones regionales de carbono negro (kt) por sector, año 2022

Región	Energía	IPPU	Agricultura	UTCUTS	Residuos
Arica y Parinacota	59.3	-	0.1	0.0	0.5
Tarapacá	435.1	-	0.0	0.0	2.2
Antofagasta	1,802.1	2.8	0.0	0.0	2.8
Atacama	468.7	0.8	2.2	0.0	1.9
Coquimbo	334.1	-	9.8	6.2	27.2
Valparaíso	767.6	2.0	10.5	8.1	14.1
Metropolitana	2,030.9	2.1	16.5	2.8	2.6
O'Higgins	636.4	0.0	32.6	31.8	13.8
Maule	1,686.9	0.3	49.5	150.6	57.5
Ñuble	1,102.0	-	137.5	173.5	45.0
Biobío	3,816.0	2.7	261.5	428.3	55.2
Araucanía	2,765.3	-	85.8	1,951.8	137.6
Los Ríos	1,692.8	-	54.0	18.6	14.6
Los Lagos	2,467.6	0.1	59.0	3.5	110.8
Aysén	556.7	-	0.0	5.1	7.6
Magallanes	229.5	-	0.0	45.7	6.1
Total	20,851.1	10.7	719.0	2,826.0	499.7

Fuente: Equipo técnico coordinador

10.5.1 Sector Energía (1)

El sector Energía contabiliza las emisiones de CN resultantes de la Industria de la energía, Industrias manufactureras y de la construcción, Transporte y Otros sectores; siendo esta última la más relevante. Para determinar la distribución regional de CN, al igual que en IRGEI, se usaron distintos indicadores para los años 1990 a 2013 y, para los años restantes de la serie (2014 - 2022) se utilizaron las estadísticas de uso energético levantadas en el Balance Nacional de Energía.

Durante el 2022 las regiones que aportaron la mayor cantidad de emisiones de CN al país, de acuerdo con la metodología de estimación de los inventarios presentados aquí, fueron las regiones de Biobío (18,3%), la Araucanía (13,3%), los Lagos (11,8%) y Metropolitana (9,7%), las que conformaron el 53,1% de las emisiones de CN del sector Energía y el 44,5% de las emisiones totales de CN de Chile.

Respecto de las emisiones del sector Energía, entre 1990 y 2022, se ve un alza en todo el país, salvo para la región de Arica y Parinacota y Magallanes. Esta alza está caracterizada por una contribución heterogénea que se refleja en una predominancia de emisiones de CN en la zona centro y sur del país, desde la región Metropolitana hasta Los Lagos. Esta zona se caracteriza por su gran densidad poblacional, el desarrollo de actividades industriales y la quema de leña residencial. En los últimos años de la serie también se incorpora la región de Antofagasta como una fuente importante de este sector, lo que se debe principalmente al desarrollo de actividades mineras y uso de maquinarias para dicho fin. Las regiones hacia el sur, por su parte se caracterizan por un alto consumo de leña residencial, la concentración de actividades agrícolas que se vinculan con la quema abierta de residuos de esta categoría.

Respecto al cambio en las emisiones de CN del sector entre el 2020 y el 2022, se aprecia un alza en todas las regiones salvo para Biobío, Araucanía y Magallanes; sin embargo, esta disminución es tan pequeña (no supera el 2%) que no logra revertir la tendencia al alza (Tabla 10-31).

Los resultados decadales de las emisiones de CN se presentan en la Tabla 10-30 y en la Figura 10-11.

Tabla 10-30. Emisiones regionales de CN (t) del sector Energía, serie 1990 – 2022.

Región	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2022
Arica y Parinacota	73,2	114,6	83,4	76,4	47,8	55,9	50,9	59,3
Tarapacá	82,1	141,7	240,9	219,3	305,5	362,1	362,7	435,1
Antofagasta	567,6	664,5	854,1	916,3	1.275,5	1.600,1	1.646,6	1.802,1
Atacama	165,9	261,4	268,5	236,8	320,5	459,5	389,6	468,7
Coquimbo	139,0	213,7	250,5	211,3	232,0	255,9	285,9	334,1
Valparaíso	686,0	878,9	929,3	1.046,9	835,2	882,4	767,9	767,6
Metropolitana	1.756,0	2.644,0	2.307,3	2.313,2	1.882,3	2.002,7	1.935,2	2.030,9
O'Higgins	449,5	528,4	571,5	574,8	591,6	616,4	603,4	636,4
Maule	1.092,7	1.160,3	1.220,6	1.204,4	1.333,4	1.429,5	1.655,4	1.686,9
Ñuble	666,2	741,6	747,5	802,5	906,7	963,2	876,4	1.102,0
Biobío	2.313,2	2.463,1	2.716,9	2.710,1	3.026,1	3.528,4	3.844,5	3.816,0
Araucanía	1.847,9	2.127,8	2.232,1	2.361,7	2.520,5	2.563,2	2.822,1	2.765,3
Los Ríos	935,7	1.006,7	1.344,5	1.385,7	1.480,6	1.909,4	1.391,4	1.692,8
Los Lagos	1.584,8	1.747,8	1.892,5	2.113,5	2.240,7	2.387,3	2.466,8	2.467,6
Aysén	342,9	361,2	409,6	424,4	473,8	529,7	547,1	556,7
Magallanes	270,6	298,5	256,6	299,0	223,8	244,3	233,2	229,5
Nacional	12.973,3	15.354,2	16.325,8	16.896,4	17.696,1	19.790,2	19.878,9	20.851,1

Fuente: Equipo técnico coordinador

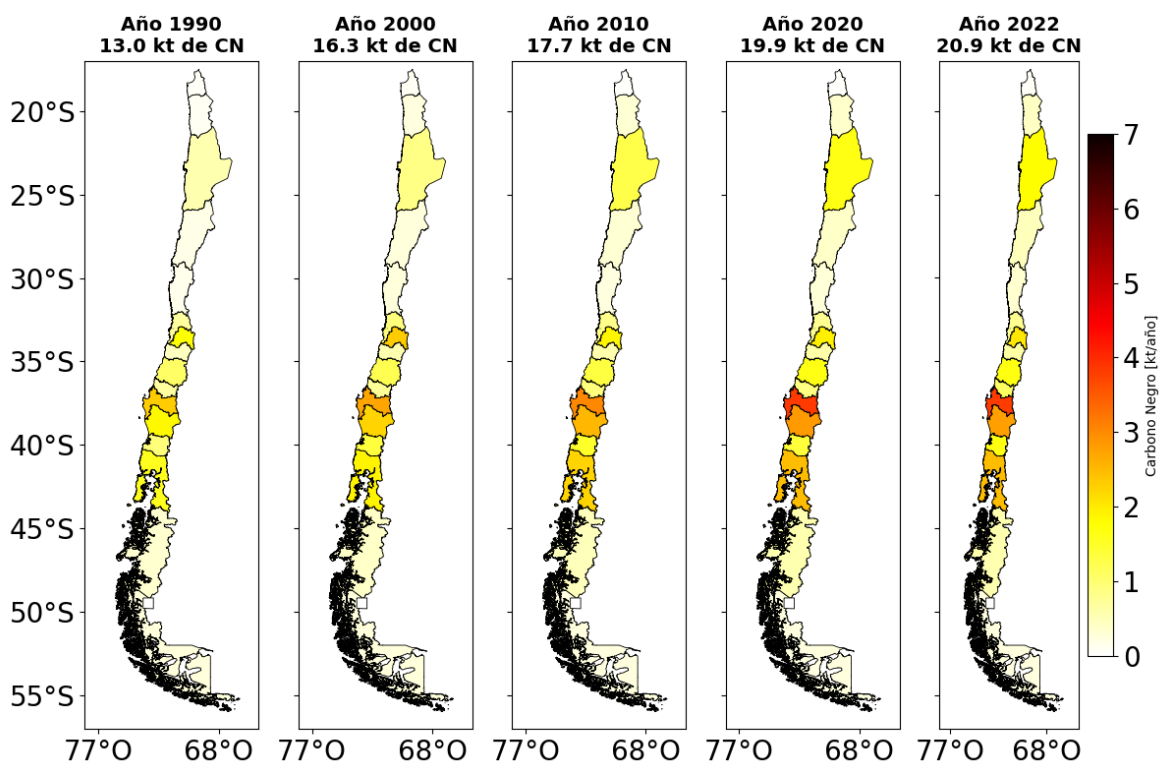


Figura 10-11. Emisiones anuales de CN del sector Energía, por región política de Chile para los años 1990, 2000, 2010, 2020 y 2022

Fuente: Equipo técnico coordinador

De acuerdo con los parámetros de distribución regional de las emisiones de CN del sector, corresponde destacar que las regiones que presentan una mayor tendencia al alza son aquellas donde se concentran las actividades industriales y ganaderas y aquellas que han sufrido frecuentes incendios forestales. Estas regiones son Biobío (48,9 kt CO₂ eq./año) y Antofagasta (40,0 kt CO₂ eq./año).

Considerando que las emisiones regionales del sector Residuos se relacionan directamente con el parámetro de crecimiento poblacional, esto explicaría por qué son las regiones del Biobío y Metropolitana las que muestran una mayor tendencia al incremento entre 1990 y 2022. Las pendientes que describen esta alza para cada una fueron 31,1 kt CO₂ eq./año y 88,7 kt CO₂ eq./año respectivamente; seguidas por Los Lagos, Araucanía y Los Ríos.

Tabla 10-31. Cambio en las emisiones regionales de CN para el sector Energía al año 2022 respecto de los años 1990, 2000, 2010 y 2020

Región	1990-2022	2000-2022	2010-2022	2020-2022
Arica y Parinacota	-18,9%	-28,8%	24,2%	16,6%
Tarapacá	430,1%	80,6%	42,4%	20,0%
Antofagasta	217,5%	111,0%	41,3%	9,4%
Atacama	182,5%	74,6%	46,3%	20,3%
Coquimbo	140,4%	33,4%	44,0%	16,9%
Valparaíso	11,9%	-17,4%	-8,1%	0,0%

Región	1990-2022	2000-2022	2010-2022	2020-2022
Metropolitana	15,7%	-12,0%	7,9%	4,9%
O'Higgins	41,6%	11,3%	7,6%	5,5%
Maule	54,4%	38,2%	26,5%	1,9%
Ñuble	65,4%	47,4%	21,5%	25,7%
Biobío	65,0%	40,5%	26,1%	-0,7%
Araucanía	49,6%	23,9%	9,7%	-2,0%
Los Ríos	80,9%	25,9%	14,3%	21,7%
Los Lagos	55,7%	30,4%	10,1%	0,0%
Aysén	62,4%	35,9%	17,5%	1,8%
Magallanes	-15,2%	-10,6%	2,6%	-1,6%
Nacional	60,7%	27,7%	17,8%	4,9%

Fuente: Equipo técnico coordinador

10.5.2 Sector Uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura (4)

El sector UTCUTS contabiliza las emisiones de CN resultantes de incendios forestales o quema de plantaciones. Estos ocurren mayoritariamente en la zona centro sur del país, en donde hay mayor presencia de tierras forestales. Para determinar la distribución regional de CN, al igual que en IRGEI, se usó estadística a escala regional.

Durante el 2022 las regiones que aportaron la mayor cantidad de emisiones de CN al país, de acuerdo con la metodología de estimación de los inventarios presentados aquí, fueron las regiones de Biobío (15,2%) y la Araucanía (69,1%), las que conformaron el 84,2% de las emisiones de CN del sector UTCUTS y el 9,6% de las emisiones totales de CN de Chile.

Respecto de las emisiones del sector UTCUTS, entre 1990 y 2022, éstas muestran una gran variabilidad temporal que no sigue una tendencia clara, ya que los resultados regionales dependen exclusivamente de eventos que suceden cada año. A pesar de lo anterior, los resultados decadales muestran mayores emisiones de CN al final de la serie, siendo particularmente altos en la región de la Araucanía. En la Tabla 10-32 y en la Figura 10-12 se observan las emisiones de CN regionales para el sector UTCUTS de manera decadal.

A pesar de lo anterior se observa históricamente una contribución heterogénea que se refleja en una predominancia de emisiones de CN en la zona centro y sur del país, desde la región del Maule a Los Lagos, siendo la región de la Araucanía la que presenta una mayor diferencia entre las emisiones de 1990 y las del 2022.

Respecto al cambio en las emisiones de CN del sector entre el 2020 y el 2022, se aprecia una disminución de emisiones de CN en nueve regiones del país, mientras que siete presentan un incremento significativo. Se destaca el cambio han sufrido las emisiones CN en Magallanes y que da cuenta que las fluctuaciones en este sector generan peaks de emisiones en la serie histórica.

Los resultados decadales de las emisiones de CN se presentan en la Tabla 10-32 y en la Figura 10-12.

Tabla 10-32. Emisiones regionales de CN (kt) del sector UTCUTS, serie 1990 – 2022.

Región	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2022
Arica y Parinacota	-	-	-	-	-	-	0,0	0,0
Tarapacá	-	-	-	-	-	-	0,0	0,0
Antofagasta	-	-	-	-	-	-	0,2	0,0
Atacama	0,0	0,0	0,0	0,0	-	-	0,1	0,0
Coquimbo	0,7	1,4	0,3	4,6	0,7	0,5	0,4	6,2
Valparaíso	27,4	24,9	17,3	40,1	78,4	18,7	71,6	8,1

Región	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2022
Metropolitana	4,5	8,6	9,9	13,8	31,9	6,2	8,1	2,8
O'Higgins	24,8	34,0	36,9	45,6	59,1	35,7	32,7	31,8
Maule	185,1	132,8	51,8	51,7	165,6	595,8	461,7	150,6
Ñuble	93,6	46,9	25,0	92,5	326,4	173,5	49,8	173,5
Biobío	146,2	172,3	98,3	201,9	187,5	800,4	400,1	428,3
Araucanía	213,2	206,2	158,0	412,5	59,7	2.066,7	1.373,1	1.951,8
Los Ríos	70,4	34,0	18,5	6,5	0,8	21,2	29,0	18,6
Los Lagos	46,4	26,2	7,8	4,3	0,5	149,2	2,6	3,5
Aysén	87,5	3,4	4,6	6,7	1,2	7,8	0,9	5,1
Magallanes	5,5	0,9	0,6	164,8	0,2	0,1	0,0	45,7
Nacional	905,4	691,4	429,1	1,044,8	912,1	3.875,7	2.430,5	2.826,0

Fuente: Equipo técnico coordinador

De acuerdo con los parámetros de distribución regional de las emisiones de CN del sector, corresponde destacar que, a pesar de los peaks, la region que presenta una mayor tendencia al alza es la región del Maule y de la Araucanía, con 33,5 kt CO₂ eq./año) y 23,9 kt CO₂ eq./año, respectivamente.

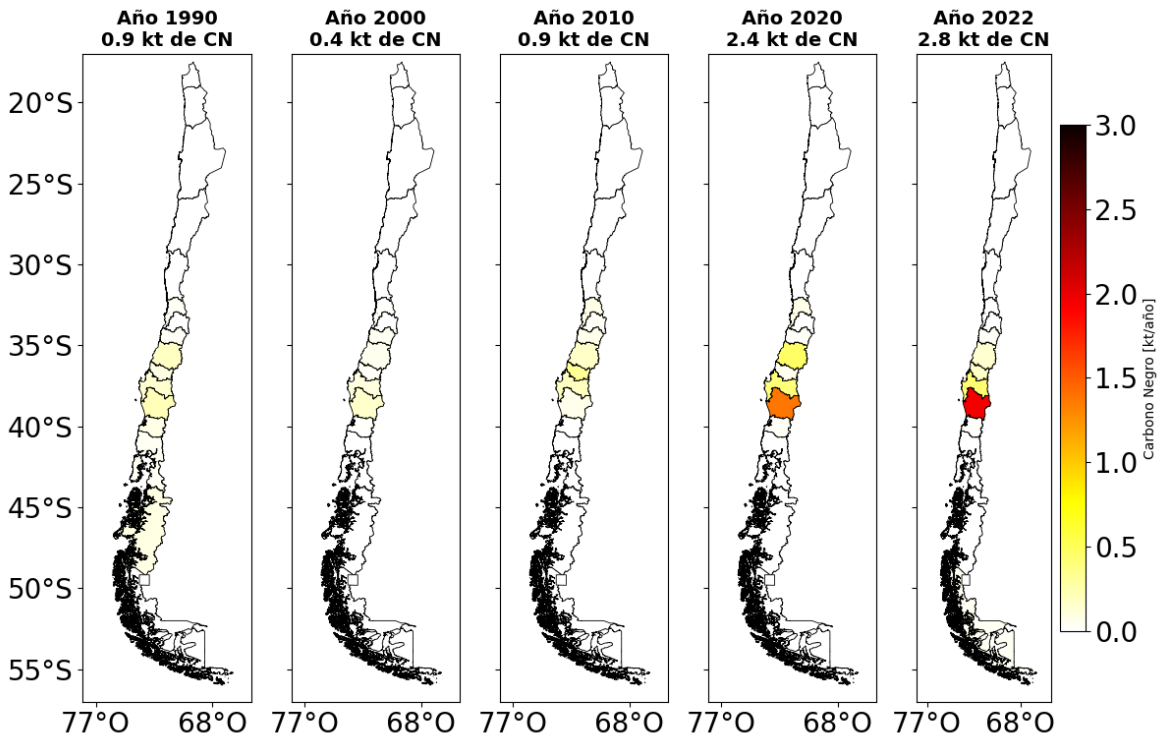


Figura 10-12. Emisiones anuales de CN del sector UTCUTS, por región política de Chile para los años 1990, 2000, 2010, 2020 y 2022

Fuente: Equipo técnico coordinador

Tabla 10-33. Cambio en las emisiones regionales de CN para el sector UTCUTS al año 2022 respecto de los años 1990, 2000, 2010 y 2020

Región	1990-2022	2000-2022	2010-2022	2020-2022
Arica y Parinacota				-56,1%
Tarapacá				-90,0%
Antofagasta				-91,2%
Atacama	14,0%	306,7%		-78,9%
Coquimbo	744,0%	1.926,8%	784,4%	1.347,2%
Valparaíso	-70,6%	-53,5%	-89,7%	-88,8%
Metropolitana	-38,7%	-72,0%	-91,3%	-65,8%
O'Higgins	28,4%	-13,7%	-46,1%	-2,7%
Maule	-18,7%	190,6%	-9,1%	-67,4%
Ñuble	85,2%	593,9%	-46,9%	248,1%
Biobío	193,0%	335,6%	128,4%	7,0%
Araucanía	815,6%	1.135,5%	3.170,5%	42,1%
Los Ríos	-73,6%	0,1%	2.188,6%	-35,9%
Los Lagos	-92,5%	-55,3%	554,3%	36,5%
Aysén	-94,1%	10,8%	341,9%	487,9%
Magallanes	728,0%	7.973,1%	19.263,2%	115.654,4%
Nacional	212,1%	558,7%	209,8%	16,3%

Fuente: Equipo técnico coordinador

10.6 IRGEI GPC

El Protocolo Global para Inventarios de Emisión de Gases de Efecto Invernadero a Escala Comunitaria (GPC, por sus siglas en inglés) ofrece prácticas globalmente aceptadas de cuantificación y reporte de emisiones para escala subnacional, permitiendo incluir en el análisis las emisiones generadas tanto dentro de los límites geográficos establecidos, como las que se producen en el exterior consecuencia de las actividades que tienen lugar dentro de éstos.

Entre los objetivos principales del protocolo, cuya contabilidad y reporte se basan en los principios de relevancia, completitud, consistencia, transparencia y precisión, está desarrollar *una línea base de emisiones, establecer metas de mitigación, crear planes de acción climática más específicos y hacer un seguimiento del progreso a través del tiempo*, como también *fortalecer las oportunidades para las ciudades de asociarse con otros niveles administrativos y aumentar el acceso a la financiación climática local e internacional*¹⁰³.

La construcción del inventario regional de emisiones de GEI de Chile mediante la metodología GPC no conforma una nueva estimación, sino más bien una categorización y agrupación de las emisiones del inventario regional de gases de efecto invernadero, obtenido a partir de la distribución de las estimaciones nacionales y de la asignación de GEI según la fuente de emisión o sumidero de absorción. De esta manera los sectores que se incluyen en la metodología GPC son: Energía estacionaria, Transporte, Residuos, Procesos industriales y uso de productos (IPPU) y Agricultura, silvicultura y otros usos del suelo (AFOLU).

¹⁰³ Protocolo Global para Inventarios de Emisión de Gases de Efecto Invernadero a Escala Comunitaria. https://ghgprotocol.org/sites/default/files/2022-12/GHGP_GPC%20%28Spanish%29.pdf

10.6.1 Metodología

De acuerdo con el lugar donde ocurren las emisiones de GEI, el GPC considera tres categorías: alcance 1, para aquellas emisiones que ocurren dentro de los límites geográficos definidos, alcance 3 para aquellas emisiones que ocurren fuera de estos límites y alcance 2 para aquellas emisiones asociadas al uso de la electricidad, vapor y/o calefacción/refrigeración suministrada en red, que pueden o no cruzar los límites geográficos establecidos. De acuerdo con lo anterior, el IRGEI presentado en el apartado anterior corresponde a las estimaciones de alcance 1 para los sectores de Energía, IPPU, Agricultura, UTCUTS y Residuos, donde se consideran sólo las emisiones “territoriales”.

Respecto al IRGEI GPC de Chile, éste se obtuvo seleccionando el nivel de reporte BÁSICO que cubre las emisiones de alcance 1 y alcance 2 provenientes de los sectores de Energía estacionaria y Transporte, así como las emisiones de alcance 1 provenientes del sector Residuos; adicionalmente se contabilizaron las emisiones de alcance 1 de los sectores IPPU y AFOLU.

En la Figura 10-13 se muestra la asignación regional de emisiones por metodología GPC, a partir de los datos sin UTUCTS del Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero de Chile. Su interpretación permite identificar con mayor representatividad las regiones que contribuyen en mayor proporción a las emisiones totales del país, permitiendo una asignación más justa al considerar las emisiones de alcance 2 que incluyen el consumo energético desde la red eléctrica y el transporte.

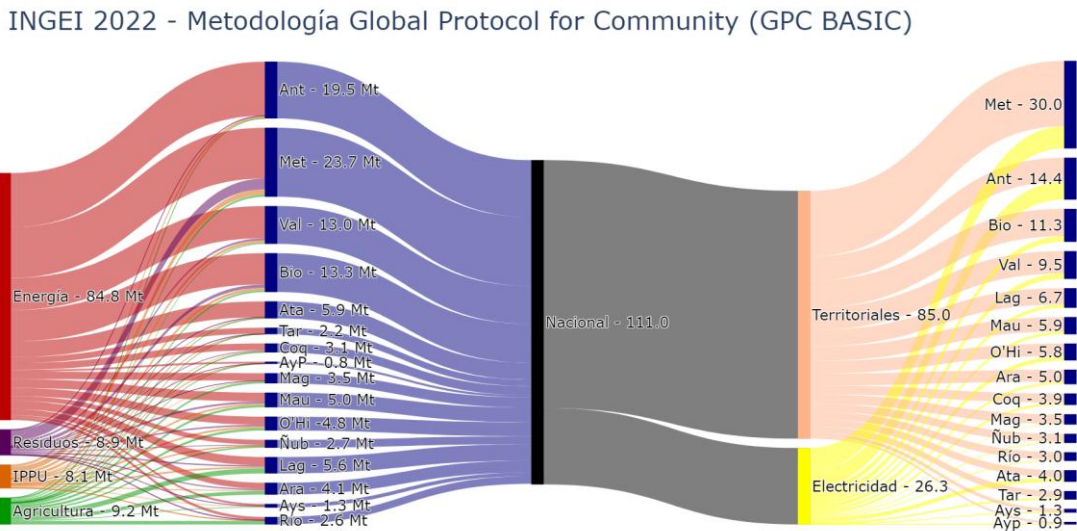


Figura 10-13. Diagrama de flujo de distribución de emisiones de GEI regionales (Mt) por metodología Global Protocol for Community (GPC BASIC).

Fuente: Equipo técnico coordinador

Si bien en la metodología seleccionada para construir el IRGEI GPC, nivel BASICO, las emisiones de los sectores de Residuos, IPPU y Agricultura son las mismas mencionadas en el Inventario Regional; los sectores de Energía Estacionaria y Transporte conforman una nueva categorización.

Durante el año 2022, la contribución porcentual de las regiones al total de emisiones nacionales obtenida por metodología GPC, fue liderada por la región Metropolitana (27%), Antofagasta (13%) y Biobío (10%). Entre las regiones que menos contribuyeron se encuentran Arica y Parinacota (con menos del 1%), Aysén (1%) y Tarapacá (3%).

Respecto al aporte por categoría, fue el Transporte de alcance 1 y la Energía estacionaria de alcance 1 las que contribuyeron en mayor porcentaje al total de emisiones GEI nacionales, con 27% y 25% respectivamente. A ellas les siguió la Energía estacionaria de alcance 2 con 23%, Residuos, IPPU y Agricultura (con aportes entre 7 y 8%) y finalmente el Transporte de alcance 2 con menos del 1%. En el sector de Energía estacionaria, las emisiones de alcance 1 o “territoriales”, que consideran las emisiones dentro de los límites regionales, fueron lideradas por la Región Metropolitana (23%), Antofagasta (19%), Biobío (14%) y Valparaíso (9%) mientras que, para Transporte de alcance, el mayor contribuyente fue la Región Metropolitana (32 %), seguida de Valparaíso (11%) y Biobío (10%).

Respecto a las emisiones de alcance 2, un 28 % de las emisiones nacionales de asociadas a Energía estacionaria fueron asignadas a la Región Metropolitana, mientras un 23 % a Antofagasta. Para Transporte de alcance 2, por su parte, el 58 % de las emisiones nacionales fueron asignadas a la Región Metropolitana, mientras que un 37 % a Antofagasta. Como estas emisiones responden a la actividad dentro de la región, pero suceden fuera, su explicación se relaciona con el crecimiento poblacional y el crecimiento del PIB, donde la Región Metropolitana ha experimentado la mayor alza, seguida de Antofagasta.

Tabla 10-34. Emisiones de GEI regionales (kt) por metodología por metodología Global Protocol for Community (GPC BASIC).

Región	Estacionaria		Transporte		Residuos	IPPU	Agricultura	Regional
	SC1	SC2	SC1	SC2				
Arica y Parinacota	139,4	111,3	480,5	0,0	40,9	61,7	36,0	869,8
Tarapacá	1.339,9	685,7	709,0	0,5	106,2	65,1	12,0	2.918,5
Antofagasta	5.404,6	5.962,8	1.855,8	174,9	183,6	771,7	8,9	14.362,3
Atacama	1.308,6	1.506,5	720,9	0,0	118,3	291,6	28,9	3.974,9
Coquimbo	866,9	904,3	1.419,8	0,0	316,5	262,4	162,8	3.932,8
Valparaíso	2.517,1	1.811,1	3.209,8	8,2	642,9	902,6	375,4	9.467,0
Metropolitana	6.518,9	7.277,3	9.636,4	277,6	3.675,5	1.882,6	699,2	29.967,5
O'Higgins	789,6	1.503,9	1.412,4	3,3	504,2	679,0	815,9	5.708,3
Maule	947,1	926,1	1.979,7	2,6	641,7	630,3	763,4	5.890,9
Ñuble	659,7	393,6	1.020,0	0,8	309,9	185,4	544,8	3.114,2
Biobío	3.923,0	1.907,5	2.856,5	7,6	1.143,8	892,5	578,9	11.309,8
Araucanía	547,6	887,7	1.527,0	0,0	437,9	311,3	1.265,7	4.977,3
Los Ríos	466,0	401,1	506,8	-	207,5	167,9	1.230,1	2.979,4
Los Lagos	921,4	1.128,3	1.906,3	2,2	441,4	563,9	1.777,8	6.741,2
Aysén	357,6	82,3	266,7	-	64,7	231,5	295,9	1.298,7
Magallanes	1.838,6	292,8	476,7	0,0	63,6	249,0	614,6	3.535,4
Nacional	28.546,0	25.782,4	29.984,1	477,7	8.898,6	8.148,6	9.210,6	111.048,1

Fuente: Equipo técnico coordinador

Cabe destacar que 9 de las 16 regiones que componen el país, todas ubicadas al norte de la Región del Biobío, concentran sus emisiones en los sectores de Transporte, Energía estacionaria de alcance 1 y Energía estacionaria de alcance 2. Desde la Región Metropolitana hacia el norte, estos sectores contribuyen en más de un 79% a las emisiones totales de cada región, mientras que hacia el sur de la Región de O'Higgins se aprecia una diversificación de las fuentes de emisión, apareciendo como otro gran contribuyente el sector Agricultura, que desplaza a los sectores de Energía estacionaria alcance 1 o 2. Si bien la contribución porcentual de los sectores Transporte y Energía estacionaria al total de emisiones de la región va disminuyendo hacia el sur, transporte se encuentra dentro de los tres sectores más emisores en todas las regiones del país al igual que Energía estacionaria de alcance 1, salvo para las regiones de O'Higgins, Araucanía y Los Lagos, donde las emisiones de Energía estacionaria de alcance 2 son mayores que las de alcance 1 y el aporte del sector Agricultura asciende a 14 %, 25 % y 26% respectivamente.

Finalmente se debe mencionar que para el año 2022 las emisiones asociadas a Energía estacionaria de alcance 2 estuvieron por sobre las emisiones de Energía estacionaria de alcance 1 en las regiones de Antofagasta, Atacama, Coquimbo, Metropolitana, O'Higgins, Araucanía y Los Lagos. Entre ellas destaca el caso de Antofagasta y Atacama, donde estas emisiones son las más altas de la región.

Tabla 10-35. Diferencia comparativa entre estimación de emisiones IRGEI (alcance 1) y por metodología GPC BASIC (kt), año 2022.

Región	GPC	IRGEI	Diferencia (kt)	Diferencia %
Arica y Parinacota	870	758	111	15%
Tarapacá	2.918	2.238	680	30%
Antofagasta	14.362	19.508	-5.146	-26%
Atacama	3.975	5.856	-1.881	-32%
Coquimbo	3.933	3.058	875	29%
Valparaíso	9.467	12.978	-3.511	-27%
Metropolitana	29.968	23.692	6.276	26%
O'Higgins	5.708	4.770	938	20%
Maule	5.891	5.049	842	17%
Ñuble	3.114	2.720	394	14%
Biobío	11.310	13.344	-2.034	-15%
Araucanía	4.977	4.099	878	21%
Los Ríos	2.979	2.578	401	16%
Los Lagos	6.741	5.629	1.113	20%
Aysén	1.299	1.279	19	2%
Magallanes	3.535	3.491	44	1%
Nacional	111.049	111.049	-	-

Fuente: Equipo técnico coordinador

Como se puede observar en la Tabla 10-35, la distribución de las emisiones por metodología GPC asignan una contribución considerablemente mayor para las regiones de Tarapacá, Coquimbo, Metropolitana, Araucanía, O'Higgins y Los Lagos (entre 20 % y 30% más que en IRGEI); mientras que para las regiones de Arica y Parinacota, Maule, Ñuble y Los Ríos, las emisiones GEI se incrementan entre un 15 y 19% con la metodología GPC. Por otra parte, las regiones que disminuyen sus emisiones por metodología GPC respecto al IRGEI, fueron la región de Atacama (- 32 %), Antofagasta (- 26%), Valparaíso (- 27%) y Biobío (-15 %).

Esta reasignación tiene su explicación en que al considerar el alcance 2, se deja de asumir que las emisiones provienen de fuentes puntuales o territoriales, si no que se asignan responsabilidades externas de demanda y consumo. Por esta razón, las regiones donde bajan las emisiones por metodología GPC respecto al IRGEI son las regiones donde se encuentran las principales centrales de producción de energía eléctrica, que están dentro del plan de descarbonización de Chile (Iquique, Tocopilla, Mejillones, Huasco, Puchuncaví y Coronel), que alimentan ciudades con crecimiento poblacional y donde se desarrollan procesos productivos, por ejemplo, actividad minera en Tarapacá.

Respecto del cambio de emisiones de GEI en la serie histórica 1990-2022, se observa un incremento en todas las regiones, salvo en Magallanes, que desde 1990 disminuyó en un 4% sus emisiones y desde 2020 en el 16%. El resto de las regiones muestra una tendencia al alza de las emisiones GEI, siendo Coquimbo y Atacama las que presentan un mayor incremento en comparación a 1990 (299% y 297% respectivamente). Sin perjuicio de lo anterior, es la región de Arica y Parinacota la que presenta una mayor tendencia al incremento entre 1990 y 2022 con 14 kt/CO₂ eq. año.

Tabla 10-36. Emisiones regionales de GEI (kt) por metodología GPC BASIC, serie 1990 – 2022.

Región	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2022
Arica y Parinacota	382	520	582	646	653	929	745	870
Tarapacá	873	1.110	1.956	2.227	2.861	3.864	2.619	2.918
Antofagasta	6.173	6.329	9.761	11.977	14.343	18.501	14.499	14.362
Atacama	1.002	1.329	1.669	1.623	2.683	3.542	3.866	3.975
Coquimbo	985	1.243	1.706	1.788	2.726	3.300	3.673	3.933
Valparaíso	4.882	5.581	6.716	7.698	7.039	8.332	8.751	9.467
Metropolitana	8.884	12.372	15.615	16.694	20.517	24.914	28.096	29.968
O'Higgins	1.754	2.130	2.736	2.780	3.755	4.473	5.135	5.708
Maule	2.289	2.897	3.126	3.099	3.843	4.444	5.215	5.891
Ñuble	1.470	1.736	1.873	2.149	2.303	2.370	2.807	3.114
Biobío	7.527	7.494	8.296	9.043	7.998	9.808	9.612	11.310
Araucanía	2.553	3.195	3.596	3.536	3.915	4.200	4.536	4.977
Los Ríos	1.461	1.692	2.007	2.168	2.378	2.558	2.831	2.979
Los Lagos	2.885	3.530	4.548	4.138	4.732	5.002	6.138	6.741
Aysén	510	593	682	735	823	940	988	1.299
Magallanes	3.677	4.240	4.900	6.020	4.508	3.629	4.203	3.535
Nacional	47.307	55.990	69.768	76.321	85.077	100.805	103.715	111.049

Fuente: Equipo técnico coordinador

Cabe mencionar que la tendencia al incremento de emisiones GEI que muestran las regiones responde principalmente a la tendencia de las categorías Energía estacionaria y Transporte, tanto de alcance 1 como de alcance 2, ya que éstas emisiones conforman más del 54% del total de emisiones para cada región, conformando incluso para algunas más del 80%. La variación de las emisiones en la serie histórica para las categorías Energía estacionaria alcance 1 y 2, y Transporte alcance 1 y 2 acumulado, se observa en la Tabla 10-37.

Tabla 10-37. Cambio en las emisiones regionales de GEI (kt) por metodología GPC BASIC, al año 2022 respecto de los años 1990, 2000, 2010 y 2020. Categorías Energía estacionaria y transporte, alcance 1 y 2.

Región	1990-2022	2000-2022	2010-2022	2020-2022
Arica y Parinacota	133%	45%	28%	19%
Tarapacá	224%	43%	-2%	11%
Antofagasta	138%	51%	-1%	-1%
Atacama	276%	132%	46%	6%
Coquimbo	383%	140%	47%	8%
Valparaíso	82%	32%	25%	6%

Región	1990-2022	2000-2022	2010-2022	2020-2022
Metropolitana	217%	83%	38%	7%
O'Higgins	283%	117%	52%	13%
Maule	252%	116%	63%	17%
Ñuble	181%	86%	40%	17%
Biobío	48%	38%	48%	20%
Araucanía	313%	103%	67%	16%
Los Ríos	358%	136%	70%	17%
Los Lagos	306%	78%	81%	16%
Aysén	496%	204%	105%	36%
Magallanes	3%	-28%	-26%	-23%
Nacional	154%	64%	29%	7%

Fuente: Equipo técnico coordinador

10.7 Plan de mejoramiento

Como parte del trabajo realizado se destacaron distintas brechas que se necesitan superar para tener inventarios regionales que sean aún más representativos. Aquí se deja una lista de tareas a ser incluidas en futuras actualizaciones que servirán para mejorar las estimaciones presentadas en este informe.

- Integrar nueva información (2024) recopilada mediante estudios tanto para mejorar el inventario regional del sector IPPU, con nueva distribución de HFC, como también para carbono negro.
- Verificar indicadores o proxys de categorías principales, tales como transporte terrestre o generación de electricidad.
- Actualizar distribución de maquinarias en las industrias. Actualmente siguen solo la distribución de las industrias, pero no se ha verificado la existencia de las distintas actividades en cada región.