



Ministerio del
Medio
Ambiente



SNIChile
Sistema Nacional de Inventarios
de Gases de Efecto Invernadero

Informe del Inventario Nacional de Chile 2022:
**Inventario nacional de gases de efecto
invernadero y otros contaminantes
climáticos 1990-2020**

**Departamento de Mitigación y Transparencia
División de Cambio Climático
Ministerio del Medio Ambiente**

Febrero 2023, Chile

CONTACTO SNICHILE

Nombre de contacto:	Richard Martínez Caro
Cargo:	Coordinador del SNICHILE
Organización:	Ministerio del Medio Ambiente
Correo electrónico:	rmartinez@mma.gob.cl
URL:	https://snichile.mma.gob.cl/

LISTADO DE AUTORES

Editores	Richard Martínez, Kevin Basoa
Capítulo 1	Richard Martínez
Capítulo 2	Richard Martínez y Kevin Basoa
Capítulo 3	Sergio Cáceres y Rubén Guzmán
Capítulo 4	Kevin Basoa y Camila Labarca
Capítulo 5	Marta Alfaro, Francisco Salazar y Carol Ricciardi
Capítulo 6	Yasna Rojas, Eduardo Molina, Carlos Bahamondez, Rodrigo Sagardía, Mauricio Gómez, Federico An-der Fuhren, Mauricio Gómez, Natalia Becar, Elke Huss, Abraham Albornoz, Georgina Trujillo y Macarena Moncada
Capítulo 7	Camila Labarca y Kevin Basoa
Capítulo 8	Richard Martínez y Kevin Basoa
Capítulo 9	Kevin Basoa
Capítulo 10	Kevin Basoa

CITA

Ministerio del Medio Ambiente. (2023). *Informe del Inventario Nacional de Chile 2022: Inventario nacional de gases de efecto invernadero y otros contaminantes climáticos 1990-2020*. División de Cambio Climático. Santiago, Chile.

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

Equipo Técnico Coordinador
Coordinador del SNICHILE Richard Martinez (Ministerio del Medio Ambiente)
Compiladores del INGEI de Chile Richard Martínez y Kevin Basoa (Ministerio del Medio Ambiente)
Apoyo a la compilación Paula Carrasco (Ministerio del Medio Ambiente)
Equipo técnico de Energía
 Rubén Guzmán, Sergio Cáceres (Ministerio de Energía)
Equipo técnico de Procesos industriales y uso de productos
 Kevin Basoa, Camila Labarca y Dolores González (Ministerio del Medio Ambiente)
Equipo coordinador AFOLU
 Jaime Giacomozzi (Ministerio de Agricultura)
Equipo técnico de Agricultura
 Marta Alfaro y Francisco Salazar (Instituto de Investigaciones Agropecuarias) Carol Ricciardi (Apoyo)
Equipo técnico de UTCUTS
 Yasna Rojas, Carlos Bahamondez, Eduardo Molina y Rodrigo Sagardía (Instituto Forestal) Federico An-der Fuhren, Mauricio Gómez, Elke Huss, Abraham Albornoz, Natalia Becar, Georgina Trujillo y Macarena Moncada (Corporación Nacional Forestal)
Equipo técnico de Residuos
 Camila Labarca y Kevin Basoa (Ministerio del Medio Ambiente)

CONTENIDOS

1	INTRODUCCIÓN	14
1.1	Inventarios nacionales de gases de efecto invernadero.....	14
1.2	Contexto internacional	15
1.2.1	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.....	15
1.2.2	Acuerdo de París.....	16
1.3	Arreglos institucionales para la elaboración de los INGEI de Chile.....	16
1.4	Proceso de actualización del INGEI de Chile	20
1.5	Metodología y principales fuentes de información	21
1.6	Métrica	23
1.7	Evaluación general de la incertidumbre	23
1.8	Evaluación general de la exhaustividad	24
1.9	Identificación de categorías principales	25
1.10	Análisis preliminar de implementación del Marco Reforzado de Transparencia para la presentación de la información del Inventario Nacional de gases de efecto invernadero	26
2	TENDENCIA	36
2.1	Tendencias de las emisiones y absorciones de GEI por sector	2.41
2.2	Tendencias de las emisiones y absorciones por GEI	2.43
2.3	Indicadores de intensidad de GEI	2.45
2.4	Tendencia de las emisiones de GEI por autoridad sectorial	2.46
3	SECTOR ENERGÍA (1)	3.48
3.1	Panorama general	3.49
3.1.1	Introducción.....	3.49
3.1.2	Tendencia de las emisiones de GEI	3.49
3.1.3	Tendencia del consumo de energéticos en el país.....	3.54
3.1.4	Aspectos metodológicos generales del sector	3.55
3.1.5	Datos de actividad del sector	3.56
3.2	Actividades de quema de combustible (1.A.)	62
3.2.1	Descripción de la categoría	62
3.2.2	Tendencia de las emisiones de GEI	62
3.2.3	Aspectos metodológicos de la categoría.....	64
3.2.4	Comparación entre el Método de referencia y el Método sectorial.....	65
3.2.5	Comparación entre información internacional y el Método sectorial	69
3.2.6	Combustible del transporte internacional	70
3.2.7	Partidas informativas: Emisiones de CO ₂ de Biomasa y uso no energético	74
3.2.8	Industrias de la energía (1.A.1)	78
3.2.9	Industrias manufactureras y de la construcción (1.A.2.).....	90
3.2.10	Transporte (1.A.3.).....	98

3.2.11	Otros sectores (1.A.4.)	110
3.2.12	No especificado (1.A.5.)	116
3.3	Emisiones fugitivas (1.B.)	120
3.3.1	Descripción de la categoría	120
3.3.2	Tendencia de las emisiones de GEI	120
3.3.3	Combustibles sólidos (1.B.1.)	121
3.3.4	Petróleo y gas natural (1.B.2.)	126
3.3.5	Otras emisiones provenientes de la producción de energía (1.B.3.)	132
3.4	Transporte y almacenamiento de CO ₂ (1.C.)	132
3.5	Nuevos cálculos	132
3.5.1	Nuevos cálculos Industrias de la energía (1.A.1)	133
3.5.2	Nuevos cálculos Industrias manufactureras y de la construcción (1.A.2)	133
3.5.3	Nuevos cálculos Transporte (1.A.3)	135
3.5.4	Nuevos cálculos Otros sectores (1.A.4)	136
3.5.5	Nuevos cálculos Combustible sólidos (1.B.1)	136
3.5.6	Nuevos cálculos Petróleo y gas natural (1.B.2)	136
3.6	Procedimiento de garantía y control de la calidad y verificación	136
3.6.1	Control de la calidad en Actividades de quema de combustible (1.A)	136
3.6.2	Control de la calidad en Emisiones fugitivas (1.B)	137
3.6.3	Garantía de la calidad	138
3.6.4	Verificación	138
3.7	Plan de mejoramiento continuo	138
3.7.1	Industrias de la energía (1.A.1)	138
3.7.2	Industrias manufactureras y de la construcción (1.A.2)	138
3.7.3	Transporte (1.A.3)	139
3.7.4	Otros sectores (1.A.4)	139
3.7.5	No especificado (1.A.5)	139
3.7.6	Combustibles sólidos (1.B.1)	139
3.7.7	Petróleo y gas natural (1.B.2)	139
3.7.8	Resumen del Plan de mejoramiento continuo	140
4	SECTOR PROCESOS INDUSTRIALES Y USO DE PRODUCTOS (2)	142
4.1	Panorama general	143
4.1.1	Introducción	143
4.1.2	Tendencia de las emisiones de GEI	143
4.1.3	Aspectos metodológicos generales del sector	147
4.1.4	Datos de actividad del sector	148
4.2	Industria de los minerales (2.A.)	148
4.2.1	Descripción de la categoría	148
4.2.2	Tendencia de las emisiones de GEI	148
4.2.3	Aspectos metodológicos de la categoría	149
4.2.4	Producción de cemento (2.A.1.)	150

4.2.5	Producción de cal (2.A.2.)	156
4.2.6	Producción de vidrio (2.A.3.).....	161
4.2.7	Otro uso de carbonatos en los procesos (2.A.4.)	164
4.2.8	Otros (2.A.5.).....	167
4.3	Industria química (2.B.)	167
4.3.1	Descripción de la categoría	167
4.3.2	Tendencia de las emisiones de GEI	167
4.3.3	Aspectos metodológicos de la categoría.....	168
4.3.4	Producción de amoníaco (2.B.1.)	169
4.3.5	Producción de ácido nítrico (2.B.2.)	169
4.3.6	Producción de ácido adípico (2.B.3.).....	173
4.3.7	Producción de caprolactama glioxil y ácido glioxílico (2.B.4.).....	173
4.3.8	Producción de carburo (2.B.5.)	173
4.3.9	Producción de dióxido de titanio (2.B.6.).....	173
4.3.10	Producción de ceniza de sosa (2.B.7.).....	173
4.3.11	Producción petroquímica y de negro de humo (2.B.8.)	173
4.3.12	Producción fluoroquímica (2.B.9.)	180
4.3.13	Otros (2.B.10.).....	180
4.4	Industria de los metales (2.C.)	181
4.4.1	Descripción de la categoría	181
4.4.2	Tendencia de las emisiones de GEI	181
4.4.3	Aspectos metodológicos de la categoría.....	182
4.4.4	Producción de hierro y acero (2.C.1.).....	183
4.4.5	Producción de ferroaleaciones (2.C.2.)	188
4.4.6	Producción de aluminio (2.C.3.).....	190
4.4.7	Producción de magnesio (2.C.4.)	190
4.4.8	Producción de plomo (2.C.5.).....	191
4.4.9	Producción de cinc (2.C.6.).....	193
4.4.10	Otros (2.C.7.).....	193
4.5	Uso de productos no energéticos de combustibles y de solventes (2.D.)	194
4.5.1	Descripción de la categoría	194
4.5.2	Tendencia de las emisiones de GEI	194
4.5.3	Aspectos metodológicos de la categoría.....	195
4.5.4	Uso de lubricantes (2.D.1.).....	195
4.5.5	Uso de la cera de parafina (2.D.2.).....	199
4.5.6	Uso de solventes (4.D.3.)	202
4.5.7	Otros (4.D.4.)	202
4.6	Industria electrónica (2.E.).....	202
4.7	Uso de productos sustitutos de las sustancias que agotan la capa de ozono (2.F.)	202
4.7.1	Descripción de la categoría	202

4.7.2	Tendencia de las emisiones de GEI	203
4.7.3	Aspectos metodológicos de la categoría.....	204
4.7.4	Refrigeración y aire acondicionado (2.F.1.).....	205
4.7.5	Agentes espumantes (2.F.2.).....	217
4.7.6	Protección contra incendios (2.F.3.)	221
4.7.7	Aerosoles (2.F.4.)	225
4.7.8	Solventes (2.F.5.).....	228
4.7.9	Otras aplicaciones (2.F.6.).....	231
4.8	Manufactura y utilización de otros productos (2.G.).....	231
4.8.1	Descripción de la categoría	231
4.8.2	Tendencia de las emisiones de GEI	231
4.8.3	Aspectos metodológicos de la categoría.....	232
4.8.4	Equipos eléctricos (2.G.1.)	233
4.8.5	SF ₆ y PFC de otros usos de productos (2.G.2.)	238
4.8.6	N ₂ O de otros usos de productos (2.G.3.)	239
4.8.7	Otros (2.G.4.)	242
4.9	Otros (2.H.).....	242
5	SECTOR AGRICULTURA (3).....	243
5.1	Panorama general	244
5.1.1	Introducción.....	244
5.1.2	Tendencia de las emisiones de GEI	244
5.1.3	Aspectos metodológicos generales del sector	247
5.1.4	Datos de actividad del sector.....	248
5.2	Fermentación entérica (3.A.).....	248
5.2.1	Descripción de la categoría	248
5.2.2	Tendencia de las emisiones de GEI	249
5.2.3	Aspectos metodológicos de la categoría.....	250
5.2.4	Datos de actividad de la categoría	251
5.2.5	Ganado bovino (3.A.1.)	253
5.2.6	Ovinos (3.A.2.).....	264
5.2.7	Porcinos (3.A.3.).....	267
5.2.8	Otras especies (3.A.4.)	272
5.3	Gestión del estiércol (3.B.)	276
5.3.1	Descripción de la categoría	276
5.3.2	Tendencia de las emisiones de GEI	277
5.3.3	Aspectos metodológicos de la categoría.....	278
5.3.4	Datos de actividad de la categoría	278
5.3.5	Ganado bovino (3.B.1.)	279
5.3.6	Ovinos (3.B.2.).....	288
5.3.7	Porcinos (3.B.3.).....	292
5.3.8	Otras especies (3.B.4.)	298

5.3.9	Emisiones indirectas de N ₂ O resultantes de la gestión del estiércol (3.B.5.)	304
5.4	Cultivo del arroz (3.C.)	309
5.4.1	Descripción de la categoría	309
5.4.2	Tendencia de las emisiones de GEI	309
5.4.3	Aspectos metodológicos de la categoría.....	310
5.4.4	Incertidumbre	314
5.4.5	Consistencia de la serie temporal	314
5.4.6	Procedimientos de garantía y control de la calidad y verificación	314
5.4.7	Nuevos cálculos	315
5.4.8	Plan de mejoramiento	316
5.5	Suelos agrícolas (3.D.).....	316
5.5.1	Descripción de la categoría	316
5.5.2	Tendencia de las emisiones de GEI	317
5.5.3	Aspectos metodológicos de la categoría.....	318
5.5.4	Emisiones directas de N ₂ O de suelos agrícolas (3.D.1.)	318
5.5.5	Emisiones indirectas de N ₂ O de suelos agrícolas (3.D.2.)	326
5.5.6	Descripción de la categoría	332
5.6	Quema de residuos agrícolas en el campo (3.F.)	332
5.6.1	Descripción de la categoría	332
5.6.2	Tendencia de las emisiones de GEI	333
5.6.3	Aspectos metodológicos de la categoría.....	333
5.6.4	Datos de actividad de la categoría	334
5.6.5	Cereales y otros cultivos (3.F.1.)	334
5.6.6	Frutícolas (3.F.2.)	341
5.7	Encalado (3.G.)	347
5.7.1	Descripción de la categoría	347
5.7.2	Tendencia de las emisiones de GEI	347
5.7.3	Aspectos metodológicos de la categoría.....	348
5.7.4	Incertidumbre	350
5.7.5	Consistencia de la serie temporal	350
5.7.6	Procedimientos de garantía y control de la calidad y verificación	351
5.7.7	Nuevos cálculos	352
5.7.8	Plan de mejoramiento	352
5.8	Aplicación de urea (3.H.)	352
5.8.1	Descripción de la categoría	352
5.8.2	Tendencia de las emisiones de GEI	352
5.8.3	Aspectos metodológicos de la categoría.....	353
5.8.4	Incertidumbre	355
5.8.5	Consistencia de la serie temporal	355
5.8.6	Procedimientos de garantía y control de la calidad y verificación	356

5.8.7	Verificación	356
5.8.8	Nuevos cálculos	356
5.8.9	Plan de mejoramiento	356
5.9	Otros fertilizantes que contienen carbono (3.I.).....	356
5.10	Otros (3.J.)	356
6	SECTOR USO DE LA TIERRA, CAMBIOS EN EL USO DE LA TIERRA Y SILVICULTURA (4)	357
6.1	Panorama general	358
6.1.1	Introducción.....	358
6.1.2	Tendencia de las emisiones de GEI	359
6.1.3	Aspectos metodológicos generales del sector	364
6.2	Definiciones de uso de la tierra y los sistemas de clasificación utilizados	365
6.3	Métodos utilizados para la representación de las tierras.....	370
6.3.1	Matriz de cambio de usos de la tierra.....	374
6.4	Tierras forestales (4.A.)	376
6.4.1	Descripción de la categoría	376
6.4.2	Tendencia de las emisiones de GEI	378
6.4.3	Aspectos metodológicos de la categoría.....	383
6.4.4	Incertidumbre	403
6.4.5	Consistencia de la serie temporal	404
6.4.6	Procedimiento de garantía y control de calidad	404
6.4.7	Nuevos cálculos	405
6.4.8	Plan de mejoramiento	408
6.5	Tierras de cultivo (4.B.).....	410
6.5.1	Descripción de la categoría	410
6.5.2	Tendencia de las emisiones de GEI	410
6.5.3	Aspectos metodológicos de la categoría.....	412
6.5.4	Incertidumbre	417
6.5.5	Consistencia de la serie temporal	417
6.5.6	Procedimiento de garantía y control de calidad	417
6.5.7	Nuevos cálculos	418
6.5.8	Plan de mejoramiento	418
6.6	Pastizales (4.C.).....	419
6.6.1	Descripción de la categoría	419
6.6.2	Tendencia de las emisiones de GEI	419
6.6.3	Aspectos metodológicos de la categoría.....	422
6.6.4	Incertidumbre	425
6.6.5	Consistencia de la serie temporal	425
6.6.6	Procedimiento de garantía y control de calidad	425
6.6.7	Nuevos cálculos	426
6.6.8	Plan de mejoramiento	427
6.7	Humedales (4.D.).....	428

6.7.1	Descripción de la categoría	428
6.7.2	Tendencia de las emisiones de GEI	428
6.7.3	Aspectos metodológicos de la categoría.....	430
6.7.4	Incertidumbre	431
6.7.5	Consistencia de la serie temporal	431
6.7.6	Procedimiento de garantía y control de calidad y verificación	431
6.7.7	Nuevos cálculos	432
6.7.8	Plan de mejoramiento	433
6.8	Asentamientos (4.E.)	433
6.8.1	Descripción de la categoría	433
6.8.2	Tendencia de las emisiones de GEI	434
6.8.3	Aspectos metodológicos de la categoría.....	435
6.8.4	Incertidumbre	438
6.8.5	Consistencia de la serie temporal	438
6.8.6	Procedimiento de garantía y control de calidad y verificación	438
6.8.7	Nuevos cálculos	439
6.8.8	Plan de mejoramiento	439
6.9	Otras tierras (4.F.).....	440
6.9.1	Descripción de la categoría	440
6.9.2	Tendencia de las emisiones de GEI	440
6.9.3	Aspectos metodológicos de la categoría.....	442
6.9.4	Incertidumbre	443
6.9.5	Consistencia de la serie temporal	444
6.9.6	Procedimiento de garantía y control de calidad y verificación	444
6.9.7	Nuevos cálculos	444
6.9.8	Plan de mejoramiento	445
6.10	Productos de la Madera Recolectada (4.G.)	446
6.10.1	Descripción de la categoría	446
6.10.2	Tendencia de las emisiones de GEI	446
6.10.3	Aspectos metodológicos de la categoría.....	447
6.10.4	Incertidumbre	450
6.10.5	Consistencia de la serie temporal	451
6.10.6	Procedimiento de garantía y control de calidad y verificación	451
6.10.7	Plan de mejoramiento	451
7	SECTOR RESIDUOS (5)	453
7.1	Panorama general	454
7.1.1	Introducción.....	454
7.1.2	Tendencia de las emisiones de GEI	455
7.1.3	Aspectos metodológicos generales del sector	457
7.1.4	Datos de actividad del sector	458
7.2	Disposición de residuos sólidos (5.A.).....	458

7.2.1	Descripción de la categoría	458
7.2.2	Tendencia de las emisiones de GEI	459
7.2.3	Aspectos metodológicos de la categoría.....	461
7.2.4	Incertidumbre	471
7.2.5	Consistencia de la serie temporal	471
7.2.6	Procedimiento de garantía y control de la calidad y verificación	472
7.2.7	Nuevos cálculos	472
7.2.8	Plan de mejoramiento	473
7.3	Tratamiento biológico de los residuos sólidos (5.B.)	474
7.3.1	Descripción de la categoría	474
7.3.2	Tendencia de las emisiones de GEI	474
7.3.3	Aspectos metodológicos de la categoría.....	475
7.3.4	Incertidumbre	477
7.3.5	Consistencia de la serie temporal	477
7.3.6	Procedimiento de garantía y control de la calidad y verificación	478
7.3.7	Nuevos cálculos	478
7.3.8	Plan de mejoramiento	479
7.4	Incineración e incineración abierta de residuos (5.C.).....	479
7.4.1	Descripción de la categoría	479
7.4.2	Tendencia de las emisiones de GEI	479
7.4.3	Aspectos metodológicos de la categoría.....	480
7.4.4	Incineración de residuos (5.C.1.).....	480
7.4.5	Incineración abierta de residuos (5.C.2.)	485
7.4.6	Nuevos cálculos	490
7.4.7	Plan de mejoramiento	491
7.5	Tratamiento y descarga de aguas residuales (5.D.)	491
7.5.1	Descripción de la categoría	491
7.5.2	Tendencia de las emisiones de GEI	491
7.5.3	Aspectos metodológicos de la categoría.....	493
7.5.4	Tratamiento y descarga de aguas residuales domésticas (5.D.1.)	493
7.5.5	Tratamiento y descarga de aguas residuales industriales (5.D.2.)	510
8	NUEVOS CÁLCULOS.....	517
9	CARBONO NEGRO.....	520
9.1	Panorama general	521
9.1.1	Introducción.....	521
9.1.2	Carbono negro	521
9.1.3	Tendencia de las emisiones de carbono negro	522
9.1.4	Aspectos metodológicos generales.....	523
9.1.5	Datos de actividad	523
9.2	Sector Energía (1)	523
9.2.1	Tendencia de las emisiones de carbono negro	523

9.2.2	Datos de actividad estadísticos y paramétricos	524
9.2.3	Industrias de la energía (1.A.1)	525
9.2.4	Industrias manufactureras y de la construcción (1.A.2).....	528
9.2.5	Transporte (1.A.3).....	542
9.2.6	Otros sectores (1.A.4)	548
9.2.7	No especificado (1.A.5)	552
9.2.8	Partidas informativas	553
9.3	Sector procesos industriales y uso de productos (2)	554
9.3.1	Tendencia de las emisiones de carbono negro	554
9.3.2	Aspectos metodológicos	555
9.3.3	Factores de emisión	556
9.3.4	Procedimiento de garantía y control de la calidad y verificación	556
9.3.5	Nuevos cálculos	556
9.3.6	Plan de mejoramiento	556
9.4	Sector Agricultura (3).....	556
9.4.1	Tendencia de las emisiones de carbono negro	556
9.4.2	Aspectos metodológicos	557
9.4.3	Factores de emisión	558
9.4.4	Procedimiento de garantía y control de la calidad y verificación	558
9.4.5	Nuevos cálculos	558
9.4.6	Plan de mejoramiento	558
9.5	Sector Uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura (4)	558
9.5.1	Tendencia de las emisiones de carbono negro	558
9.5.2	Aspectos metodológicos	560
9.5.3	Factores de emisión	560
9.5.4	Procedimiento de garantía y control de la calidad y verificación	561
9.5.5	Nuevos cálculos	561
9.5.6	Plan de mejoramiento	561
9.6	Sector Residuos (5)	561
9.6.1	Tendencia de las emisiones de carbono negro	561
9.6.2	Aspectos metodológicos	562
9.6.3	Factores de emisión	562
9.6.4	Procedimiento de garantía y control de la calidad y verificación	563
9.6.5	Nuevos cálculos	563
9.6.6	Plan de mejoramiento	563
9.7	Nuevos cálculos	563
10	INVENTARIOS REGIONALES	565
10.1	Introducción	566
10.2	Aspectos metodológicos.....	566
10.3	Tendencia de emisiones y absorciones por tipo de GEI y CN	570
10.3.1	Gases de efecto invernadero	570

10.3.2	Carbono negro	572
10.4	Inventario regional de gases de efecto invernadero	574
10.4.1	Sector Energía (1).....	575
10.4.2	Sector Procesos industriales y uso de productos (2).....	576
10.4.3	Sector Agricultura (3)	577
10.4.4	Sector Uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura (4).....	578
10.4.5	Sector Residuos (5)	579
10.5	Inventario regional de carbono negro	580
10.5.1	Sector Energía (1).....	581
10.5.2	Sector Uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura (4).....	582
10.6	Nuevos cálculos	583
10.7	Plan de mejoramiento	584
Referencias	585
General	585
Sector Energía	586
Sector Procesos industriales y uso de productos	586
Sector Agricultura	587
Sector Residuos	591
Carbono negro	593

1 INTRODUCCIÓN

El presente documento corresponde al Quinto Informe del Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero de Chile (IIN), serie 1990-2020. Este documento contiene la tendencia de emisiones y absorciones de gases de efecto invernadero (GEI) de Chile presentada en el capítulo 2 del Quinto Informe Bienal de Actualización sobre Cambio Climático de Chile, presentado ante la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) en diciembre de 2022¹.

El IIN corresponde a un documento técnico que describe la tendencia de GEI nacional, la metodología utilizada, datos de actividad, factores de emisión, supuestos, así como el desarrollo de los temas transversales relacionados con el inventario. El IIN también contiene información general sobre los esfuerzos nacionales para la elaboración periódica, oportuna y adecuada del inventario nacional de gases de efecto invernadero (INGEI) tarea principal del Sistema Nacional de Inventarios de Gases de Efecto Invernadero de Chile (SNICHILE).

En cuanto a su alcance, el INGEl de Chile considera las emisiones y absorciones de las fuentes y sumideros antropógenos de todo el territorio nacional para una serie temporal de 1990 a 2020. Se consideraron los gases de CO₂, CH₄, N₂O, HFC, PFC y SF₆, gases precursores y carbono negro. Para efecto de los GEI, se utilizó como métrica los potenciales de calentamiento global del Cuarto Informe de Evaluación (AR4) del Panel Intergubernamental de Expertos de Cambio Climático (IPCC). Adicionalmente se incluye una desagregación de las estimaciones a nivel de las dieciséis regiones administrativas del país. El inventario fue estimado utilizando las *Directrices del IPCC de 2006 para la elaboración de inventarios nacionales de gases de efecto invernadero (Directrices del IPCC de 2006 en lo sucesivo)*, considerando como directrices de reporte de la CMNUCC para la presentación de Informes Bienales de Actualización (de acuerdo con el Anexo III de la dec.2/CP.17²) como las Modalidades, procedimientos y directrices para la implementación del marco reforzado de transparencia del acuerdo de París.

1.1 Inventarios nacionales de gases de efecto invernadero

Los Inventarios nacionales de gases de efecto invernadero (INGEI) consisten en un listado numérico exhaustivo de la contabilización de cada uno de los GEI antropógenos liberados o absorbidos desde la atmósfera en un área y en un período específico, generalmente correspondiente a un año calendario. Los INGEl tienen por objetivo determinar la magnitud de las emisiones y absorciones de GEI nacionales que son atribuibles directamente a la actividad humana, así como la contribución específica del país al fenómeno del cambio climático.

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

¹ https://unfccc.int/sites/default/files/resource/Informe_5IBA_2022_Final.pdf

² <https://unfccc.int/sites/default/files/resource/docs/2011/cop17/spa/09a01s.pdf>

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

1.2 Contexto internacional

1.2.1 Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático

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

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

Para lograr dicho objetivo, todos los países miembros de la CMNUCC deben elaborar, actualizar periódicamente, publicar y facilitar inventarios nacionales de sus GEI a dicha Convención (párrafo 1(a); artículo 4). Con la finalidad de informar de los avances en la implementación de los objetivos de la CMNUCC, en la COP16 de 2010 se definió que *«los países en desarrollo deberán presentar a la Convención informes bienales de actualización, que contengan información actualizada sobre los inventarios»*³. Además, en la COP17 de 2011 se agregó que *«los países en desarrollo deberían presentar su primer informe bienal de actualización a más tardar en diciembre de 2014 [...] abarcando, como mínimo, un año civil anterior en no más de cuatro años a la fecha de presentación»*⁴.

³ Decisión 1, párrafo 60(c) del Informe de la Conferencia de las Partes sobre su 16º período de sesiones, celebrado en Cancún del 29 de noviembre al 10 de diciembre de 2010. Disponible en <https://unfccc.int/sites/default/files/resource/docs/2010/cop16/spa/07a01s.pdf>

⁴ Decisión 1, párrafo 41(a) del Informe de la Conferencia de las Partes sobre su 17º período de sesiones, celebrado en Durban del 28 de noviembre al 11 de diciembre de 2011. Disponible en <https://unfccc.int/sites/default/files/resource/docs/2011/cop17/spa/09a01s.pdf>

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

Al 2022 Chile ha presentado cinco informes bienales de actualización, junto con sus respectivos informes de inventario nacional de gases de efecto invernadero. El presente informe corresponde al quinto *Informe del Inventario Nacional de Chile: Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero y Otros Contaminantes Climáticos 1990-2020* (IIN 2022). Es parte del *Quinto Informe Bienal de Chile sobre Cambio Climático*⁵ y en línea con los compromisos de mitigación del país en la NDC actualizada⁶ se incluyen las emisiones de carbono negro y los inventarios regionales de GEI.

1.2.2 Acuerdo de París

Respecto al seguimiento de la NDC, el Acuerdo de París - firmado por la República de Chile el 20 de septiembre de 2016 y aprobado por el Congreso Nacional en enero del 2017⁷- establece en el artículo 13 un marco de transparencia reforzado para dar cuenta de las medidas adoptadas para hacer frente al cambio climático, en particular las relacionadas con el objetivo de límite de temperatura del mismo Acuerdo.

En 2018, durante la COP24 de Katowice, se concretó el Libro de reglas del acuerdo o Katowice Rulebook. Este documento es el manual operativo para la etapa de implementación del Acuerdo de París. El libro de reglas contiene las indicaciones de cómo los países deben reportar información en distintos aspectos como su INGEI, sus contribuciones en materia de financiamiento climático, entre otros. En particular para los temas de transparencia y seguimiento, se desarrollaron las Modalidades, procedimientos y directrices para el marco de transparencia para las medidas y el apoyo a que se hace referencia en el artículo 13 del Acuerdo de París (MPG por sus siglas en inglés). Las MPG describen los requerimientos y contenidos que deberán cubrir los Informes Bienales de Transparencia (IBT) que reemplazarán a los IBA a partir de 2024. Posteriormente en la COP26 de Glasgow, se terminaron de definir algunos elementos de reporte, como las tablas comunes, y los reportes relacionados con el seguimiento del artículo 6 del Acuerdo de París.

1.3 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 contiene los arreglos institucionales, el dispositivo jurídico y procedimental establecidos para la actualización y compilación periódica y constante del INGEI de Chile, de acuerdo con los compromisos nacionales e internacionales relacionados con esta materia.

⁵ El *Cuarto Informe Bienal de Actualización de Chile* se encuentra disponible en <https://unfccc.int/documents/267936>

⁶ https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2020/04/NDC_Chile_2020_espan%CC%83ol-1.pdf

⁷ <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1103158>

El SNICHILE tiene, por tanto, el principal objetivo de la actualización periódica del inventario nacional y regionales, 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.

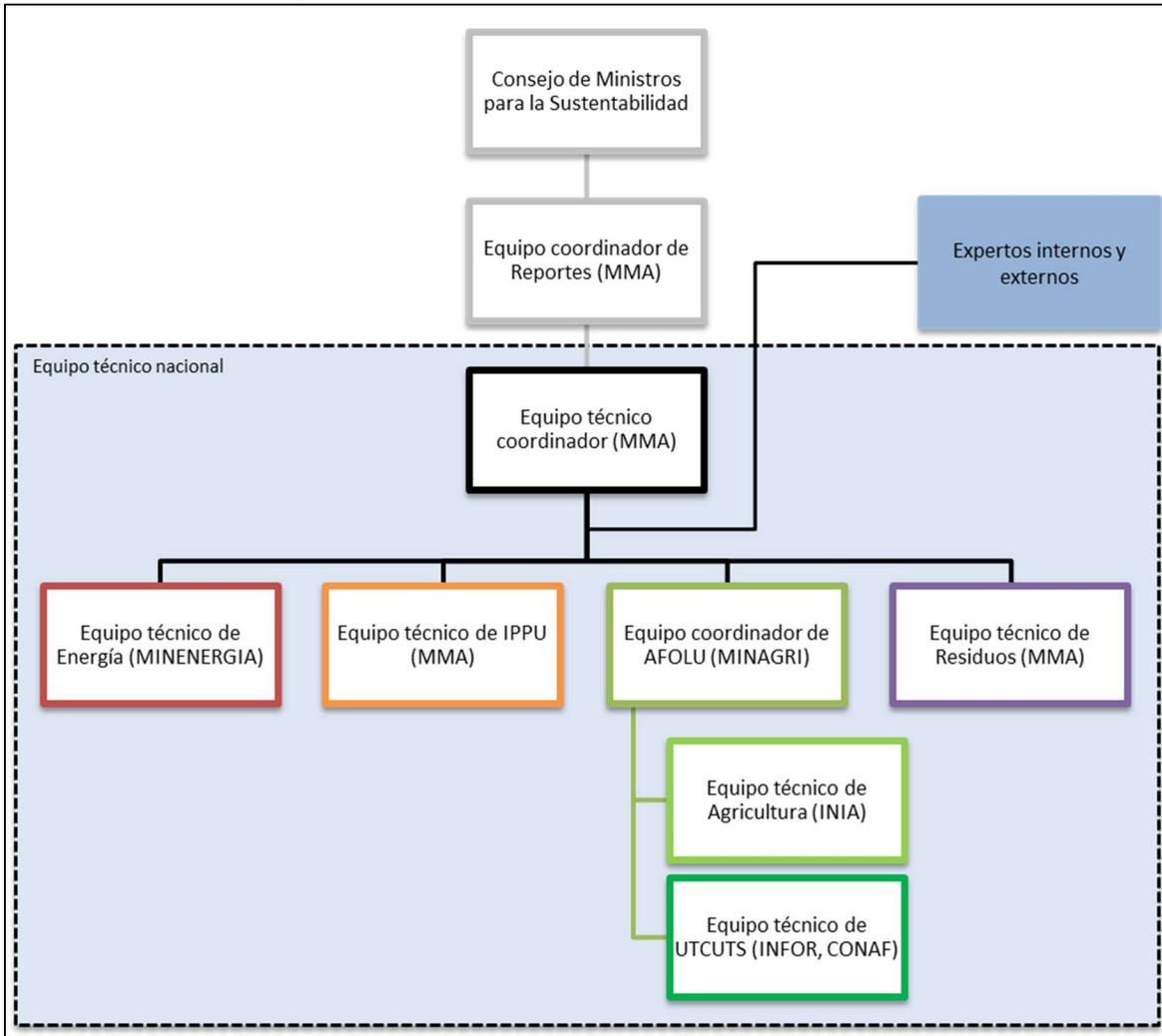
Considerando la importante labor del SNICHILE, el país ha definido su objetivo, líneas de acción y principales roles en la Ley N° 21.455 Marco de Cambio Climático⁸, específicamente en el artículo 28. De acuerdo con este artículo, el SNICHILE será administrado por el MMA. Adicionalmente se menciona la participación de distintas instituciones, así como las líneas de acción del sistema.

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 propios del sistema, con base en las recomendaciones descritas en el *Refinamiento del 2019 de las Directrices del IPCC de 2006*. 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 conocimiento 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 (encargado de la aprobación de los reportes entregados a la CMNUCC, incluyendo el IIN), y Expertos Internos y Externos (Figura 1-1).

⁸ <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1177286>

Figura 1-1. Estructura organizacional del SNICHILE



Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA

Dentro de la estructura organizativa del Equipo Técnico Nacional los roles quedan definidos así:

- 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. El ETC además, 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 también 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 profesional de apoyo.
- Equipos Técnicos Sectoriales (Energía, IPPU, Agricultura, UTCUTS y Residuos): equipos encargados de la actualización de sus respectivos inventarios sectoriales de gases de efecto invernadero (ISGEI). 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 periódico del Equipo Técnico Nacional. Para ello, el ETC se encarga de elaborar e implementar un plan de trabajo bienal que contiene las principales actividades y productos; alcances y metodologías a considerarse; plazos de implementación; y roles y responsabilidades de las instituciones participantes. 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 compila el inventario nacional y desarrollan los temas transversales; el inventario de carbono negro; los inventarios regionales 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 ha implementado un Sistema de Garantía y Control de la Calidad (SGCC) acorde con las buenas prácticas del IPCC. 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 ETC realiza un diagnóstico de necesidades mediante la identificación de brechas y barreras, las que son reportadas en los informes bienales de actualización. 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 estandarizados⁹. A su vez, a contar del mismo año se mantiene y actualiza la plataforma web del SNICHILE (<https://snichile.mma.gob.cl/>) con el objetivo de difundir el INGEI de Chile. Este sistema se encuentra en revisión a la luz de las nuevas tablas adoptadas por las partes firmantes del Acuerdo de París.

⁹ Un elemento importante del SRT son las planillas para el reporte de los resultados. Estas planillas se basan en las tablas de reporte de los países anexo I, bajo el esquema del protocolo de Kioto (*Common report format*) las que son adaptadas a la realidad de Chile.

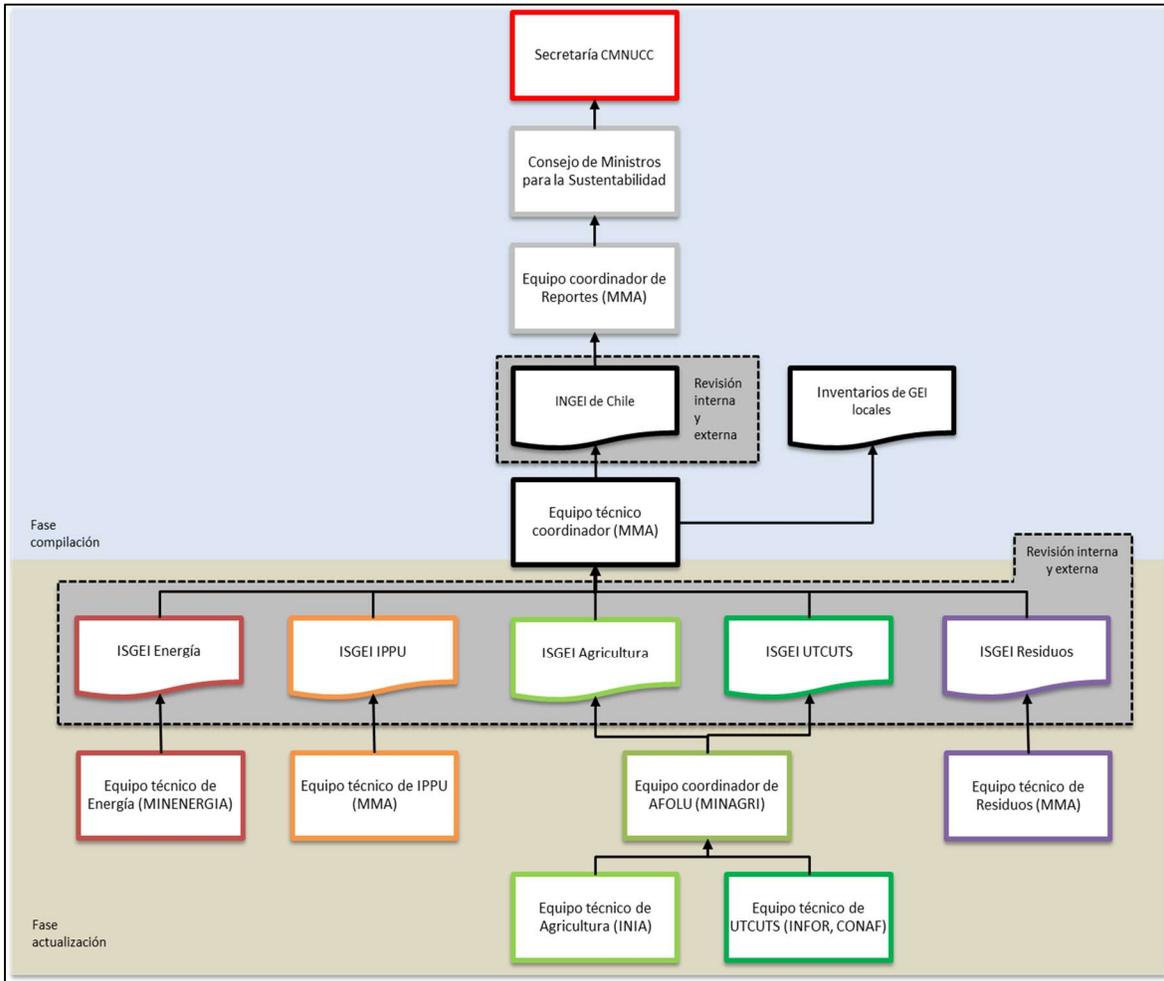
1.4 Proceso de actualización del INGEI de Chile

El proceso de elaboración del presente INGEI de Chile comenzó el primer semestre de 2021 y concluyó a finales de 2022. Cada Equipo Técnico Sectorial elabora el inventario de GEI de su propio sector, lo que implica el levantamiento de la información; la estimación de las emisiones y absorciones de GEI; y la elaboración del *Informe del Inventario del Sector* (IIS) respectivo (Figura 1-2). Luego el ETC revisa y compila los ISGEI, y desarrolla los temas transversales, para pasar a generar el *Informe del Inventario Nacional* (IIN). Enseguida cada Equipo Técnico Sectorial aprueba el IIN en su versión final. Adicionalmente, el ETC elabora los inventarios regionales de GEI en función de la información provista por los equipos sectoriales.

Cabe mencionar que el INGEI anterior presentado en el cuarto 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 *Quinto Informe Bienal de Actualización*, 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: Equipo Técnico Coordinador del MMA

1.5 Metodología y principales fuentes de información

Las estimaciones de GEI y gases precursores del presente INGEI de Chile, serie 1990-2020, fueron realizadas en línea con las *Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero*¹⁰ 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 actualización de las Partes no incluidas en el anexo I de la Convención*¹¹ y de las *Directrices para la preparación de las comunicaciones nacionales de las Partes no incluidas en el anexo I de la Convención*¹². Adicionalmente se consideraron las Modalidades, procedimientos y directrices para el marco de transparencia para las medidas y el apoyo a que se hace referencia en

¹⁰ Recuperado de www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/index.html

¹¹ Anexo de la Decisión 17/COP8. Recuperado de <http://unfccc.int/resource/docs/spanish/cop8/cp807a02s.pdf>

¹² Anexo III de la Decisión 2/COP17. Recuperado de <http://unfccc.int/resource/docs/2011/cop17/spa/09a01s.pdf>

el artículo 13 del Acuerdo de París. En el ANEXO 11.01 *Métodos* se presenta un resumen de los métodos y niveles aplicados en el INGEI de Chile.

Respecto a las principales fuentes de información, la Tabla 1-1 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 1-1. Principales datos y fuentes de información sectoriales

Sector	Principales datos	Fuentes
Energía	Consumo de combustible (en unidades energéticas). Producción de combustibles.	<i>Balanza Nacional de Energía (BNE)</i> , MEN.
IPPU	Producción por tipo de producto/proceso. Uso de productos sustitutos de las SAO (gases fluorados).	Anuarios de empresas, comunicación directa con actores clave. Aduanas, cooperación con Área 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 los residuos agrícolas	<i>Censos Agropecuarios</i> (MINAGRI) y estadística agrícola de rubros, regional y nacional. Información del Servicio Nacional de Aduanas. Información de CONAF Asociaciones gremiales
UTCUTS	Superficie por usos de la tierra 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	<i>Catastro vegetal</i> y <i>SIMEF</i> (CONAF) 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) <i>Inventario Forestal Nacional</i> (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, junto a estudios elaborados por el MMA. Informes de gestión (SISS), 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*, mientras que para la estimación de precursores provienen de la *Guía de inventarios de emisiones de contaminantes atmosféricos EMEP/EEA 2019*. Se destaca que la información más relevante del INGEI de Chile la generan las mismas 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.

1.6 Métrica

Tras estimar las emisiones y absorciones de cada uno de los GEI, y para el reporte de estos en forma agregada expresados en dióxido de carbono equivalente (CO₂ eq), se aplicaron los potenciales de calentamiento global (PCG) del *Cuarto Informe de Evaluación* (AR4) del IPCC (Tabla 1-2) de modo de facilitar comparación con la métrica utilizada en la actualización de la NDC. Adicionalmente, y para cumplir con los requisitos de reporte, el país estima sus GEI considerando los PCG del *Segundo Informe de Evaluación del IPCC* (SAR). Para el próximo inventario se considerará los potenciales del AR5, de acuerdo con lo indicado en las MPD (párrafo 37).

Tabla 1-2. Potenciales de calentamiento global a 100 años, utilizados en el INGEI de Chile

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

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

Para facilitar la comparación y entendimiento de los resultados del inventario, se toma como unidad de masa representativa de los GEI a la kilo tonelada (kt).

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

De acuerdo con este análisis, el balance de emisiones y absorciones de GEI del país para el 2020 presenta una incertidumbre combinada de -41,1 % y +44,9 %. 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; a esto se suma el uso de factores de emisión por defecto desde las *Directrices del IPCC de 2006* en sectores como Energía y Residuos, y en algunas categorías del sector Agricultura.

1.8 Evaluación general de la exhaustividad

La exhaustividad significa que se han preparado estimaciones del INGEI para todas las fuentes y sumideros y para todos los gases que ocurren dentro del territorio nacional. 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, insular y antártico) e incluye emisiones y absorciones de GEI en una serie de tiempo completa que va desde 1990 a 2020. Los GEI incluidos son: CO₂, CH₄, N₂O, HFC, PFC y SF₆. De acuerdo con la información levantada, las emisiones de NF₃ no ocurren en el país, mientras que las emisiones indirectas de CO₂ no son estimadas. Por otra parte, se incluyen los precursores CO, NO_x, COVDM y SO₂. Así mismo, el INGEI de Chile incluye casi la totalidad de categorías y subcategorías de fuente y sumidero que componen los sectores.

Las categorías que no han sido estimadas, ya sea por ausencia 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. En línea con las buenas prácticas de las *Directrices del IPCC de 2006*, y para mayor transparencia, en el *ANEXO 11.03 Exhaustividad* se listan las categorías identificadas como no estimadas (NE) y aquellas incluidas en otro lugar (IE), las cuales deberán ser priorizadas — dependiendo de un análisis de costo/beneficio— en INGEI futuros con el objeto de avanzar en la exhaustividad. Todo esto además en línea con las MPD, en particular párrafos 30-33. No se considera el uso de la clave de notación No Estimado (NE) para estimaciones insignificantes, en ninguno de los casos.

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*.

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*, pero no se incluyeron en el balance de emisiones y absorciones de GEI del país.

1.9 Identificación de 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.

Las categorías principales del INGEI de Chile para 1990 y 2020 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%.

Es importante mencionar que el país espera realizar en su próxima actualización la identificación de categorías principales bajo el método 1 y excluyendo al sector UTCUTS, de modo de apegarse a las MPD (párrafo 25).

En la Tabla 1-3 se resumen las fuentes de emisión y sumideros identificados como categorías principales, mostrando con una «X» el o los criterios y métodos por los que se categorizan de esta forma. Algunas fuentes y sumideros cumplen con criterios tanto de nivel como de tendencia y con ambos métodos como es el caso de las que pertenecen a *Tierras forestales que permanecen como tales*. Por otro lado, hay fuentes de emisión que son categoría principal solo por un criterio como es el caso de *Aviación civil* por Nivel con Método 1. El detalle de la contribución individual y acumulada de cada categoría se incluye en el *ANEXO 11.02 Categorías principales*.

Tabla 1-3. Resumen de las categorías principales del INGEI de Chile, serie 1990-2020, de acuerdo con las evaluaciones de nivel y tendencia, usando los Métodos 1 y 2.

Código IPCC	Categoría IPCC	GEI	Criterio de Identificación					
			N1 1990	N1 2020	TD1	N2 1990	N2 2020	TD2
1.A.1	Industrias de la energía	CO ₂	X	X	X	X	X	
1.A.2	Industrias manufactureras y de la construcción	CO ₂	X	X	X	X	X	X
1.A.3.a	Aviación civil	CO ₂		X				
1.A.3.b	Transporte terrestre	CO ₂	X	X	X	X	X	
1.A.3.d	Navegación marítima y fluvial	CO ₂	X		X			
1.A.4	Otros sectores	CH ₄				X	X	X
1.A.4	Otros sectores	CO ₂	X	X	X	X	X	

Código IPCC	Categoría IPCC	GEI	Criterio de Identificación					
			N1 1990	N1 2020	TD1	N2 1990	N2 2020	TD2
1.B.1	Combustibles sólidos	CH ₄	X		X	X		X
1.B.2.a	Petróleo	CH ₄	X		X	X		X
1.B.2.b	Gas natural	CH ₄	X		X	X	X	X
2.A.1.	Producción de cemento	CO ₂	X		X			
2.F.1.	Refrigeración y aire acondicionado	HFC		X	X		X	X
2.F.4.	Aerosoles	HFC						X
3.A.1.a.	Vacas lecheras	CH ₄	X	X	X	X		X
3.A.1.b.	Otros bovinos	CH ₄	X	X	X	X	X	X
3.A.2.	Ovinos	CH ₄			X			
3.B.1.	Ganado bovino	CH ₄				X		X
3.D.1.a.	Fertilizantes inorgánicos	N ₂ O	X	X	X	X	X	X
3.D.1.c.	Orina y estiércol depositado por animales de pastoreo	N ₂ O	X	X	X	X	X	X
3.D.1.d.	Residuos de cosechas	N ₂ O				X		X
3.D.2.	Emisiones indirectas de N ₂ O de suelos agrícolas	N ₂ O	X		X	X	X	X
4.A.1.a.i.1.	Renovales	CO ₂	X	X	X	X	X	X
4.A.1.a.i.2.	Planes de manejo (Ley Bosque nativo)	CO ₂	X	X	X		X	X
4.A.1.a.i.3.	Parques y reservas nacionales	CO ₂	X	X	X	X	X	X
4.A.1.a.ii.	Plantaciones forestales	CO ₂	X	X	X	X	X	X
4.A.1.b.i.	Cosecha	CO ₂	X	X	X	X	X	X
4.A.1.b.ii.	Leña	CO ₂	X	X	X	X	X	X
4.A.1.b.iii.	Perturbaciones	CO ₂	X	X	X		X	
4.A.1.c.	Tierras forestales con cambio de vegetación	CO ₂	X		X			X
4.A.2.	Tierras convertidas en tierras forestales	CO ₂	X	X	X	X	X	X
4.B.2.	Tierras convertidas en tierras de cultivo	CO ₂		X		X	X	
4.C.2.	Tierras convertidas en pastizales	CO ₂	X	X	X	X	X	X
4.G.	Productos de madera recolectada	CO ₂	X	X	X	X	X	X
5.A.	Sitios de disposición de residuos industriales	CH ₄		X			X	X
5.A.	Sitios de disposición de residuos municipales	CH ₄	X	X		X	X	
5.D.1.	Tratamiento y descarga de aguas residuales domésticas	CH ₄		X		X	X	

N1 1990: análisis de nivel 1990 Método 1; N1 2020: análisis de nivel 2020 Método 1; TD1: análisis de tendencia 1990-2020 Método 1; N2 1990: análisis de nivel 1990 Método 2; N2 2020: análisis de nivel 2020 Método 2; TD2: análisis de tendencia 1990-2020 Método 2.

Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA

Este resumen constituye la base para las discusiones con Equipos Técnicos Sectoriales sobre las posibles mejoras y la priorización de estas. 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.

1.10 Análisis preliminar de implementación del Marco Reforzado de Transparencia para la presentación de la información del Inventario Nacional de gases de efecto invernadero

En un esfuerzo adicional, el país revisó y consideró durante el proceso de actualización las disposiciones incluidas en las *Modalidades, procedimientos y directrices para el marco de transparencia para las medidas y el apoyo a que se hace referencia en el artículo 13 del Acuerdo de París*¹⁴ (MPD). Se revisaron especialmente las disposiciones en los párrafos 17-58, intentando

¹⁴ Decisión 18/CMA.1. Recuperado de https://unfccc.int/sites/default/files/resource/CMA2018_3a02S.pdf

cumplir estas de manera de establecer posibles necesidades con miras a la entrega del *primer Informe Bienal de Transparencia de Chile*. El detalle de la inclusión y abordaje de cada disposición se detalla en la Tabla 1-4.

Tabla 1-4. Seguimiento de la implementación de las MPG, sección II Informe del inventario nacional de las emisiones antropógenas por las fuentes y la absorción antropógena por los sumideros de GEI.

Párrafo	Disposición	Incluido	Comentario
A. Definiciones			
17	Los principios seguidos al elaborar los inventarios de GEI se ajustarán a las definiciones recogidas en las Directrices del Grupo IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero (en lo sucesivo, "las Directrices del IPCC de 2006"), volumen 1, capítulo 1, sección 1.4.	Sí	Se consideraron los principios de Transparencia, Exhaustividad, Consistencia, Comparabilidad y Exactitud, de acuerdo con las Directrices del IPCC de 2006.
B. Circunstancias nacionales y arreglos institucionales			
18	Cada Parte debería establecer y mantener un marco relativo a los inventarios nacionales integrado por arreglos institucionales y un dispositivo jurídico y de procedimiento que permitan una labor constante de estimación, compilación y puntual presentación de informes del inventario nacional de conformidad con las presentes modalidades, procedimientos y directrices. Dicho marco nacional puede variar en función de las preferencias y circunstancias nacionales de cada Parte, y evolucionar con el tiempo.	Sí	Desde 2012 el país cuenta con el SNICHILE que mantiene los arreglos para la elaboración permanente del inventario. El sistema es reconocido e institucionalizado en la Ley Marco de Cambio Climático (art. 28). El sistema se encuentra en etapa de reglamentación.
19	Cada Parte deberá presentar información sobre los siguientes aspectos relativos a la planificación, la preparación y la gestión del inventario:		
19.a	a) La entidad nacional o entidad de enlace nacional sobre la que recae la responsabilidad general del inventario nacional;	Sí	De acuerdo con la Ley Marco de Cambio Climático, el Ministerio del Medio Ambiente coordina el SNICHILE
19.b	b) El proceso de preparación del inventario, incluido el reparto de responsabilidades específicas entre las instituciones que participan en dicho proceso, a fin de asegurar que la reunión de datos de actividad suficientes, la elección y la elaboración de métodos, los factores de emisión y otros parámetros se ajusten a las directrices del IPCC a que se hace referencia en el párrafo 20 infra y a las presentes modalidades, procedimientos y directrices;	Sí	Se elabora un Plan de trabajo ciclo 2021-2022, previo al proceso de actualización, que contiene lo indicado en la disposición.
19.c	c) El archivado de toda la información para la serie temporal sobre la que se informa, incluidos todos los factores de emisión y datos de actividad desglosados, toda la documentación relativa a la generación y agregación de datos, en particular el aseguramiento de la calidad/el control de calidad (AC/CC), los resultados de las revisiones y las mejoras que se haya previsto introducir en el inventario;	Si	Se cuenta con el Sistema de Registro Tabular que opera de reservorio virtual de toda la información (datos de actividad, paramétricos, factores de emisión), así como la documentación de respaldo y libros de cálculo de las estimaciones
19.d	d) Los procesos seguidos para el examen y la aprobación oficiales del inventario.	Parcial	El documento es aprobado en conjunto con el informe bienal de actualización, el que es visado por el Consejo de Ministros para la Sustentabilidad y Cambio Climático ¹⁵

¹⁵ Acta del Consejo de Ministros para la Sustentabilidad y Cambio Climático donde toma nota del contenido del Quinto Informe Bienal de Actualización <https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2022/11/Acta-5-2022.pdf>

Párrafo	Disposición	Incluido	Comentario
C. Métodos			
1. Metodologías, parámetros y datos			
20	Cada Parte deberá utilizar las Directrices del IPCC de 2006 y cualquier versión o refinamiento ulteriores de las directrices que apruebe la Conferencia de las Partes en calidad de reunión de las Partes en el Acuerdo de París (CP/RA). Se alienta a cada Parte a que utilice el Suplemento de 2013 de las Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero dedicado a los humedales.	Si	Se utilizan las Directrices del IPCC de 2006 (ver sección 1.2)
21	Cada Parte deberá utilizar métodos establecidos en las directrices del IPCC a que se hace referencia en el párrafo 20 supra. Cada Parte debería hacer todo lo posible por utilizar un método recomendado (niveles) para las categorías principales con arreglo a las directrices del IPCC.	Parcial	No todas las categorías principales tienen niveles superiores. Se considerará planificación en el siguiente inventario para abordar esta situación (ver sección 1.2)
22	Cada Parte podrá utilizar metodologías apropiadas para ella si estas reflejan mejor las circunstancias nacionales y se ajustan a las directrices del IPCC a que se hace referencia en el párrafo 20 supra. En esos casos, cada Parte deberá explicar de manera transparente los parámetros, datos y/o métodos nacionales seleccionados.	NA	No se utilizan métodos propios para la estimación de GEI
23	Si, debido a la falta de recursos, una Parte no pudiera adoptar un método de nivel superior para una determinada categoría principal, la Parte en cuestión podrá utilizar un método de nivel 1. En ese caso, deberá documentarse claramente el motivo por el cual la elección metodológica no respetó el árbol de decisiones correspondiente de las directrices del IPCC a que se hace referencia en el párrafo 20 supra. De cara a mejoras futuras, la Parte debería dar prioridad a aquellas categorías principales en las que no pueda usarse el método de buena práctica desarrollado en las directrices del IPCC a que se hace referencia en el párrafo 20 supra.	Parcial	Es necesario profundizar en el plan de mejora y los recursos requeridos. Se desarrollará en el siguiente inventario
24	Se alienta a cada Parte a que utilice factores de emisión y datos de actividad específicos del país, si se dispone de ellos, o a que proponga planes para desarrollarlos, de conformidad con la buena práctica descrita en las directrices del IPCC a que se hace referencia en el párrafo 20 supra.	Parcial	Es necesario profundizar en el plan de mejora y los recursos requeridos para la elaboración de factores de emisión que requieran valores país específico. Se desarrollará en el siguiente inventario.
2. Análisis de categorías principales			
25	Cada Parte deberá identificar las categorías principales para el primer y el último año sobre el que vaya a informar, según lo dispuesto en el capítulo II.E.3 infra, con inclusión y exclusión de las categorías de uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura (UTS), utilizando el método 1, para la evaluación tanto de nivel como de tendencia, efectuando para ello un análisis de las categorías principales que se ajuste a las directrices del IPCC a que se hace referencia en el párrafo 20 supra. Aquellas Partes que son países en desarrollo que, a la luz de sus capacidades, necesiten flexibilidad con respecto de esta disposición podrán identificar sus categorías principales utilizando un umbral que no sea inferior al 85 %, en vez del umbral del 95 % previsto en las directrices del IPCC a que se hace referencia en el párrafo 20 supra, lo	Parcial	Solo se realiza para todas las fuentes, incluyendo UTCUTS (ver sección 1.4)

Párrafo	Disposición	Incluido	Comentario
	que les permitirá centrarse en mejorar un menor número de categorías y en priorizar sus recursos.		
3. Coherencia de la serie temporal y nuevos cálculos			
26	A fin de garantizar la coherencia de la serie temporal, cada Parte debería utilizar los mismos métodos y un enfoque coherente para los datos de actividad y los factores de emisión utilizados para cada año del que se informe.	Si	Se especifica en cada categoría como fue abordada la coherencia de la serie temporal y que consideraciones se tomaron
27	Con ese mismo objetivo, cada Parte debería utilizar datos sustitutos, extrapolación, interpolación y otros métodos acordes con las técnicas de empalme que figuran en las directrices del IPCC a que se hace referencia en el párrafo 20 supra, a fin de estimar los valores de emisiones que falten como consecuencia de una ausencia de datos de actividad, de factores de emisión y de otros parámetros.	Si	Se especifican los métodos utilizados, así como las implicancias de coherencia en los casos que aplica
28	Cada Parte deberá efectuar sus nuevos cálculos ateniéndose a las directrices del IPCC a que se hace referencia en el párrafo 20 supra, y se asegurará de que la utilización de métodos o supuestos diferentes a lo largo de la serie temporal no conlleve cambios en las tendencias de las emisiones.	Si	Se incluye justificación del nuevo cálculo y la influencia en la categoría respectiva. Además, se incluyen los nuevos cálculos a nivel de sector y a nivel nacional (ver sección 8)
4. Evaluación de la incertidumbre			
29	Cada Parte deberá estimar cuantitativamente y analizar cualitativamente la incertidumbre de las estimaciones relativas a las emisiones y la absorción para todas las categorías de fuentes y sumideros, incluidos los totales del inventario, al menos para el primer y el último año objeto del informe en la serie temporal del inventario a que se hace referencia en los párrafos 57 y 58 infra. Cada Parte deberá también estimar la incertidumbre tendencial de las estimaciones relativas a las emisiones y la absorción para todas las categorías de fuentes y sumideros, incluidos los totales, entre el año de inicio y el último año de la serie temporal del inventario a que se hace referencia en los párrafos 57 y 58 infra, utilizando al menos el método 1 estipulado en las directrices del IPCC a que se hace referencia en el párrafo 20 supra. No obstante, aquellas Partes que son países en desarrollo que, a la luz de sus capacidades, necesiten flexibilidad respecto de esta disposición podrán presentar, como mínimo, un análisis cualitativo de la incertidumbre de las categorías principales, utilizando las directrices del IPCC a que se hace referencia en el párrafo 20 supra, cuando no dispongan de datos de entrada cuantitativos para estimar cuantitativamente las incertidumbres; se alienta a dichas Partes a que presenten una estimación cuantitativa de la incertidumbre para todas las categorías de fuentes y sumideros del inventario de GEI.	Parcial	Se estima en función del Método 1, con el supuesto de Propagación del error para la estimación conjunta de la incertidumbre. No se incluye análisis cualitativo de la incertidumbre (ver sección 1.7).
5. Evaluación de la exhaustividad			
30	Cada Parte debería indicar las fuentes y los sumideros (categorías, reservorios y gases) que no se han tenido en cuenta en el informe del inventario nacional aun cuando las directrices del IPCC a que se hace referencia en el párrafo 20 supra contienen métodos para ello, y explicar los motivos por los que no se han tenido en cuenta	Si	Se indica en la sección Evaluación general de la exhaustividad (1.8).
31	Al completar los cuadros comunes para la presentación de información, cada Parte debería utilizar claves de notación cuando no disponga de datos numéricos, indicando por		

Párrafo	Disposición	Incluido	Comentario
	qué no se proporciona información sobre las emisiones por las fuentes y la absorción por los sumideros ni datos conexos para sectores, categorías, subcategorías o gases específicos. Las claves de notación son:		
31.a	a) "NO" (no ocurren), para las categorías o procesos, incluida la recuperación, en una categoría determinada de fuentes o sumideros que no tienen lugar en la Parte;	Sí	Se utiliza esta clave de notación de acuerdo con la definición de estas directrices
31.b	b) "NE" (no estimadas), para los datos de actividad y/o las emisiones por las fuentes y la absorción por los sumideros de GEI que no se hayan estimado pero para las que es posible que en la Parte tenga lugar una actividad correspondiente;	Sí	Se utiliza esta clave de notación de acuerdo con la definición de estas directrices
31.c	c) "NA" (no se aplica), para actividades de una determinada categoría de fuentes/sumideros que tienen lugar en la Parte pero no dan lugar a emisiones o absorciones de un gas dado;	Sí	Se utiliza esta clave de notación de acuerdo con la definición de estas directrices
31.d	d) "IE" (incluidas en otra parte), para las emisiones de fuentes y la absorción por sumideros de GEI estimadas pero consignadas en otra parte del inventario, en lugar de en la categoría de fuentes/sumideros en que cabría suponer que se indicarían;	Sí	Se utiliza esta clave de notación de acuerdo con la definición de estas directrices
31.e	e) "C" (confidencial), para las emisiones de fuentes y la absorción por sumideros de GEI respecto de las cuales informar podría suponer la revelación de información confidencial.	Sí	Se utiliza esta clave de notación de acuerdo con la definición de estas directrices
32	Cada Parte podrá utilizar la clave de notación "NE" (no estimadas) cuando el nivel de las estimaciones sea insignificante, teniendo en cuenta las siguientes consideraciones: las emisiones de una categoría solo deberían considerarse insignificantes cuando el nivel probable de las emisiones sea inferior al 0,05 % del total de las emisiones nacionales de GEI, excluido el sector UTS, o a 500 kilotoneladas de dióxido de carbono equivalente (kt de CO ₂ eq), si esta cantidad es menor. El total nacional agregado de las emisiones estimadas para todos los gases de las categorías consideradas insignificantes deberá ser inferior al 0,1 % del total de las emisiones nacionales de GEI, excluido el sector UTS. Las Partes deberían utilizar datos de actividad aproximados y los factores de emisión del IPCC por defecto a fin de obtener un nivel probable de emisiones para la categoría en cuestión. No obstante, aquellas Partes que son países en desarrollo que, a la luz de sus capacidades, necesitan flexibilidad respecto de esta disposición podrán considerar insignificantes aquellas emisiones cuyo nivel probable sea inferior al 0,1 % del total de las emisiones nacionales de GEI, excluido el sector UTS, o a 1.000 kt de CO ₂ eq, si esta cantidad es menor. En este caso, el total nacional agregado de las emisiones estimadas para todos los gases de las categorías consideradas insignificantes deberá ser inferior al 0,2 % del total de las emisiones nacionales de GEI, excluido el sector UTS.	NA	No se utiliza esta definición de clave de notación
33	Una vez estimadas las emisiones o la absorción para una categoría, cada Parte debería proporcionar información al respecto en las comunicaciones posteriores si continúan teniendo lugar.	Sí	Se consideran, al menos, las mismas fuentes y sumideros de la estimación del Informe previo.
6. Aseguramiento de la calidad/control de calidad			

Párrafo	Disposición	Incluido	Comentario
34	Cada Parte deberá elaborar un plan de AC/CC del inventario conforme a las directrices del IPCC a que se hace referencia en el párrafo 20 supra que incluya información sobre el organismo encargado de efectuar el proceso de AC/CC. No obstante, en el caso de aquellas Partes que son países en desarrollo que, a la luz de sus capacidades, necesiten flexibilidad respecto de esta disposición, solo se las alienta a que elaboren un plan de AC/CC del inventario conforme a las directrices del IPCC a que se hace referencia en el párrafo 20 supra que incluya información sobre el organismo encargado de efectuar el proceso de AC/CC.	Parcial	Se indica actividades generales de AC/CC y un plan preliminar. Se necesita profundizar en la relación entre el contenido del plan y las Directrices de 2006
35	Cada Parte deberá poner en práctica procedimientos generales de CC para el inventario conformes con su plan de AC/CC y con las directrices del IPCC a que se hace referencia en el párrafo 20 supra, y proporcionar información al respecto. No obstante, en el caso de aquellas Partes que son países en desarrollo que, a la luz de sus capacidades, necesiten flexibilidad respecto de esta disposición, solo se las alienta a que pongan en práctica procedimientos generales de CC para el inventario conformes con su plan de AC/CC y con las directrices del IPCC a que se hace referencia en el párrafo 20 supra, y a que proporcionen información al respecto. Además, las Partes deberían poner en práctica procedimientos de CC específicos para cada categoría, de conformidad con las directrices del IPCC a que se hace referencia en el párrafo 20 supra, para las categorías principales y aquellas categorías individuales en las que se hayan producido importantes cambios de metodología y/o revisiones de datos. Asimismo, las Partes deberían aplicar procedimientos de AC encomendando exámenes básicos de sus inventarios a otros expertos (revisión de pares expertos), de conformidad con las directrices del IPCC a que se hace referencia en el párrafo 20 supra.	Parcial	Se implementan actividades por categoría; y se indican actividades adicionales para algunas categorías de nivel 2. También se indican procesos de verificación para ciertas categorías.
36	Cada Parte debería comparar las estimaciones nacionales de emisiones de CO ₂ procedentes de la quema de combustible con las obtenidas utilizando el método de referencia que figura en las directrices del IPCC mencionadas en el párrafo 20 supra, e informar de los resultados de esa comparación en su informe del inventario nacional.	Si	
D. Sistema de medición			
37	Cada Parte deberá utilizar los valores del potencial de calentamiento atmosférico (PCA) para un horizonte temporal de 100 años que figuran en el Quinto Informe de Evaluación del IPCC, o los que contenga otro informe de evaluación del IPCC posterior que haya aprobado la CP/RA, para informar de las emisiones y absorciones agregadas de GEI, expresadas en CO ₂ eq. Además, cada Parte podrá utilizar otros sistemas de medición (por ejemplo, el potencial de cambio de la temperatura media mundial) para proporcionar información adicional sobre las emisiones y absorciones agregadas de GEI, expresadas en CO ₂ eq. En esos casos, cada Parte deberá facilitar, en el documento del inventario nacional, información sobre los	No	Se utilizan los potenciales del AR4

Párrafo	Disposición	Incluido	Comentario
	valores de los sistemas de medición utilizados e indicar de qué informe de evaluación del IPCC proceden.		
E. Orientaciones para la presentación de informes			
38	De conformidad con el artículo 13, párrafo 7 a), del Acuerdo de París, cada Parte deberá presentar un informe del inventario nacional de las emisiones antropógenas por las fuentes y la absorción antropógena por los sumideros de GEI. Este informe constará de un documento del inventario nacional y de cuadros comunes para la presentación de información. Cada Parte deberá suministrar la información a que se hace referencia en los párrafos 39 a 46 infra, teniendo en cuenta las flexibilidades que se ofrecen a las Partes que son países en desarrollo que, habida cuenta de sus capacidades, las necesiten.	Si	Se presenta en este documento
1. Información sobre los métodos y los elementos transversales			
39	Cada Parte deberá presentar información sobre los métodos utilizados, incluidas las razones por las que se eligieron, de conformidad con la buena práctica desarrollada en las directrices del IPCC a que se hace referencia en el párrafo 20 supra, y las descripciones, los supuestos, las referencias y las fuentes de información empleadas para los factores de emisión y datos de actividad utilizados para elaborar el inventario de GEI.	Si	Se presenta de manera general en el apartado Metodología y principales fuentes de información (1.5) y el detalle en cada categoría
40	Cada Parte deberá proporcionar información, lo más desglosada posible, sobre la categoría y el gas, así como sobre las metodologías, los factores de emisión y los datos de actividad utilizados, de conformidad con las directrices del IPCC a que se hace referencia en el párrafo 20 supra, incluyendo referencias a datos pertinentes para las estimaciones relativas a las emisiones y la absorción comunicadas al respecto de todo gas y categoría específica del país que no figuren en las directrices del IPCC a que se hace referencia en el párrafo 20 supra.	Si	Se incluyen datos de actividad en el documento o como anexo, para la serie completa
41	Cada Parte deberá proporcionar una descripción de las categorías principales, con información sobre el método utilizado para identificarlas, así como información sobre el nivel de desglose utilizado, de conformidad con el párrafo 25 supra.	Sí	Se utiliza un desglose adaptado a las circunstancias nacionales
42	Cada Parte deberá comunicar las contribuciones porcentuales individuales y acumulativas de las categorías principales, con respecto tanto al nivel como a la tendencia, de conformidad con las directrices del IPCC a que se hace referencia en el párrafo 20 supra y con las disposiciones mencionadas en el párrafo 25 supra.	Si	Se incluye Método 2 y se indican las contribuciones individuales y acumulativas.
43	Cada Parte deberá comunicar sus nuevos cálculos referidos al año de inicio a que se hace referencia en los párrafos 57 y 58 infra y a todos los años posteriores de la serie temporal del inventario, explicando y justificando esos nuevos cálculos, indicando todo cambio pertinente y su repercusión en las tendencias de las emisiones, de conformidad con los párrafos 26 a 28 supra.	Si	Se incluye justificación e impacto por categoría, sector y nacional
44	Cada Parte deberá comunicar los resultados de los análisis de la incertidumbre e informar sobre los métodos utilizados, los supuestos de base, según proceda, y las tendencias, al menos para el primer y el último año de la serie temporal del inventario a que se hace referencia en	Si	Se indica un resumen en el apartado Evaluación general de la incertidumbre (1.7) y el detalle en Anexos.

Párrafo	Disposición	Incluido	Comentario
	los párrafos 57 y 58 infra, de conformidad con el párrafo 29 supra.		
45	Cada Parte deberá facilitar información sobre los motivos de cualquier falta de exhaustividad, e informará sobre toda carencia de datos o laguna metodológica, de conformidad con los párrafos 30 a 33 supra.	Si	Se detalla el uso de NE e IE en el apartado Metodología y principales fuentes de información (1.5)
46	Cada Parte deberá comunicar su plan de AC/CC y suministrar información sobre los procedimientos de AC/CC que se hayan puesto en práctica o se vayan a poner en práctica en el futuro, de conformidad con los párrafos 34 a 36 supra.	Parcial	Se indica detalle por fuente y generalidades (anexo) y un plan nacional pero es necesario profundizar en su contenido
2. Sectores y gases			
47	Cada Parte deberá comunicar las estimaciones relativas a las emisiones y la absorción para todas las categorías, gases y reservorios de carbono señalados en el inventario de GEI a lo largo del período objeto del informe, desglosadas por gas, en unidades de masa al nivel más desglosado posible, de conformidad con las directrices del IPCC a que se hace referencia en el párrafo 20 supra, utilizando los cuadros comunes para la presentación de información, así como un resumen descriptivo y las cifras en que se basen las tendencias de las emisiones, indicando las emisiones por las fuentes separadamente de la absorción por los sumideros, salvo en los casos en que sea técnicamente imposible separar la información sobre las emisiones y la absorción en el sector UTS y teniendo en cuenta que, para proteger la confidencialidad de la información empresarial y militar, la información no puede estar enteramente desglosada.	Si	Se presenta serie temporal anual 1990-2020 para todas las fuentes y sumideros
48	Cada Parte deberá proporcionar información sobre siete gases: CO ₂ , metano (CH ₄), óxido nitroso (N ₂ O), fluorocarburos (HFC), perfluorocarburos (PFC), hexafluoruro de azufre (SF ₆) y trifluoruro de nitrógeno (NF ₃). No obstante, aquellas Partes que son países en desarrollo que, a la luz de sus capacidades, necesiten flexibilidad respecto de esta disposición podrán proporcionar información sobre al menos tres gases (CO ₂ , CH ₄ , y N ₂ O), así como sobre cualquiera de los otros cuatro gases (HFC, PFC, SF ₆ y NF ₃) que figuren en su CDN en virtud del artículo 4 del Acuerdo de París, estén cubiertos por una actividad realizada en el marco del artículo 6 del Acuerdo de París o hayan sido incluidos en un informe anterior.	Si	Se proporciona información sobre CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O, los HFC, los PFC, SF ₆ y NF ₃
49	Toda Parte que informe sobre los HFC, los PFC, el SF ₆ y el NF ₃ deberá comunicar las emisiones efectivas de esos gases, proporcionando datos desglosados por sustancia química (por ejemplo, HFC-134a) y categoría, en unidades de masa y en CO ₂ eq.	Si	Se informan los gases fluorados. Las estimaciones se reportan en términos de sustancia y en CO ₂ eq
50	Cada Parte deberá proporcionar información sobre los siguientes sectores: energía, procesos industriales y utilización de productos, agricultura, UTS y desechos, de conformidad con las directrices del IPCC a que se hace referencia en el párrafo 20 supra.	Si	Se reporta cada sector. El sector desechos es denominado Residuos.
51	Cada Parte debería proporcionar información sobre los siguientes gases precursores: monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles distintos del metano (COVDM), así como óxidos de azufre.	Si	No se reportan los factores de emisión de los precursores.

Párrafo	Disposición	Incluido	Comentario
52	Cada Parte podrá notificar emisiones indirectas de CO ₂ resultantes de la oxidación atmosférica del CH ₄ , el CO y los COVDM. Las Partes que decidan notificar las emisiones indirectas de CO ₂ deberán presentar los totales nacionales con y sin estas emisiones. Cada Parte debería notificar, en forma de recordatorio, las emisiones indirectas de N ₂ O derivadas de fuentes distintas de los sectores de la agricultura y el UTS. Estas estimaciones de las emisiones indirectas de N ₂ O no deberán incluirse en los totales nacionales. Las Partes podrán proporcionar información sobre otras sustancias que incidan en el clima.	NA	No se notifican emisiones indirectas
53	Cada Parte debería comunicar las emisiones procedentes del combustible del transporte aéreo y marítimo internacional en dos entradas distintas y no debería incluirlas en los totales nacionales, sino notificarlas por separado, si hay datos desglosados disponibles, haciendo todo lo posible por aplicar el método indicado en las directrices del IPCC a que se hace referencia en el párrafo 20 supra para separar las emisiones nacionales e internacionales y por presentar la información con arreglo a dicho método.	Si	Se comunican y se respeta la contabilización indicada en la disposición.
54	Cada Parte debería indicar claramente cómo se han consignado en el inventario las materias primas y los usos no energéticos de los combustibles en el sector de la energía o de los procesos industriales, de conformidad con las directrices del IPCC a que se hace referencia en el párrafo 20 supra.	Si	Se comunica en el apartado del sector Energía
55	En el caso de que una Parte incluya en su inventario nacional de GEI las emisiones y las posteriores absorciones procedentes de las perturbaciones naturales en tierras cultivadas, deberá proporcionar información sobre el método adoptado, explicar la conformidad de este con las directrices del IPCC, según proceda, y señalar si las estimaciones se indican en los totales nacionales.	NA	No se incluyen las emisiones y absorciones procedentes de perturbaciones naturales en tierras cultivadas.
56	Si, para comunicar las emisiones y absorciones procedentes de los productos de madera recolectada, una Parte utiliza un método conforme a las directrices del IPCC que no sea el método de producción, la Parte en cuestión deberá también proporcionar información adicional sobre las emisiones y absorciones procedentes de los productos de madera recolectada estimadas con el método de producción.	Si	Se detalla en UTCUTS
3. Serie temporal			
57	Cada Parte deberá proporcionar una serie temporal anual coherente a partir de 1990. No obstante, aquellas Partes que son países en desarrollo que, a la luz de sus capacidades, necesiten flexibilidad respecto de esta disposición podrán proporcionar datos que abarquen, como mínimo, el período/año de referencia para su CDN en virtud del artículo 4 del Acuerdo de París, así como una serie temporal anual coherente al menos a partir de 2020.	Si	Serie temporal anual desde 1990 a 2020
58	Para cada Parte, el último año sobre el que se informe deberá ser anterior en no más de dos años a la fecha de presentación de su informe del inventario nacional. Para aquellas Partes que son países en desarrollo que, a la luz de sus capacidades, necesiten flexibilidad con respecto de esta disposición, el último año sobre el que informen	Si	Último año presentado (2020) tiene una diferencia de dos años con el año actual de presentación (2022)

Párrafo	Disposición	Incluido	Comentario
	podrá ser anterior en tres años a la fecha de presentación de su informe del inventario nacional.		

2 TENDENCIA

En 2020, las emisiones netas¹⁶ a nivel nacional y por tipo de GEI fueron las siguientes: las emisiones de CO₂ contabilizaron 29.543 kt; las emisiones de CH₄ contabilizaron 610 kt y las emisiones de N₂O contabilizaron 22 kt. En el caso de los gases fluorados, las emisiones de HFC contabilizaron 4.390 kt CO₂ eq; las emisiones de PFC fueron de 0,5 kt CO₂ eq; y las emisiones de SF₆ de 191 kt CO₂ eq (Tabla 2-1).

Respecto a los gases precursores, en 2020 las emisiones en todo el país fueron las siguientes: el NO_x contabilizó 263 kt; el CO contabilizó 1.051 kt; los compuestos orgánicos volátiles distintos del metano (COVDM) contabilizaron 352 kt; y por último, el SO₂ contabilizó 318 kt (Tabla 2-1).

Tabla 2-1. INGEI de Chile: emisiones antropógenas por las fuentes y absorción antropógena por los sumideros de todos los GEI no controlados por el Protocolo de Montreal y los precursores de los GEI (kt), 2020.

CATEGORÍAS DE EMISIONES Y SUMIDEROS DE GEI	Emisiones /remociones netas de CO ₂	CH ₄	N ₂ O	HFC	PFC	Mezcla de HFC y PFC inespecífica	SF ₆	NF ₃	NO _x	CO	COVDM	SO _x (*)	Emisiones /remociones totales de GEI
	(kt)	(kt)	(kt)	CO ₂ equivalentes (kt)			(kt)						CO ₂ equivalentes (kt)
Emisiones y remociones nacionales totales	29.543,0	610,2	21,6	4.389,9	0,5	NE	0,0	NO	262,6	1.050,9	351,8	317,8	55.824,5
1. Energía	77.135,7	65,8	3,2						242,1	706,3	226,0	317,7	79.724,3
1.A. Actividades de quema de combustible (método sectorial)	77.133,1	32,0	3,2						240,1	690,1	222,1	317,7	78.876,1
1.A.1. Industrias de la energía	29.671,5	1,1	0,5						90,2	44,6	0,8	108,4	29.841,6
1.A.2. Industrias manufactureras y de la construcción	15.285,4	3,6	0,5						86,5	81,3	35,4	86,4	15.528,2
1.A.3. Transporte	25.434,0	5,0	1,9						46,4	271,6	142,0	88,4	26.114,2
1.A.4. Otros sectores	6.739,7	22,3	0,3						17,1	292,6	44,0	34,6	7.389,6
1.A.5. Otros	2,5	0,0	0,0						NE	NE	NE	NE	2,5
1.B. Emisiones fugitivas de combustibles	2,6	33,8	0,0						2,0	16,1	3,8	NA, NE	848,2

¹⁶ En el presente informe, el término «emisiones netas» refiere a la sumatoria de las emisiones y absorciones de GEI, también se entenderá como «balance de GEI».

CATEGORÍAS DE EMISIONES Y SUMIDEROS DE GEI	Emisiones /remociones netas de CO ₂	CH ₄	N ₂ O	HFC	PFC	Mezcla de HFC y PFC inespecífica	SF ₆	NF ₃	NOx	CO	COVDM	SOx (*)	Emisiones /remociones totales de GEI
	(kt)	CO ₂ equivalentes (kt)			(kt)								
1.B.1. Combustibles sólidos	NA, NE	0,7	NA						NA	NA	0,1	NA	18,6
1.B.2. Petróleo, gas natural y otras emisiones provenientes de la producción de energía	2,6	33,1	0,0						2,0	16,1	3,7	NE	829,6
1.C. Transporte y almacenamiento de CO ₂	NO												NO
2. Procesos industriales y uso de productos	2.141,0	1,9	0,5	4.389,9	0,5	NE	0,0	NO	6,8	NA, NE, NO	0,1	0,0	6.930,2
2.A. Industria de los minerales	1.548,7								NE	NE	NE	NE	1.548,7
2.B. Industria química	23,2	1,9	0,3	NO	NO	NO	NO	NO	6,8	NE	NO	NE	172,4
2.C. Industria de los metales	442,2	IE, NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NE, NO	NE, NO	0,1	0,0	442,2
2.D. Productos no energéticos de combustibles y uso de solventes	127,0	NO	NO						NE	NE	NE	NE	127,0
2.E. Industria electrónica			NO	NO	NO	NO	NO	NO					NO
2.F. Uso de productos como sustitutos de las SDO				4.389,9	0,5	NE	NO	NO					4.390,4
2.G. Manufactura y utilización de otros productos	NO	NO	0,2	NO	NO, NA	NO	190,8	NO	NE	NE	NE	NE	4.350.630,9
2.H. Otros	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
3. Agricultura	470,8	239,8	16,0						4,3	47,6	110,5		11.237,7
3.A. Fermentación entérica		177,0											4.426,1
3.B. Gestión del estiércol		53,7	1,0								10,0		1.627,5
3.C. Cultivo del arroz		7,7									NE		192,4
3.D. Suelos agrícolas		NO	15,0						3,0	NE	100,5		4.475,2
3.E. Quema prescrita de sabanas		NO	NO						NO	NO	NO		NO
3.F. Quema de residuos agrícola en el campo		1,4	0,0						1,3	47,6	NE		45,7

CATEGORÍAS DE EMISIONES Y SUMIDEROS DE GEI	Emisiones /remociones netas de CO ₂	CH ₄	N ₂ O	HFC	PFC	Mezcla de HFC y PFC inespecífica	SF ₆	NF ₃	NOx	CO	COVDM	SOx (*)	Emisiones /remociones totales de GEI
	(kt)	CO ₂ equivalentes (kt)			(kt)							CO ₂ equivalentes (kt)	
3.G. Encalado	67,6												67,6
3.H. Aplicación de urea	403,3												403,3
3.I. Otros fertilizantes que contienen carbono	NO												NO
3.J. Otros	NA	NA	NA						NA	NA	NA	NA	NA
4. Uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura	- 50.249,5	12,4	0,7						8,8	287,2	NA, NE, NO	NA	-49.727,4
4.A. Tierras forestales	- 49.905,6	11,5	0,6						7,3	260,9	NE		-49.430,2
4.B. Tierras de cultivo	1.162,0	0,1	0,0						0,1	2,2	NE		1.164,1
4.C. Pastizales	4.156,7	0,9	0,1						1,4	24,2	NE		4.201,3
4.D. Humedales	4,7	NO	NO						NO	NO	NO		4,7
4.E. Asentamientos	304,6	NO	NO						NO	NO	NO		304,6
4.F. Otras tierras	401,2	NO	NO						NO	NO	NO		401,2
4.G. Productos de madera recolectada	- 6.373,1												-6.373,1
4.H. Otros	NA	NA	NA						NA	NA	NA	NA	NA
5. Residuos	44,9	290,3	1,2						0,6	9,8	15,2	0,0	7.659,6
5.A. Disposición de residuos sólidos		233,9							NE	NE	15,1	NE	5.847,4
5.B. Tratamiento biológico de residuos sólidos		1,4	0,1						NE	NE	NE		60,4
5.C. Incineración y quema abierta de residuos	44,9	1,3	0,0						0,6	9,8	NE	0,0	85,3
5.D. Tratamiento y descarga de aguas residuales		53,7	1,1						NE	NE	0,1	NE	1.666,6
5.E. Otros	NA	NA	NA						NA	NA	NA	NA	NA

CATEGORÍAS DE EMISIONES Y SUMIDEROS DE GEI	Emisiones /remociones netas de CO ₂	CH ₄	N ₂ O	HFC	PFC	Mezcla de HFC y PFC inespecífica	SF ₆	NF ₃	NO _x	CO	COVDM	SO _x (*)	Emisiones /remociones totales de GEI
	(kt)	CO ₂ equivalentes (kt)			(kt)								
Partidas informativas													
1.D.1. Tanque internacional	1.293,3	0,0	0,0						3,1	25,9	1,2	24,1	1.304,8
1.D.1.a. Aviación internacional	943,4	0,0	0,0						1,3	6,7	0,5	8,8	951,4
1.D.1.b. Navegación internacional	349,9	0,0	0,0						1,8	19,2	0,7	15,2	353,4
1.D.2. Operaciones multilaterales	IE	IE	IE						IE	IE	IE	IE	IE
1.D.3. Emisiones de CO ₂ de la biomasa	22.027,5												22.027,5
1.D.4. CO ₂ capturado	NO												NO
5.F.1. Carbono almacenado en sitios de disposición de residuos sólidos	NE												NE
N₂O indirecto			NE										NE
CO₂ indirecto	NE												NE

Notas:

- 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; Celda gris = No Aplica.
- Las emisiones/remociones totales de GEI no incluyen las emisiones de NO_x, CO, COVDM Y SO_x.
- De acuerdo con la Tabla 1-2, se consideran los PCG del AR4.
- Las fuentes y sumideros notificados bajo el título *Partidas informativas* no son incluidas en las Emisiones y remociones nacionales totales.

Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA

Junto con la información de 2020 presentada en la Tabla 2-1, en el ANEXO 11.13 se reportan los GEI para toda la serie temporal en un nivel que permita al lector comprender todas las figuras de las siguientes secciones de este informe.

2.1 Tendencias de las emisiones y absorciones de GEI por sector

En 2020, el balance de GEI¹⁷ de Chile contabilizó 55.825 kt CO₂ eq, incrementándose en un 429 % desde 1990 y disminuyendo en un 4 % desde 2018 (Tabla 2-2). 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). La disminución del balance de 2020 respecto a los últimos años se debe a efectos de las medidas sanitarias relacionadas con la pandemia de la COVID-19 y sus efectos en la economía y desplazamiento a lo largo del país, como evidencia la baja en las emisiones del sector Energía que disminuye un 5 % desde 2018, en particular las emisiones asociadas al transporte.

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).

Tabla 2-2. INGEI de Chile: emisiones y absorciones de GEI (kt CO₂ eq) por sector, serie 1990-2020

Sector	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020
1. Energía	33.336,1	51.804,0	65.751,0	77.090,6	83.101,5	84.202,9	79.724,3
2. IPPU	1.890,0	3.150,8	3.765,1	5.054,2	5.741,4	6.221,2	6.930,2
3. Agricultura	12.008,1	13.798,6	13.090,5	12.695,0	11.969,4	11.651,8	11.237,7
4. UTCUTS	-65.811,6	-66.219,7	-63.615,5	-64.525,2	-61.910,9	-51.579,2	-49.727,4
5. Residuos	1.584,5	2.745,4	4.363,0	5.598,4	6.733,2	7.384,8	7.659,6
Balance	-16.992,9	5.279,1	23.354,1	35.913,0	45.634,5	57.881,6	55.824,5
Total	48.818,7	71.498,7	86.969,7	100.438,2	107.545,5	109.460,8	105.551,9

Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA

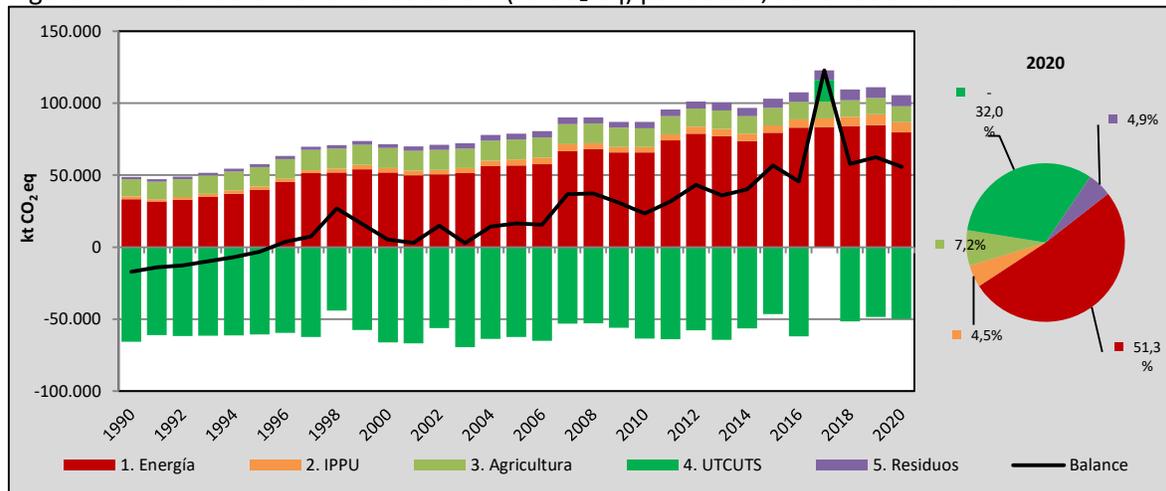
Es importante indicar que el balance de GEI del 2017 escapa de la tendencia, alcanzando 122.899 kt CO₂ eq, lo que corresponde a un incremento de 168 % respecto al balance del 2016. Este incremento se debe a los grandes incendios que afectaron la zona centro y sur del país durante esa temporada, los que alcanzaron a afectar cerca de 570.000 ha de tierras forestales, cultivos y pastizales principalmente. Solo los incendios en tierras forestales del 2017 contabilizaron 68.223 kt CO₂ eq, lo que equivale a más de lo que emitieron en suma el transporte terrestre, la generación eléctrica y las industrias durante el mismo año.

¹⁷ El término «balance de GEI» o «emisiones netas» refiere a la sumatoria de las emisiones y absorciones de GEI, expresadas en dióxido de carbono equivalente (CO₂ eq). Este término incluye al sector *UTCUTS* en su totalidad.

Respecto a las emisiones de GEI totales¹⁸ del país en 2020, contabilizaron 105.552 kt CO₂ eq, incrementándose en un 116 % desde 1990 y disminuyendo en un 4 % desde 2018 (Tabla 2-2). Los principales causantes de la tendencia en las emisiones de GEI totales (Figura 2-2) son las emisiones de CO₂ generadas por la quema de combustibles fósiles para la generación eléctrica y el transporte terrestre (contabilizadas en el sector Energía), las emisiones de CH₄ generadas por el ganado (fermentación entérica y manejo del estiércol) y las emisiones de N₂O generadas por la aplicación de nitrógeno en los suelos agrícolas (las últimas dos contabilizadas en el sector Agricultura).

Respecto a la participación de cada sector en el balance de GEI 2020 en términos absolutos¹⁹ (Figura 2-1), el sector Energía representó un 51 %, seguido del sector UTCUTS (32 %), del sector Agricultura (7 %), del sector Residuos (5 %), y por último del sector IPPU (4 %).

Figura 2-1. INGEI de Chile: balance de GEI (kt CO₂ eq) por sector, serie 1990-2020



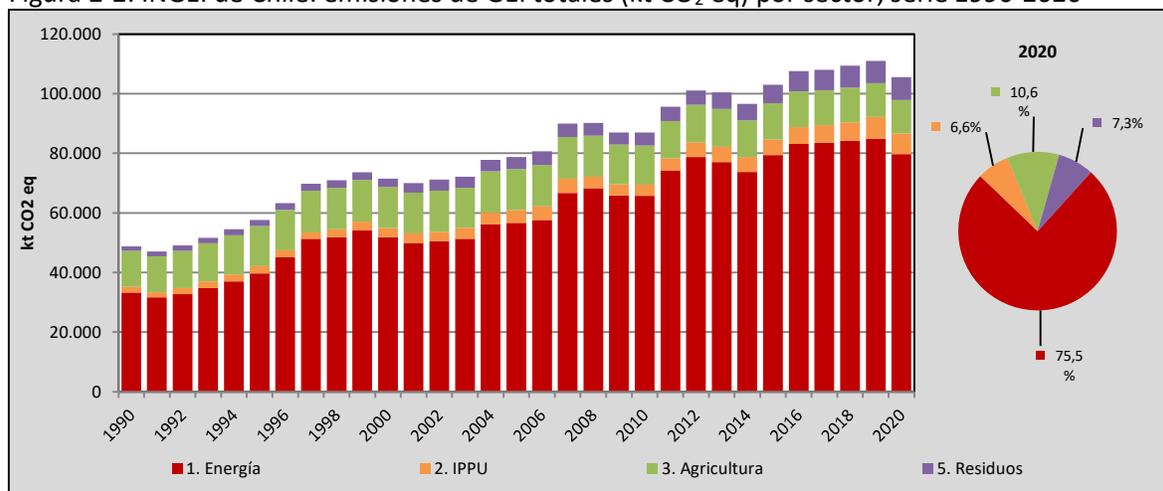
Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA

Respecto a la participación de cada sector en las emisiones de GEI totales del país (Figura 2-2), el sector Energía representó un 75 %, seguido del sector Agricultura (11 %), del sector Residuos (7 %), y finalmente del sector IPPU (7 %). Esto muestra que, tanto en el balance de GEI como en las emisiones totales, el sector Energía es el de mayor relevancia.

¹⁸ En el presente informe, el término «emisiones de GEI totales» refiere solo a la sumatoria de las emisiones de GEI nacionales, expresadas en dióxido de carbono equivalente (CO₂ eq). Este término excluye las fuentes de emisiones y sumideros de absorción del sector *UTCUTS*.

¹⁹ En el presente informe, el término «absoluto» refiere a la magnitud del valor. Su finalidad es comparar las magnitudes entre emisiones y absorciones de GEI. En este sentido, los valores que correspondan a absorciones se acompañarán de un signo negativo para representar su calidad de sumidero.

Figura 2-2. INGEI de Chile: emisiones de GEI totales (kt CO₂ eq) por sector, serie 1990-2020



Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA

2.2 Tendencias de las emisiones y absorciones por GEI

La tendencia de las emisiones y absorciones del país por GEI varía según se incluyan o no las fuentes y los sumideros del sector UTCUTS, ya que su inclusión genera un balance entre emisiones y absorciones de GEI, especialmente del CO₂ (Tabla 2-3).

Tabla 2-3. INGEI de Chile: emisiones y absorciones de GEI (kt CO₂ eq) por gas, serie 1990-2020

GEI	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020
CO ₂ (incl. UTCUTS)	-34.410,0	-14.584,2	1.859,1	12.841,0	21.061,8	32.316,2	29.543,0
CO ₂ (excl. UTCUTS)	31.623,2	51.720,4	65.782,6	77.423,7	83.167,8	84.056,5	79.792,5
CH ₄ (incl. UTCUTS)	11.890,6	13.214,8	13.415,0	14.391,7	14.970,7	15.224,3	15.255,5
CH ₄ (excl. UTCUTS)	11.758,8	13.164,8	13.233,0	14.358,4	14.855,8	15.129,5	14.946,1
N ₂ O (incl. UTCUTS)	5.509,4	6.460,8	6.736,1	6.554,5	6.525,5	6.405,7	6.444,8
N ₂ O (excl. UTCUTS)	5.419,6	6.425,8	6.610,0	6.530,3	6.445,3	6.339,4	6.232,1
Gases fluorados	17,2	187,7	1.344,0	2.125,8	3.076,6	3.935,5	4.581,2
HFC	0,0	143,8	1.245,5	2.048,3	2.988,7	3.823,2	4.389,9
PFC	0,0	0,0	0,2	0,2	1,0	0,8	0,5
SF ₆	17,2	43,8	98,3	77,3	86,8	111,5	190,8
Balance	-16.992,7	5.279,1	23.354,1	35.913,0	45.634,5	57.881,6	55.824,5
Total	48.808,8	71.498,7	86.969,7	100.438,2	107.545,5	109.460,8	105.551,9

NO: No ocurre

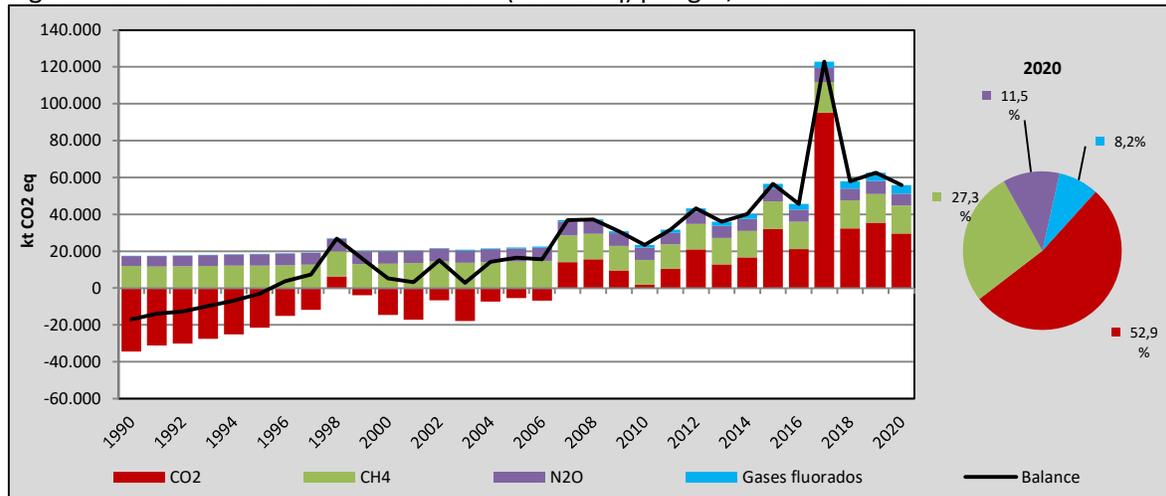
Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA

En 2020, el balance de GEI de Chile por gas estuvo dominado por el CO₂, representando un 53 %, seguido del CH₄ con un 27 %, del N₂O con un 12 % y los gases fluorados que contabilizaron colectivamente el 8 % restante (Figura 2-3). El CO₂ es el GEI que mueve la tendencia, como demuestran los picos (años 1998, 2002, 2007, 2012, 2015 y 2017) y los valles (2002, 2004 y 2010) de la serie.

El balance del CO₂ es favorable a la absorción para los primeros años de la serie (1990-1995). Esto se debe a la absorción de las tierras forestales (en bosque nativo y plantaciones forestales) y al

mayor uso de gas natural para la generación eléctrica en comparación con otros combustibles fósiles, como el carbón en particular, cuya emisión por unidad energética (kg CO₂/TJ) es mayor. Después de 1995 no se mantiene el balance favorable a la absorción ya que las emisiones del sector *Energía* aumentan por el incremento del consumo energético del país en un nivel superior a la contribución de las absorciones de las tierras forestales.

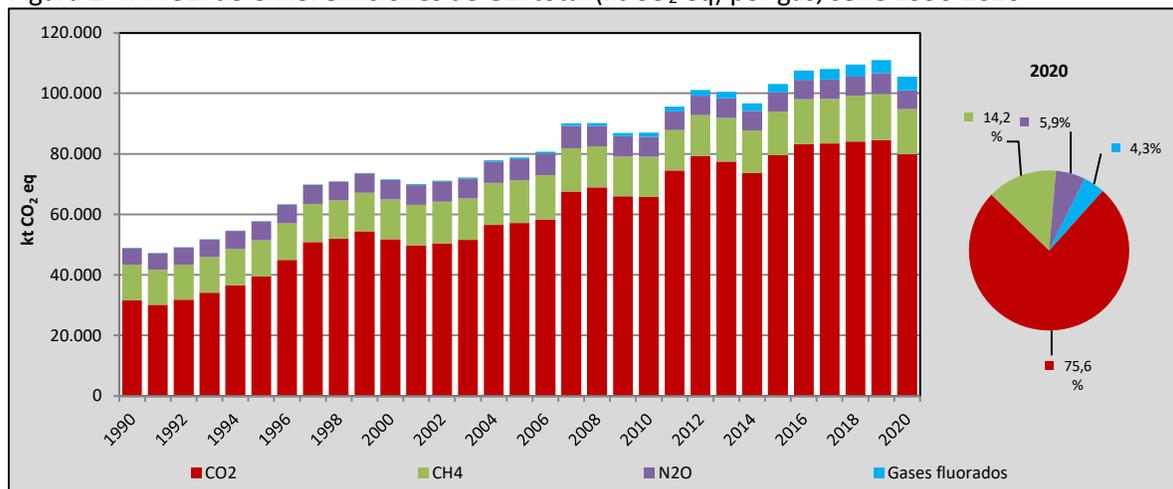
Figura 2-3. INGEI de Chile: balance de GEI (kt CO₂ eq) por gas, serie 1990-2020



Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA

En 2020, las emisiones de GEI totales estuvieron dominadas por el CO₂, representando un 76 %, seguido del CH₄ con un 14 %, del N₂O con un 6 % y de los gases fluorados que contabilizan colectivamente un 4 % (Figura 2-4).

Figura 2-4. INGEI de Chile: emisiones de GEI total (kt CO₂ eq) por gas, serie 1990-2020



Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA

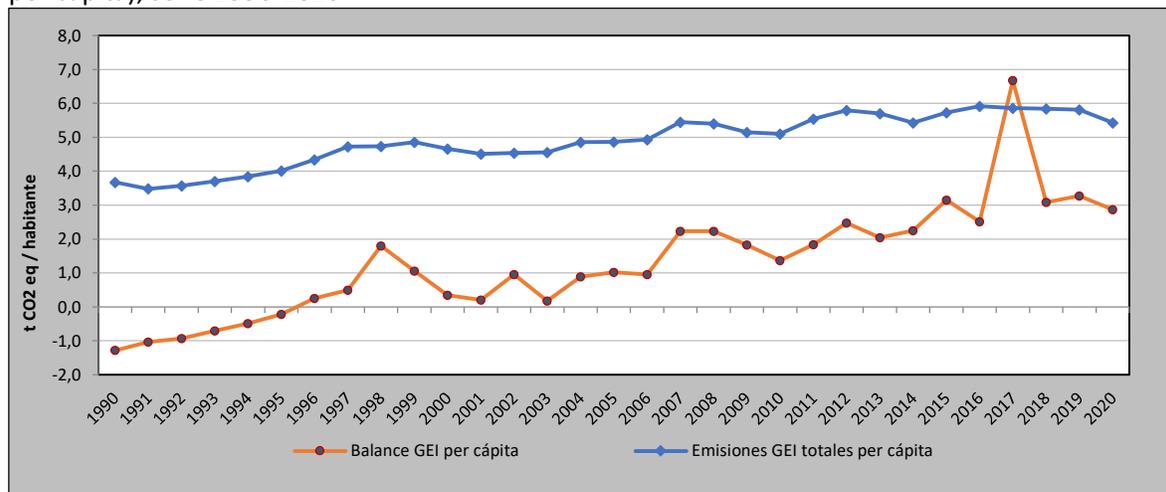
2.3 Indicadores de intensidad de GEI

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) en base a censos 1992, 2002 y 2017; y la proyección poblacional.

En 2020, el indicador balance de GEI per cápita fue de 2,9 t CO₂ eq per cápita, incrementándose en un 327 % desde 1990 y disminuyendo en un 7 % desde 2018. La variación interanual observada, con máximas en 1998 y 2017, se debe principalmente a la influencia de los incendios forestales en el balance de GEI del país.

Por otro lado, el indicador emisiones de GEI totales per cápita (excluyendo el sector *UTCUTS*) fue de 5,4 t CO₂ eq per cápita, incrementándose en un 53 % desde 1990, y disminuyendo en un 7 % desde 2018 (Figura 2-5); esta tendencia se ve influenciada por las emisiones del sector Energía que domina las emisiones de GEI totales del país.

Figura 2-5. INGEI de Chile: balance de GEI per cápita y emisiones de GEI totales per cápita (t CO₂ eq per cápita), serie 1990-2020



Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA con base en Instituto Nacional de Estadísticas (INE)

Adicionalmente, y con el fin de indicar el avance del país en la implementación de sus compromisos en materia de mitigación, se contempla el siguiente resumen (Tabla 2-4), con los principales indicadores relacionados con la NDC presentada en marzo de 2020.

Tabla 2-4. INGEI de Chile: indicadores de interés

Indicador	INGEI IBA5
Emisiones acumuladas últimos años 2010-2020 (Mt CO ₂ eq)	1.125
Emisiones anuales promedio (Mt CO ₂ eq)	102
Máximo de emisiones (Mt CO ₂ eq)	111
Año máximo	2019
Variación con respecto el 2018	-4 %

Fuente: Equipo Técnico Coordinador del 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), 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 2-5 y Figura 2-6). Es importante señalar que el proceso de asignación antes mencionado no incluye el balance de GEI del sector UTCUTS.

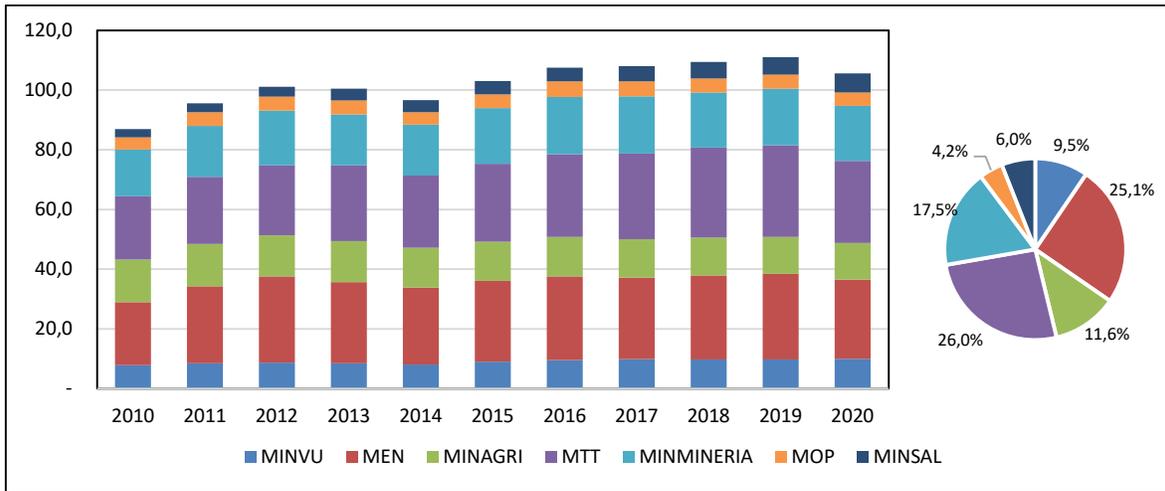
De acuerdo con la asignación establecida y los datos del inventario al 2020, el Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones (MTT) posee las principales fuentes de emisión (26,0 %); seguido de las fuentes del Ministerio de Energía (MEN) (25,1 %); las del Ministerio de Minería (MINMINERÍA) (17,5 %); las del Ministerio de Agricultura (MINAGRI) (11,6 %); las de Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU) (9,5 %); las del Ministerio de Salud (MINSAL) (6,0 %) y por último las asignadas al Ministerio de Obras Públicas (MOP) (4,2 %). La distribución responde a que el MTT es responsable de las emisiones de la subcategoría Transporte (1.A.3.), que al 2020 representa el 24,7 % de las emisiones de GEI totales del país, mientras que el MEN es responsable de una parte de las emisiones relacionadas con la industria de la energía y la industria manufacturera del país.

Tabla 2-5. INGEI de Chile: emisiones de GEI (Mt CO₂ eq) por autoridad, serie 2010-2020

Autoridad sectorial	2010	2012	2014	2016	2018	2020
MINVU	7,8	8,7	8,1	9,5	9,7	10,0
MEN	21,1	28,9	26,0	28,1	28,2	26,5
MINAGRI	14,3	13,7	13,2	13,2	12,7	12,2
MTT	21,2	23,4	24,3	27,7	30,1	27,5
MINMINERIA	15,6	18,4	17,0	19,2	18,5	18,5
MOP	4,0	4,7	4,2	5,2	4,6	4,5
MINSAL	2,8	3,2	4,1	4,6	5,6	6,3
Total	86,9	101,0	96,8	107,5	109,4	105,5

Fuente Equipo Técnico Coordinador del MMA

Figura 2-6. INGEI de Chile: tendencia de las emisiones de GEI (Mt CO₂ eq) por autoridad, serie 2010-2020



Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA

3 SECTOR ENERGÍA (1)

3.1 Panorama general

3.1.1 Introducción

En la actualidad la mayor parte de la energía consumida es obtenida a través de la quema de combustibles fósiles. De acuerdo con las directrices del IPCC de 2006²⁰, esta actividad se define como la oxidación intencional de materiales dentro de un aparato diseñado para suministrar calor o trabajo mecánico a un proceso, o para usar fuera del aparato. Esta definición es importante para diferenciar el uso de hidrocarburos en procesos industriales para reacciones químicas.

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

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

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

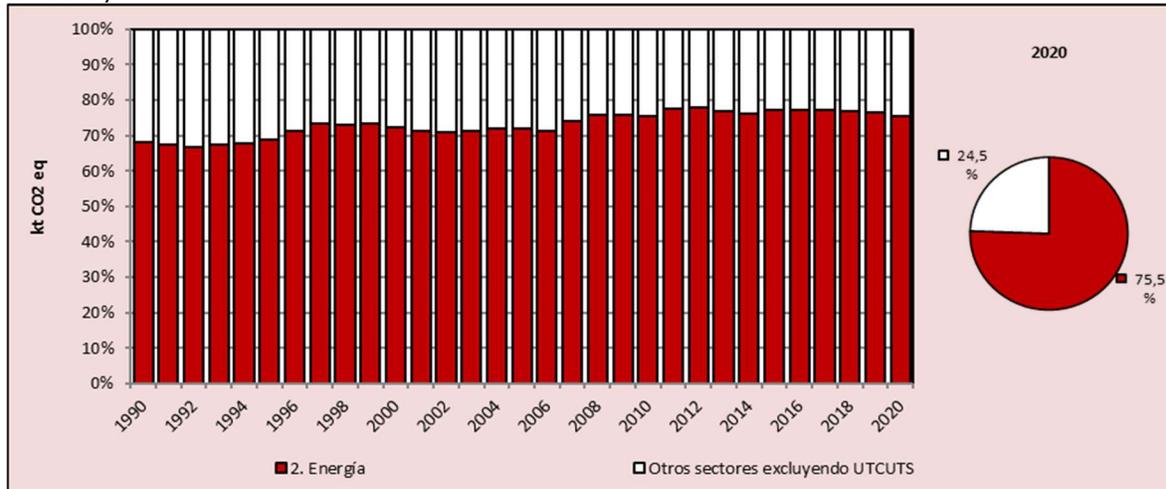
De éstas, la más importante en Chile es el uso de combustibles en aplicaciones estacionarias y móviles. Exploración y explotación de fuentes primarias no ocurre de manera muy significativa ya que la mayoría de los combustibles fósiles que se utilizan en Chile son importado; gran parte de éste es en forma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

3.1.2 Tendencia de las emisiones de GEI

El sector Energía es el principal sector emisor de GEI en el país, representando el 75 % de las emisiones de GEI totales (Figura 3-1) y el 51 % del balance de GEI del país (Figura 3-2) para el 2020.

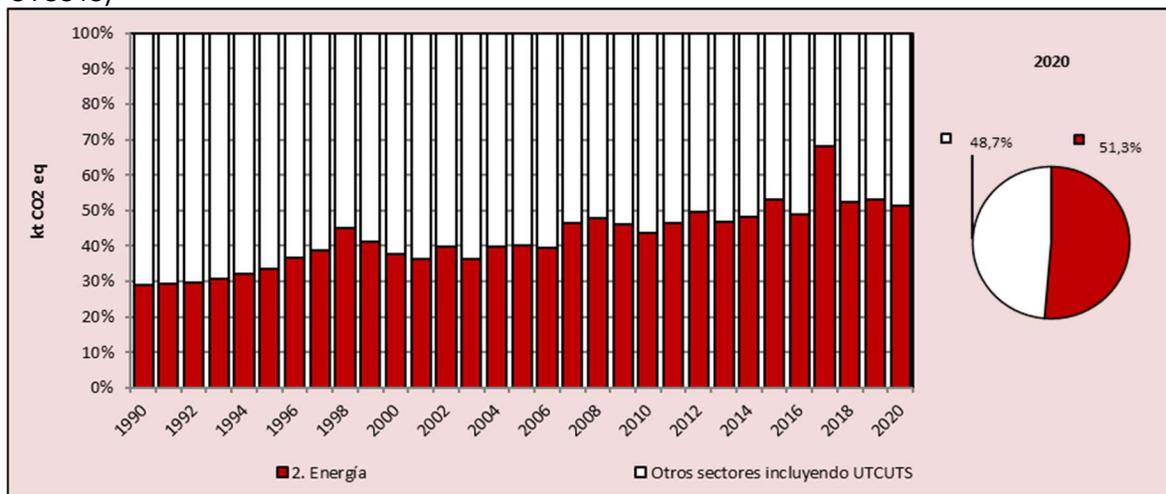
²⁰ Volumen 2, Capítulo 1.

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 2020, las emisiones de GEI del sector contabilizaron 79.724 kt CO₂ eq, incrementándose en un 139% desde 1990 y disminuyendo en un 5 % desde 2018 (Tabla 3-1 y Figura 3-3). En general, la principal causa del incremento sostenido del sector se debe al aumento del consumo energético del país, en donde destaca el consumo de carbón mineral y de gas natural para la generación eléctrica (mayor detalle en 3.2.9. *Industrias de la energía*), así como el consumo de combustibles líquidos para transporte terrestre, mayormente diésel y gasolina para motor (mayor detalle en 3.2.10 *Transporte*). En los inicios de la serie histórica, entre 1990 y 1999, se observa un crecimiento casi constante en las emisiones del sector; sin embargo, desde ese último año hasta 2006 se aprecia una disminución y luego un aumento brusco en 2007. Esto se debe a la entrada y posterior caída de la oferta de gas natural proveniente de Argentina, que fue sustituido inicialmente con diésel entre los años 2007 y 2010 dado que es su sustituto natural, dando paso posteriormente al carbón con la entrada de nuevas centrales generadoras basadas en este energético. Luego en 2008, y con mayor fuerza en 2009, se observa una disminución en las emisiones de GEI del sector, descenso que se

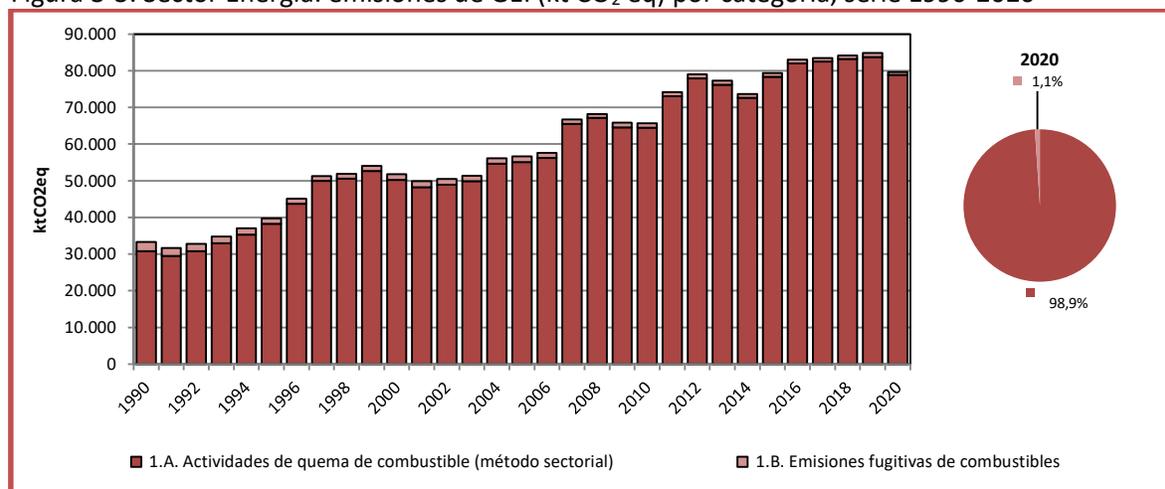
atribuye en forma importante a la crisis económica internacional que comenzó en 2008. El 27 de febrero de 2010 se produjo un terremoto que alcanzó una magnitud de 8,8 M_w y fue seguido de un tsunami entre las regiones Metropolitana y Biobío. Este fenómeno natural retrasó la activación de la economía del país hasta 2011 dado el alto impacto tanto a niveles urbanos como industriales. El alza de las emisiones entre 2011 y 2013 se debe en parte al incremento de generación eléctrica por un aumento en la actividad económica del país impulsado por la minería del cobre, junto con el uso de carbón para generación eléctrica. En el año 2014 se presenta una baja en emisiones debido principalmente al aumento de lluvia que hubo en esos años, en específico el 2013; dicho aumento permitió almacenar recursos hídricos para el 2014, lo cual hizo aumentar la generación hidroeléctrica para dicho año. El posterior aumento se debe al 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 nuevas plantas de gas natural; sin embargo, esta disminución no se ve reflejada finalmente en los números finales debido al constante crecimiento en el consumo de bencinas y diésel en el transporte terrestre, que ha sostenido su crecimiento al igual que en los últimos años. Para el año 2020, se observa una caída significativa respecto a la tendencia de los últimos años, atribuible a la pandemia global causada por el COVID 19, la cual redujo la actividad económica y social durante varios meses dentro del año debido a las restricciones impuestas por el estado (cuarentenas), reduciendo principalmente las emisiones asociadas al transporte terrestre y aéreo, junto con al uso Comercial/institucional.

Respecto a las categorías (Figura 3-3), el 98,9 % de las emisiones de GEI del sector corresponde a la categoría *Actividades de quema de combustible* y el 1,1 % restante a la categoría *Emisiones fugitivas de combustibles* para el año 2020.

Tabla 3-1. Sector Energía: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por categoría, serie 1990-2020

Categoría	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020
1.A. Actividades de quema de combustible (método sectorial)	30.795,7	50.215,4	64.515,3	75.971,2	82.048,8	83.222,8	78.876,1
1.B. Emisiones fugitivas de combustibles	2.540,4	1.588,6	1.235,7	1.119,3	1.052,7	980,1	848,2
Total	33.336,1	51.804,0	65.751,0	77.090,6	83.101,5	84.202,9	79.724,3

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

Figura 3-3. Sector Energía: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por categoría, serie 1990-2020

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

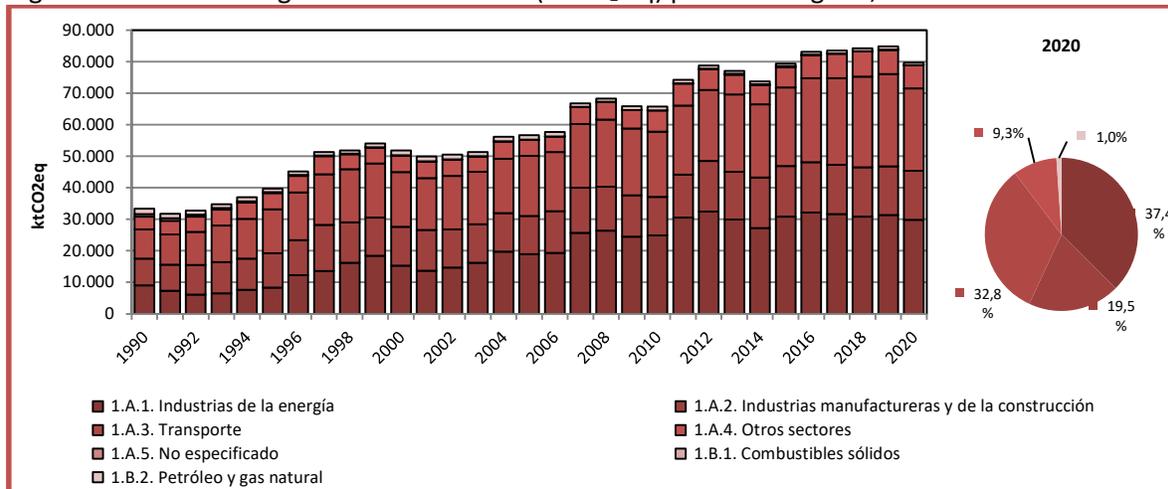
Respecto a las subcategorías (Tabla 3-2 y Figura 3-4), *Industrias de la energía* (principalmente *Generación de electricidad como actividad principal*) es la de mayor importancia dentro del sector con un 37,4 % de participación en 2020, seguida de un 32,8 % de *Transporte* (principalmente el *Transporte terrestre*), 19,5 % de *Industrias manufactureras y de la construcción* y 9,3 % de *Otros sectores* (principalmente *Residencial*); el restante 1,0% corresponde a al sector No especificado (se incluye dentro de esta actualización) y a las emisiones fugitivas de las categorías *Combustibles sólidos* y *Petróleo y gas natural*.

Tabla 3-2. Sector Energía: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por subcategoría, serie 1990-2020

Subcategoría	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020
1.A.1. Industrias de la energía	9.037,7	15.259,9	24.830,6	29.934,6	32.175,8	30.815,0	29.841,6
1.A.2. Industrias manufactureras y de la construcción	8.518,4	12.316,2	12.298,4	15.085,5	15.924,2	15.660,9	15.528,2
1.A.3. Transporte	9.246,3	17.365,7	20.680,0	24.548,9	26.592,8	28.807,3	26.114,2
1.A.4. Otros sectores	3.993,2	5.273,6	6.687,6	6.261,3	7.347,1	7.935,4	7.389,6
1.A.5. No especificado	-	-	18,6	140,8	8,8	4,2	2,5
1.B.1. Combustibles sólidos	855,5	131,8	71,0	163,6	137,2	92,8	18,6
1.B.2. Petróleo y gas natural	1.685,0	1.456,7	1.164,7	955,7	915,5	887,3	829,6
Total	33.336,1	51.804,0	65.751,0	77.090,6	83.101,5	84.202,9	79.724,3

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

Figura 3-4. Sector Energía: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por subcategoría, serie 1990-2020



Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

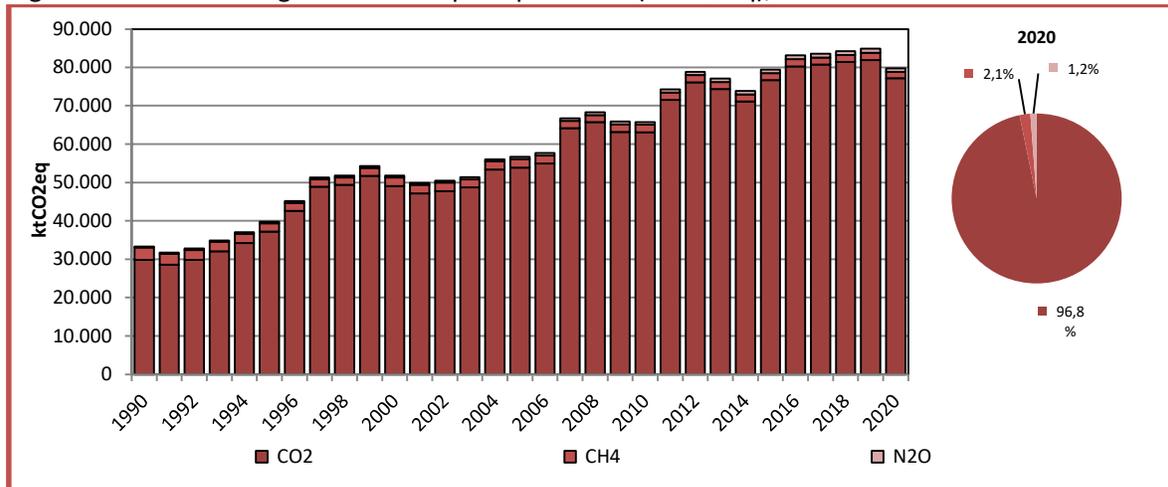
En 2020, el principal GEI emitido por el sector fue el CO₂, representando un 96,8 % de las emisiones totales de GEI del sector. Lo sigue el CH₄ con un 2 % y el N₂O con un 1,2 % (Tabla 3-3 y Figura 3-5).

Tabla 3-3. Sector Energía: emisiones por tipo de GEI (kt CO₂ eq), serie 1990-2020

GEI	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020
CO ₂	29.857,6	49.025,9	63.071,9	74.301,5	80.229,3	81.388,7	77.135,7
CH ₄	3.163,3	2.240,3	1.947,0	1.895,3	1.871,1	1.795,7	1.644,4
N ₂ O	315,2	537,8	732,1	893,8	1.001,2	1.018,6	944,2
Total	33.336,1	51.804,0	65.751,0	77.090,6	83.101,5	84.202,9	79.724,3

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

Figura 3-5. Sector Energía: emisiones por tipo de GEI (kt CO₂ eq), serie 1990-2020



Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

3.1.3 Tendencia del consumo de energéticos en el país

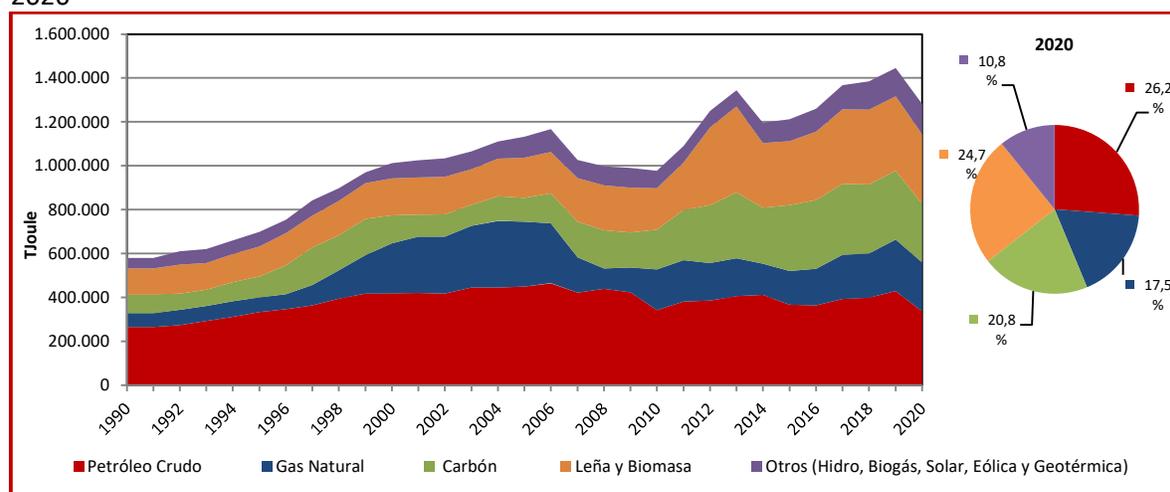
El consumo bruto de energía primaria en Chile está compuesto principalmente por combustibles de origen fósil. En 2020, el petróleo crudo representó un 29 %, seguido por la leña y biomasa con un 25 %, carbón con el 23 %, gas natural el 15 % y el restante 9 % a otras energías renovables incluyendo hidroeléctrica, eólica, solar, geotermia y biogás (Tabla 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 derivados, tanto en vehículos livianos como de carga. Por otra parte, el gas natural presenta grandes variaciones a lo largo de la serie, dado principalmente a que entre el 2000 y 2006 aumenta su participación por el ingreso de gas proveniente desde Argentina para ser utilizado en generación eléctrica y a nivel residencial, pero en 2007 decae drásticamente a causa del corte de suministro de parte de este país. El carbón aumenta su participación a partir del 2010 como energético sustituto del gas natural para la generación eléctrica con la entrada de las nuevas centrales. Para el 2014 existe una clara disminución del consumo de energéticos primarios, principalmente de gas natural y carbón para la generación eléctrica, debido al aumento de generación hídrica por las buenas condiciones hidrológicas en 2013 y 2014. Respecto a los últimos años incorporados para esta serie, se destaca el incremento de la energía eólica y solar ya que, a pesar de tener una baja participación en la matriz, tuvieron un aumento considerable entre 2016 y 2020, incrementándose en conjunto en un 167 %, alcanzando así los 48.840 TJ. Cabe destacar la baja en el consumo del carbón para el año 2020, cayendo en un 15% respecto 2018, 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 1990-2020

Energético	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020
Petróleo Crudo	265.750,0	418.778,8	342.283,2	406.188,2	364.406,9	398.081,0	335.781,1
Gas Natural	63.036,9	227.255,3	185.966,9	172.126,5	166.306,1	202.784,4	224.325,6
Carbón	85.109,7	127.783,9	180.101,2	300.271,8	313.221,1	313.763,5	266.386,4
Hidroelectricidad	47.269,0	68.705,4	78.334,1	71.063,7	83.147,3	84.079,2	78.157,1
Eólica	-	-	1.171,2	1.997,3	8.813,9	12.910,1	20.158,4
Leña y Biomasa	118.333,4	169.217,1	188.903,8	391.605,8	311.549,5	341.351,3	316.913,9
Solar	-	-	-	799,2	9.486,1	18.774,8	28.682,5
Biogás	715,9	192,2	325,7	503,1	2.754,3	4.495,1	3.519,5
Geotermia	-	-	-	-	-	7.703,8	7.772,2
Total	580.214,9	1.011.932,6	977.086,1	1.344.555,6	1.259.685,0	1.383.943,4	1.281.696,7

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

Figura 3-6. Sector Energía: consumo bruto de energéticos primarios (TJ) por energético, serie 1990-2020



Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

3.1.4 Aspectos metodológicos generales del sector

Para ambas categorías consideradas en el sector, *Actividades de quema de combustibles* y *Emisiones fugitivas de combustibles* se utilizaron las metodologías propuestas por las *Directrices del IPCC de 2006*. Se aplicó el método Nivel 1 para prácticamente todas las estimaciones, a excepción del componente *Manufactura de combustibles sólidos* (en donde se estimó con nivel 2 las emisiones de CO₂ para el coque metalúrgico) y el componente *Transporte terrestre* (en el cual se aplicó el método Nivel 2 para los gases no CO₂), con factores de emisión por defecto en ambos casos. Para el componente *Producción de electricidad y calor como actividad principal* se estimó con Factores de emisión país específico las emisiones provenientes del consumo de carbón en centrales generadoras. Adicionalmente para *Actividades de quema de combustibles* se aplicó el *Método de referencia* 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.

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, NE, NO	D, IE, NE, NO, CS	T1, T2, IE, NE, NO	D, IE, NE, NO	T1, T2, IE, NE, NO	D, IE, NE, NO
1.B. Emisiones fugitivas de combustibles	T1, NA, NE, NO	D, NA, NE, NO	T1, NA, NE, NO	D, NA, NE, NO	NA, NE, NO	NA, NE, NO
1.C. Transporte y almacenamiento de CO ₂	NO	NO	NO	NO	NO	NO

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

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

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

3.1.5 Datos de actividad del sector

En el sector Energía los datos de actividad son en su mayoría las cantidades de combustible quemado o procesado, lo que es suficiente para una estimación de las emisiones de GEI aplicando un método Nivel 1. Este tipo de información suele ser recopilada, analizada y publicada bajo el nombre de estadísticas de energía o balances de energía. En el caso de Chile estos datos son recopilados en el Balance Nacional de Energía, el que se describe a continuación.

3.1.5.1 Balance Nacional de Energía

El Balance Nacional de Energía (BNE) es un producto estadístico de recopilación de flujos de energía que tiene por objeto contabilizar la oferta total de energía disponible en el país en un año calendario, y cuantificar cómo esta oferta fue consumida por los principales sectores de la economía nacional. El BNE en Chile se elabora desde 1960, inicialmente a cargo de la Comisión Nacional de Energía (CNE), pasando en el 2010 a ser responsabilidad de la División de Prospectiva y Análisis de Impacto Regulatorio del Ministerio de Energía de Chile. Actualmente se puede encontrar en el portal *Energía Abierta* de la CNE la serie histórica desde 1991 a la fecha²¹.

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

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

- En el BNE correspondiente al 2004 se desagregan los consumos de los centros de transformación, obteniéndose así los consumos propios de las empresas que componen el sector energético.
- Desde el 2009 se publica el BNE de acuerdo con el formato recomendado por la AIE.
- Desde el BNE 2014 se presentan los consumos de energía a nivel regional.
- Cambio en la metodología de estimación del consumo residencial de leña y derivados de biomasa, aplicado desde la edición BNE 2014²².
- Corrección retrospectiva (desde BNE 2010 hasta BNE 2013) a la estadística de demanda de biomasa de parte de los sectores comercial, público y residencial.

²¹ <http://energiaabierta.cne.cl/visualizaciones/balance-de-energia/>

²² Hasta la edición de BNE 2013, el consumo residencial de biomasa fue estimado en forma teórica utilizando una metodología 'bottom-up' en base a las necesidades energéticas de una vivienda modelo. Desde la edición de BNE 2014 se utiliza un software de proyección de demanda energética cuyo insumo proviene de una encuesta nacional de consumo de leña en hogares, disminuyendo así el error de estimación, la utilización de supuestos, y abarcando de manera directa a todo el territorio nacional.

- 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.

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

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

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

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

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

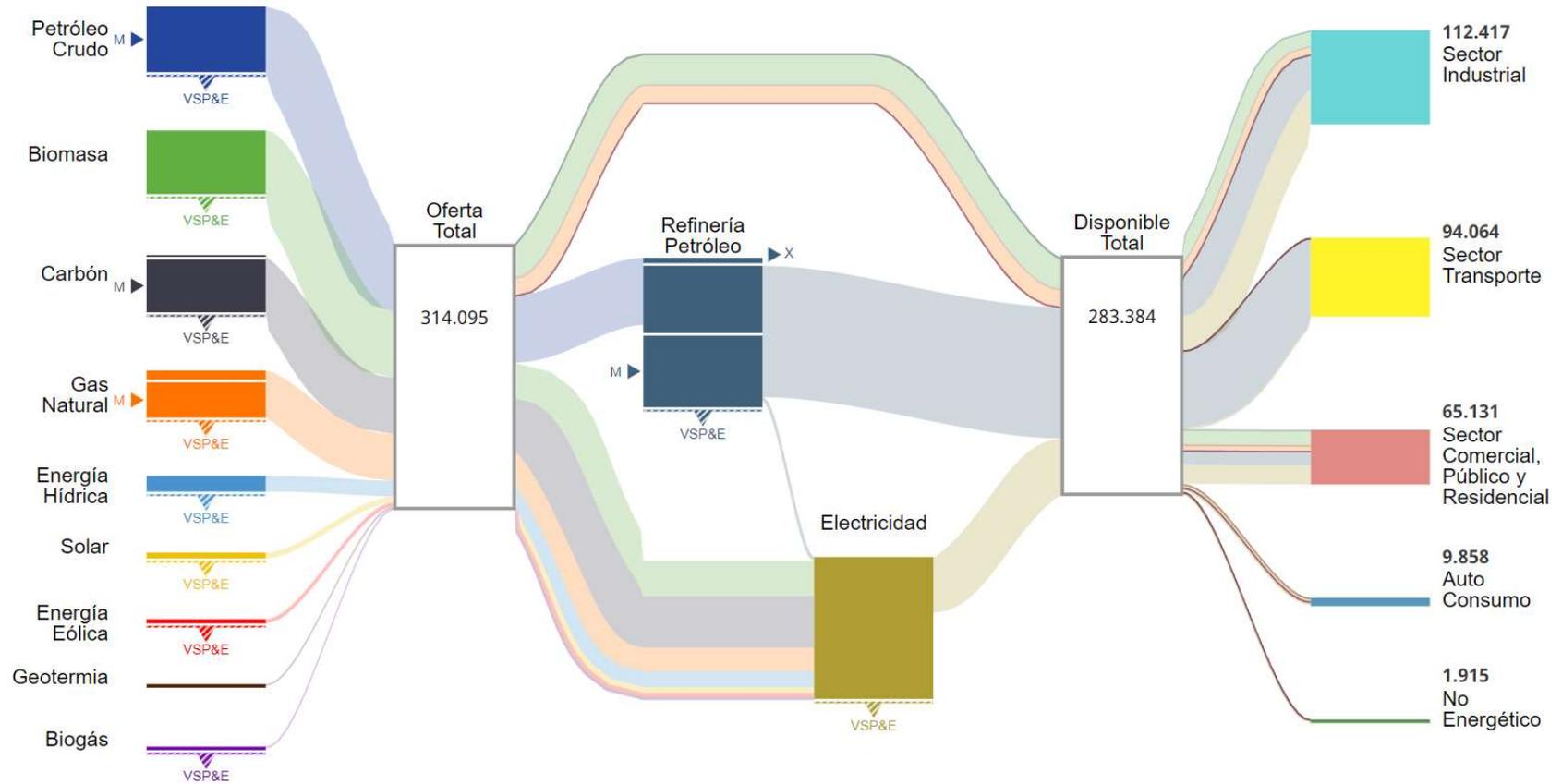
En general la forma en que está construido el BNE permite en muchos casos usarlo de manera directa como datos de actividad para la estimación de las emisiones. Sin embargo, para algunos subsectores del inventario se deben hacer supuestos, como, por ejemplo, que el componente de las emisiones *Procesamiento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

Con respecto a la incertidumbre asociada al BNE, en su construcción se estudia la diferencia estadística para detectar errores en los datos, sin embargo, no siempre se han seguido los mismos criterios. Desde el 2009 el BNE sigue el formato de la AIE en el que se estipula que la diferencia

estadística para combustibles relevantes como el gas natural y el carbón deben ser menores al 1 %, mientras que para otros menos relevantes resulta ser de hasta un 5 %. Es posible hacer un análisis estadístico de las diferencias estadísticas para la serie histórica por combustible, pero dada la falta de recursos, por el momento no se ha realizado. Esto se agrega al plan de mejora continua como punto de mejora del BNE.

En la Figura 3-7 se observa el diagrama de flujos de energía de Chile elaborado a partir del BNE para el año 2020 (Ministerio de Energía, Todos los años disponibles), donde se aprecia el panorama general de la oferta, la transformación y el consumo de energía en Chile. Se destaca que el principal energético utilizado para la generación eléctrica en el país es el carbón, energético del cual se depende muy fuertemente de proveedores internacionales (en 2018 se importó un 94 % de su oferta); a la vez, el principal sector consumidor de electricidad es la minería con un 36 %. Por otro lado, los derivados del petróleo representan un 55 % del consumo final en el 2020 dado su elevado uso en el sector transporte, en particular en el transporte terrestre, pero también se presentan consumos en otros sectores dada su versatilidad (industrial, minero, comercial y residencial); en Chile, los derivados del petróleo se obtienen principalmente a partir de la refinación del petróleo crudo, realizado por la Empresa Nacional del Petróleo (ENAP). A su vez, el petróleo crudo es importado casi en su totalidad (98%). El gas natural representa el 7 % del consumo final y se importa un 79 %, siendo utilizado principalmente en la generación eléctrica y en el sector residencial. Adicionalmente, es posible apreciar en la Figura 3-7, 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 en Teracalorías, 2020.



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

3.1.5.2 Conversión y manejo de datos de actividad

El BNE solicita la información en unidades físicas de los diferentes energéticos evaluados, y se publica en unidades energéticas -Teracalorías (Tcal)- como unidad estándar. Para la transformación de unidades físicas a energéticas se utilizan los poderes caloríficos superiores (PCS) y densidades estándares y se han utilizado los mismos en toda la serie histórica. Estos se encuentran publicados en el ANEXO 11.05. Para facilitar el manejo de datos en la construcción del inventario de emisiones, todos los consumos energéticos por cada energético del BNE se convirtieron de Tcal a Terajoules (TJ), junto con además pasar de PCS a poder calorífico inferior (PCI). Para esto se utilizó la siguiente ecuación:

Ecuación 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* (página 1.17; Capítulo 1; Volumen 2) que dice “para el carbón y el petróleo, el VCN (valor calorífico neto equivalente a PCI) es alrededor de un 5 por ciento menor que el VCB (valor calorífico bruto equivalente a PCS). Para la mayoría de las formas de gas natural y manufacturado, el VCN es alrededor de 10 por ciento menor”. A partir de esto se elaboró la Tabla 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 oíl	0,95
Gasolina para motor	0,95
Gases licuados de petróleo	0,90
Gas de Refinería	0,95
Gasolina para la aviación	0,95
Otro queroseno	0,95
Queroseno para motor a reacción	0,95
Otros productos del petróleo (Metanol)	0,95
Nafta	0,95
Fuelóleo residual	0,95
Otro Carbón sub-bituminoso	0,95
Coque para horno de coque y Coque de lignito	0,95
Gas Alto Horno	0,90
Gas de fábrica de gas	0,90

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

En la Tabla 3-7 se presentan los Factores de emisión y poderes caloríficos inferiores de todos los energéticos utilizados y consultados en la encuesta del BNE habiendo hecho el procedimiento previo.

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

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

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

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

3.2.1 Descripción de la categoría

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

La categoría incluye las siguientes subcategorías:

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

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

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

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

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

3.2.2 Tendencia de las emisiones de GEI

La categoría *Actividades de quema de combustible* es la principal categoría emisora del sector Energía, representando el 98,9 % de las emisiones de GEI del sector. En 2020, las emisiones de GEI de la categoría contabilizaron 78.876,1 kt CO₂ eq. Desde 1990, las emisiones de GEI se han incrementado en un 156,1 % y desde 2018 disminuyeron en un 5,2 % (Tabla 3-8 y Figura 3-8). El incremento sostenido a lo largo de la serie temporal se debe principalmente al aumento sostenido de generación eléctrica a partir de carbón y del aumento en el uso de combustibles líquidos (diésel y gasolinas) en el transporte terrestre. Se observa que entre 1999-2006 hay una disminución y luego un aumento brusco en 2007. Esto se debe a la entrada y posterior caída de la oferta de gas natural proveniente desde Argentina, que en un principio fue sustituida por diésel dado que muchas plantas a gas podían operar con diésel. A partir de 2010, comienza el ingreso del carbón con la entrada de nuevas centrales basadas en este energético dado su bajo precio respecto tanto al diésel como del gas natural. En 2009 y 2010 se observa una disminución que se explica por la crisis económica

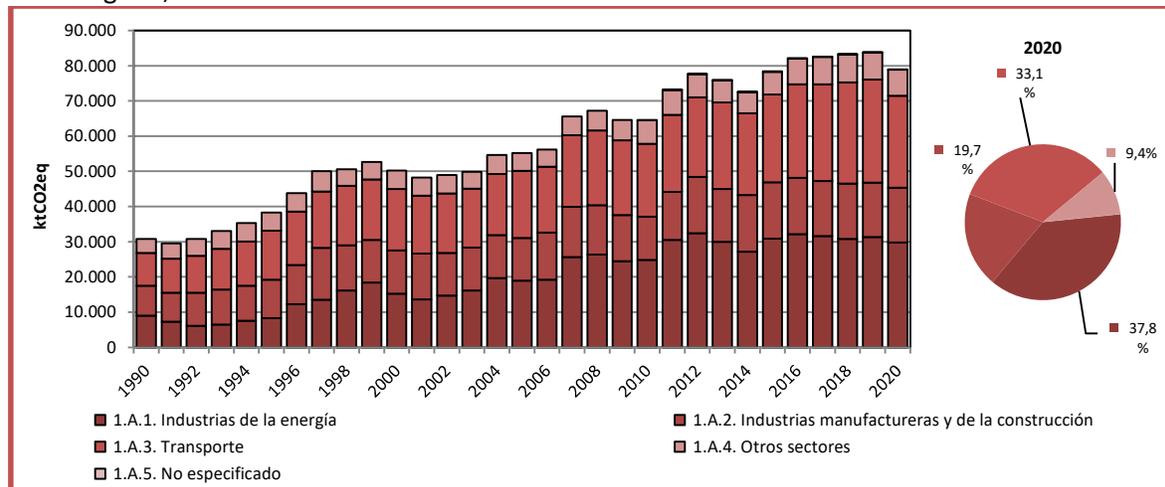
internacional que comenzó en el 2008 junto con el terremoto de 8,8_{MW} que afectó a Chile el 2010. La baja del 2014 se debe principalmente a un incremento en la generación eléctrica hídrica, la cual reemplaza la generación a carbón durante ese año. Respecto los últimos años incluidos en esta actualización, en el 2019 se mantuvo la tendencia observada en los años 2017 y 2018, en donde se mantuvo la conjunción entre el decrecimiento de la generación termoeléctrica por el menor uso de carbón y el aumento del sector transporte, en específico por el incremento en la cantidad de vehículos livianos debido a factores como el crecimiento general del poder adquisitivo de la población. Ya para el 2020, se observa una brusca caída en las emisiones, asociadas exclusivamente al efecto ocurrido con motivo de la pandemia mundial acusada por el COVID 19, la cual impuso fuertes restricciones de movilidad, reflejándose en la mayor caída de emisiones en el sector Transporte.

Tabla 3-8. 1.A. Actividades de quema de combustible: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por subcategoría, serie 1990-2020

Subcategoría	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020
1.A.1. Industrias de la energía	9.037,7	15.259,9	24.830,6	29.934,6	32.175,8	30.815,0	29.841,6
1.A.2. Industrias manufactureras y de la construcción	8.518,4	12.316,2	12.298,4	15.085,5	15.924,2	15.660,9	15.528,2
1.A.3. Transporte	9.246,3	17.365,7	20.680,0	24.548,9	26.592,8	28.807,3	26.114,2
1.A.4. Otros sectores	3.993,2	5.273,6	6.687,6	6.261,3	7.347,1	7.935,4	7.389,6
1.A.5. No especificado	-	-	18,6	140,8	8,8	4,2	2,5
Total	30.795,7	50.215,4	64.515,3	75.971,2	82.048,8	83.222,8	78.876,1

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA.

Figura 3-8. 1.A. Actividades de quema de combustible: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por subcategoría, serie 1990-2020



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 55,9 %, seguido con un 30,6 % los *combustibles sólidos*, 12,5 % de *combustibles gaseosos* y un 1,0 % de *biomasa* (Tabla 3-9 y Figura 3-9).

Respecto a la no consideración de las emisiones de CO₂, las *Directrices del IPCC del 2006* indican²³ lo siguiente: “Nótese que las emisiones de CO₂ de los combustibles de biomasa no se incluyen en el total

²³ Volumen 2, capítulo 1, página 21.

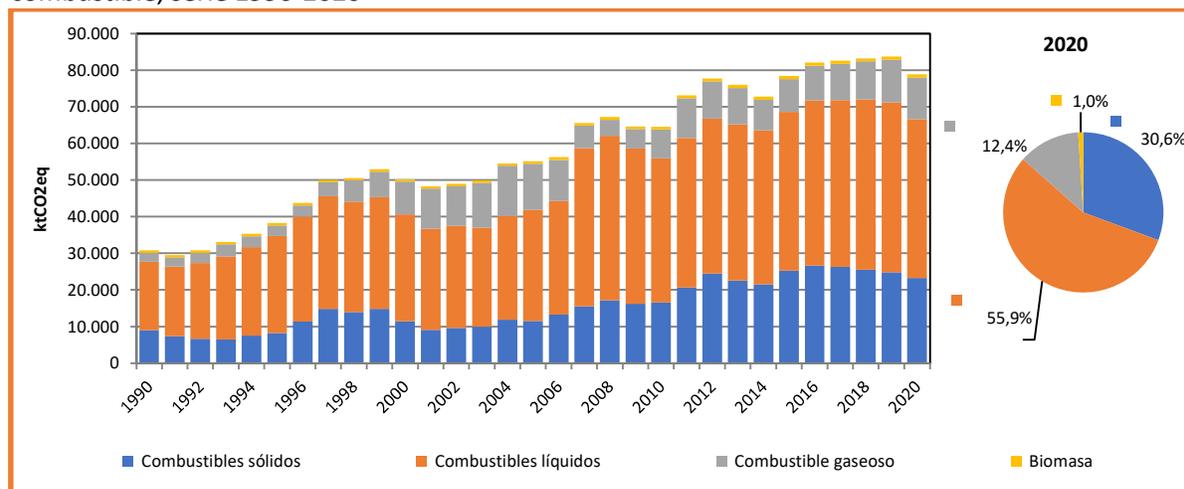
nacional, pero se declaran como elemento informativo. Las emisiones o absorciones netas de CO₂ se estiman en el sector AFOLU y toman en cuenta estas emisiones. Obsérvese que se considera la turba un combustible fósil y no un biocombustible y, por lo tanto, las emisiones procedentes de la combustión se 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

Tabla 3-9. 1.A. Actividades de quema de combustible: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por tipo de combustible, serie 1990-2020

Tipo de combustible	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020
Combustibles sólidos	9.022,0	11.448,2	16.586,5	22.577,3	26.633,7	25.493,4	23.283,3
Combustibles líquidos	18.670,7	29.134,8	39.332,6	42.606,5	45.049,1	46.505,9	43.288,0
Combustible gaseoso	2.466,5	8.989,2	7.878,6	9.957,7	9.487,0	10.361,2	11.439,3
Biomasa	636,4	643,2	717,6	829,7	879,0	862,4	865,5
Total	30.795,7	50.215,4	64.515,3	75.971,2	82.048,8	83.222,8	78.876,1

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

Figura 3-9. 1.A. Actividades de quema de combustible: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por tipo de combustible, serie 1990-2020



Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

3.2.3 Aspectos metodológicos de la categoría

Para la estimación de las emisiones de GEI de la categoría *Actividades de Quema de combustible* se aplicó el método Nivel 1 con excepción de los componentes *Producción de electricidad y calor como actividad principal, Manufactura de combustibles sólidos y Transporte terrestre*. En la Tabla 3-10 se observa un resumen de los métodos aplicados por subcategoría y por tipo de GEI.

Tabla 3-10. 1.A. Actividades de quema de combustible: métodos aplicados por subcategoría

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

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

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

Todos los cálculos se hicieron de acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006* utilizando factores de emisión por defecto y la Ecuación 3-2 para la mayoría de los cálculos, (a excepción de las componentes *Producción de electricidad y calor como actividad principal* y *Manufactura de combustibles sólidos* la cual se describe en la sección 3.2.8.3). El cálculo de las emisiones para esta subcategoría se realizó a través de planillas Excel.

Ecuación 3-2. 1.A. Actividades de quema de combustible: emisiones de GEI procedentes de la combustión estacionaria Nivel 1.

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

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

Donde:

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

3.2.4 Comparación entre el Método de referencia y el Método sectorial

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

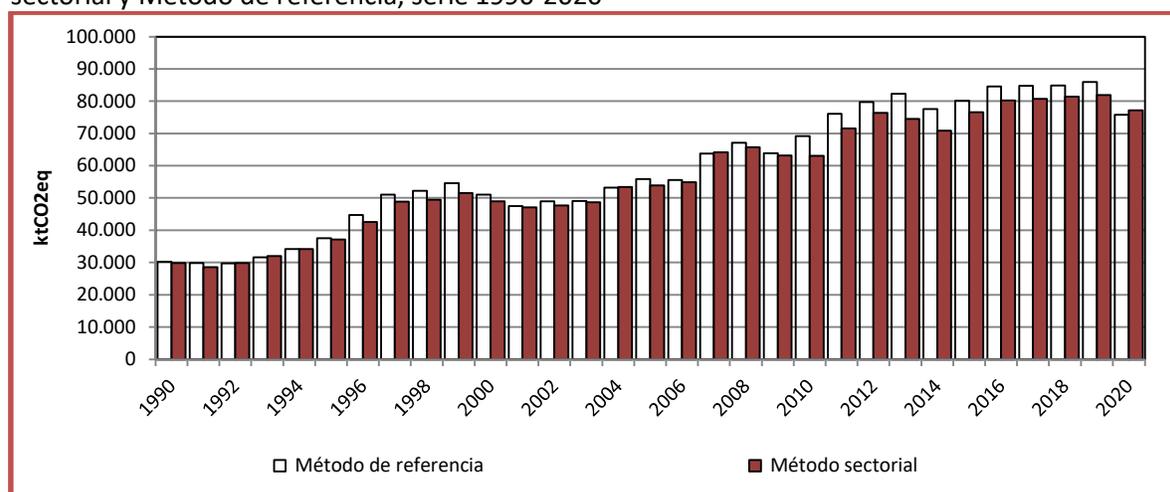
En general, la tendencia de las emisiones de CO₂ presenta diferencias razonables (menores al 5 % en términos absolutos) previo al 2010. Posterior a esta fecha se presentan las mayores diferencias, superando en 2010, 2013 y 2014 el 5 %. Las diferencias se deben a diversas consideraciones en el uso final y de transformación de combustibles como el carbón, el gas natural, el gas licuado de petróleo (GLP) y el biogás; así como también a las modificaciones de consumo históricas realizadas en esta actualización, las cuales no se vieron reflejadas en los números utilizados para la estimación del método de referencia (Tabla 3-11 y Figura 3-10).

Tabla 3-11. 1.A. Actividades de quema de combustible: emisiones de CO₂ (kt CO₂ eq) del Método sectorial y Método de referencia, incluyendo su diferencia, serie 1990-2020

Método	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020
Método de referencia	30.283,9	51.078,7	69.179,2	82.234,1	84.535,2	84.846,7	75.730,1
Método sectorial	29.851,7	49.020,8	63.067,9	74.298,6	80.226,3	81.385,8	77.133,1
Diferencia	- 432,2	- 2.057,9	- 6.111,4	- 7.935,5	- 4.308,9	- 3.460,9	1.403,0
Diferencia %	-1,4%	-4,2%	-9,7%	-10,7%	-5,4%	-4,3%	1,8%

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

Figura 3-10. 1.A. Actividades de quema de combustible: emisiones de CO₂ (kt CO₂ eq) del Método sectorial y Método de referencia, serie 1990-2020



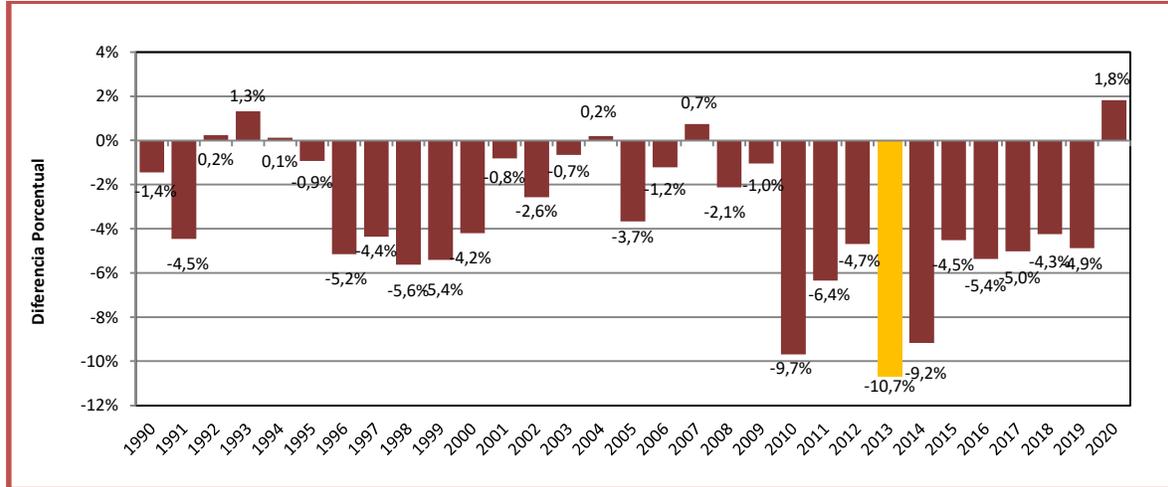
Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

En la Figura 3-11 se observa la diferencia porcentual entre el *Método de referencia* y el *Método sectorial* para la serie 1990-2020. Para los casos en que la diferencia es mayor al 5 %, se debe principalmente a las correcciones históricas realizadas por casos particulares en cada uno de esos años, los cuales no se ven reflejado en el método de referencia porque los datos utilizados en este método vienen directamente del BNE. El detalle de cada caso se explica a continuación:

- Para el 2010, en donde se alcanzó la mayor diferencia (-10,7%), se debe a la interpolación realizada de los consumos de gas natural y diésel en la componente *Minería* (1.A.2.i) y de fuelóleo residual en el subcomponente *Todo terreno* (1.A.3.e.ii), ya que existían valores para esos años totalmente fuera de rango para dichos usos, los cuales están asociados a errores metodológicos del BNE para dicho año.
- Respecto a los años 2013 y 2014, en donde las diferencias alcanzaron un -10,7 % y -9,4 % respectivamente, estas se deben principalmente a correcciones de interpolación para esos años con respecto al consumo de carbón y diésel en la componente *Minería* (1.A.2.i), dado

que dichos años se encontraban sin valores, lo cual se corrigió únicamente en los datos manejados dentro de las planillas del INGEI, y no directamente del BNE.

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 1990-2020



Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

Aspectos metodológicos

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

- Paso 1: Estimar el consumo aparente de combustible en unidades originales (unidades físicas);
- Paso 2: Convertirlo en una unidad común de energía, en este caso TJ (Tabla 3-12);
- Paso 3: Multiplicarlo por el contenido de carbono (Tabla 3-13) para estimar el carbono total;
- Paso 4: Estimar el carbono excluido. Las fuentes excluidas cambiaron de nombre en el 2012.

Ambas notaciones se presentan a continuación:

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

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

Tabla 3-12. 1.A. Actividades de quema de combustible: datos de actividad del consumo aparente (TJ) de combustibles del Método de referencia por combustible, serie 1990-2020

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	1.017.717,33	1.009.068,87

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

Tabla 3-13. 1.A. Actividades de quema de combustible: contenido de carbono por defecto (kg/GJ) para el Método de referencia por combustible, serie 1990-2020

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 1990-2017, la cual estima emisiones de CO₂ de la quema de combustibles con base en datos de consumo de combustible del país y la aplicación de las *Directrices del IPCC de 2006*.

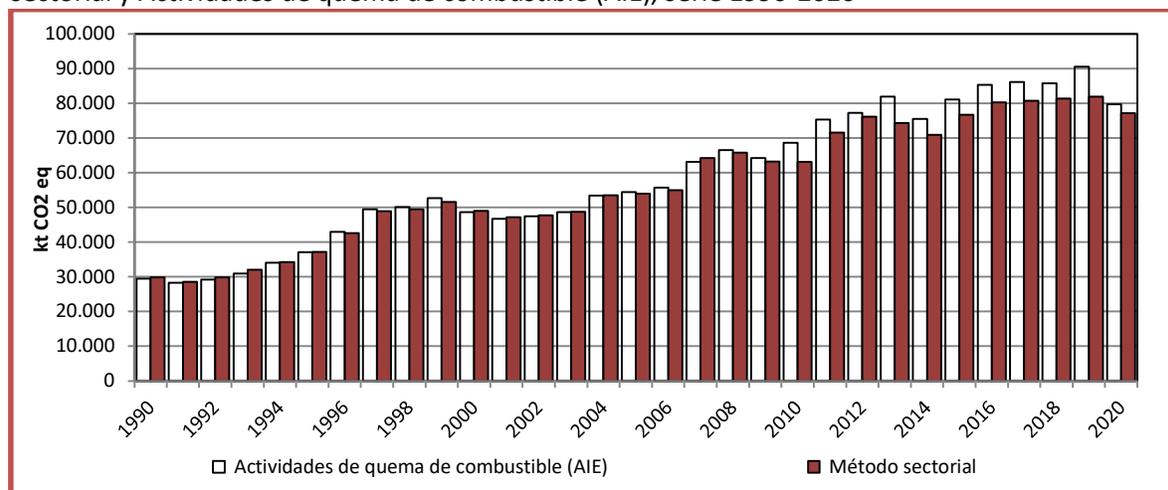
En general, la tendencia de las emisiones de CO₂ presenta diferencias razonables a lo largo de toda la serie, con una diferencia promedio del 1,8 %. Las mayores diferencias se presentan en los años 1990, 1992 y 2010, en donde se supera el 5 % de diferencia en términos absolutos. Esto se debe principalmente a que esos años fueron ampliamente modificados en esta actualización, en especial entre 1990 a 1995 por la reducción de consumo de carbón en la industria del azúcar, mientras que en el 2010 se corrigió el consumo de gas natural en la minería (Tabla 3-14 y Figura 3-12).

Tabla 3-14. 1.A. Actividades de quema de combustible: emisiones de CO₂ (kt CO₂ eq) del Método sectorial y Actividades de quema de combustible (AIE), incluyendo su diferencia, serie 1990-2017

Método	1990	2000	2010	2013	2016	2018
Actividades de quema de combustible (AIE)	29.435,3	48.623,7	68.604,8	81.861,9	85.245,5	85.700,0
Método sectorial	29.851,7	49.020,8	63.067,9	74.298,6	80.226,3	81.385,8
Diferencia	416,5	397,1	- 5.536,9	- 7.563,4	- 5.019,2	- 4.314,2
Diferencia %	1,4%	0,8%	-8,8%	-10,2%	-6,3%	-5,3%

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA con base en datos de la AIE (AIE, 2020).

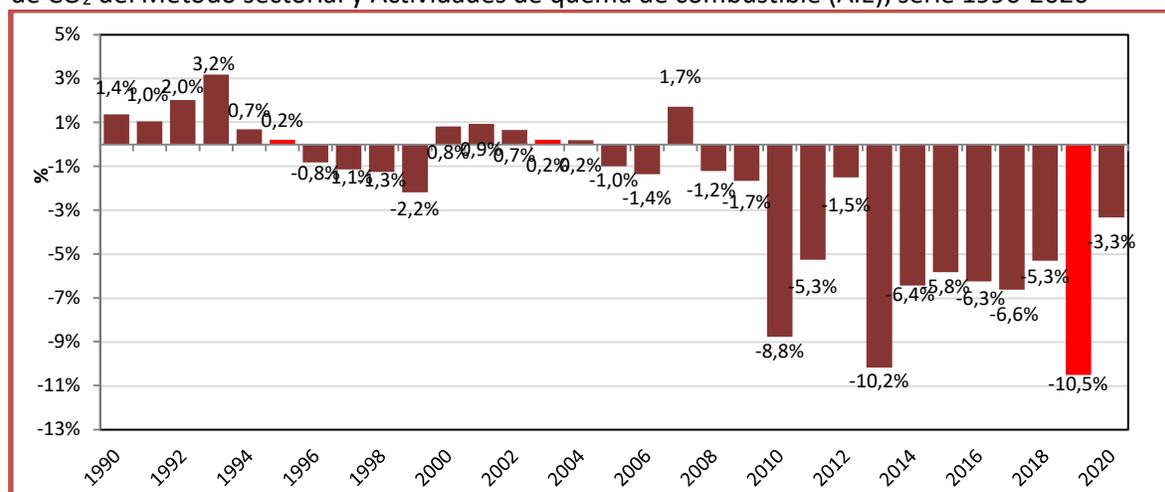
Figura 3-12. 1.A. Actividades de quema de combustible: emisiones de CO₂ (kt CO₂ eq) del Método sectorial y Actividades de quema de combustible (AIE), serie 1990-2020



Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA con base en datos de la AIE (AIE, 2020).

En la Figura 3-13 se observa la diferencia porcentual entre el *Método sectorial* y los datos de la AIE para la serie histórica 1990-2020. El promedio de los absolutos de estas variaciones es de 2,2 % con un máximo de -10,5 % en el 2019 y le sigue 2013 con 10,2 %. Por otro lado, los años que presentan menor diferencia son el 1995, 2003 y el 2004 con diferencias menores al 0,2 %. 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 1990-2020



Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA con base en datos de la AIE (AIE, 2020).

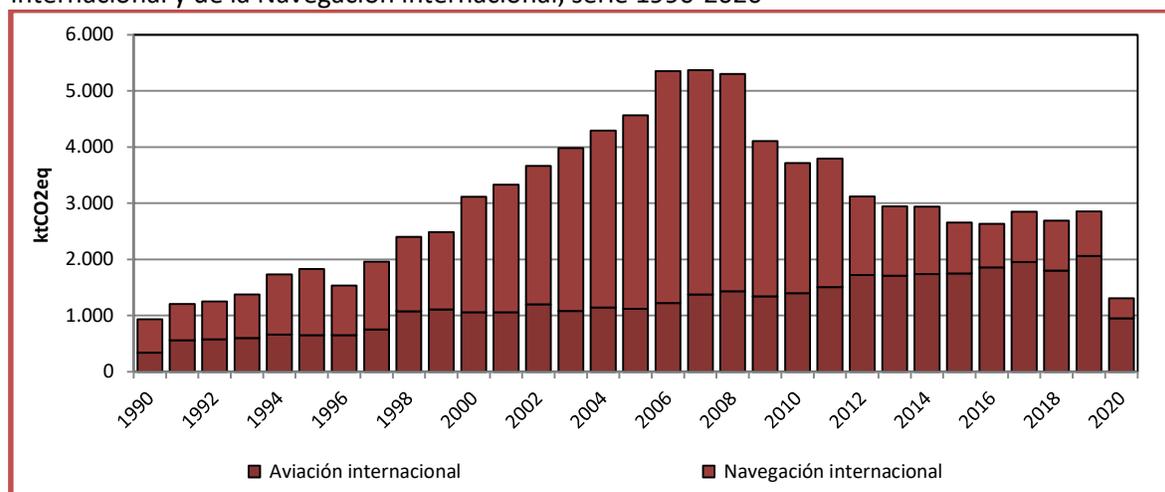
3.2.6 Combustible del transporte internacional

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 3-15 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.

Tabla 3-15. Combustible del transporte internacional: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) de la Aviación internacional y de la Navegación internacional, serie 1990-2020

Transporte	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020
Aviación internacional	337,5	1.055,4	1.397,3	1.711,4	1.855,0	1.798,6	951,4
Navegación internacional	595,2	2.056,0	2.318,7	1.234,3	777,1	888,9	353,4
Total	932,7	3.111,3	3.715,9	2.945,7	2.632,1	2.687,5	1.304,8

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

Figura 3-14. Combustible del transporte internacional: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) de la Aviación internacional y de la Navegación internacional, serie 1990-2020

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

Aspectos metodológicos

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

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

La desagregación de la información se realizó solo para los combustibles diésel y petróleos combustibles (fuelóleo residual) usados en el transporte marítimo, y jet querosene usado en el transporte aéreo; ya que esta es la información disponible en las bases de datos de comercio internacional del Servicio Nacional de Aduanas. Para el cálculo se consideran los consumos de estos combustibles del BNE como la suma del uso nacional e internacional. Luego de Aduanas se toma el consumo de combustibles en los tanques internacionales por tipo de transporte (marítimo o aéreo) y por tipo de combustible y se resta a los totales. La diferencia entre estos valores determina el consumo nacional. Por otro lado, los combustibles distintos a los mencionados anteriormente se asignan a consumo nacional. Los datos de actividad usados se muestran a continuación.

Tabla 3-16. Combustible del transporte internacional: datos de actividad (TJ), serie 1990-2020

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

Años	Navegación		Aviación
	Diésel	Petróleo combustible	Jet Querosene
	TJ	TJ	TJ
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	8.597,27	28.574,81
2020	1.914,44	2.687,81	13.193,93

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 3-17.

Tabla 3-17. Combustible del transporte internacional: datos paramétricos.

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

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

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

Tabla 3-18. Combustible del transporte internacional: factores de emisión por defecto.

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

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

3.2.6.1 Aviación internacional

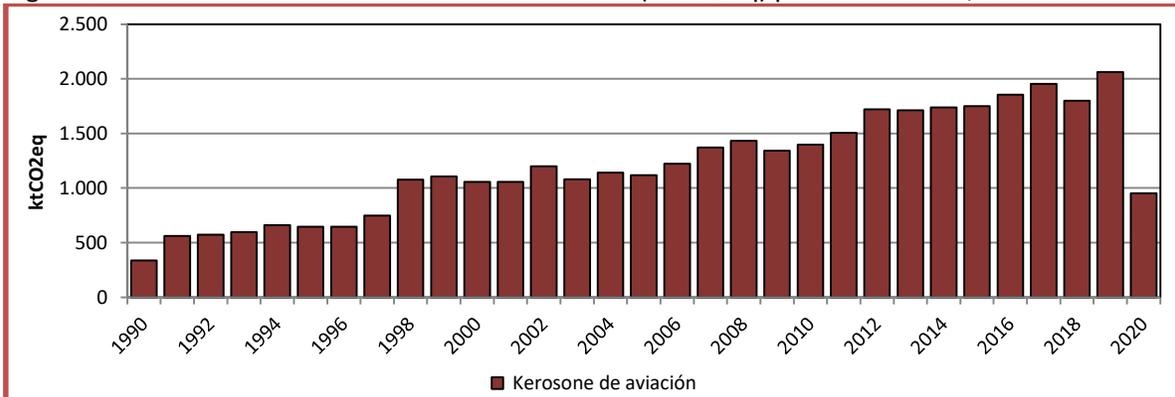
En 2020, las emisiones de GEI de la *Aviación internacional* contabilizaron 1.401,4 kt CO₂ eq, desde 1990 han incrementado en un 433,0 % y desde 2018 disminuyeron en un 3,0 % (Tabla 3-19 y Figura 3-15). Este crecimiento se debe directamente al incremento de uso de combustible debido a una mayor cantidad de pasajeros transportados al año de acuerdo a datos del Banco Mundial (Banco mundial, 2016). En 1998 se observa un importante incremento y en la misma época, la Línea Aérea Nacional de Chile (LAN Chile) se encuentra en expansión internacional después de haberse privatizado en 1994 (LATAM Airlines Group, 2016). Adicionalmente se observa que a partir del 2008 y hasta el 2011 hay una disminución en los vuelos lo que coincide con la crisis económica internacional. Desde el 2011 al 2017, se mantuvo una tendencia al alza en el sector, decayendo finalmente para el año 2018, debido al aumento de ofertas de destinos internacionales más cercanos al país, lo que permitió generar una mayor cantidad de vuelos, pero distancias más cortas (JAC, 2018). 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 (54% respecto al 2019) a causa de la pandemia mundial que afecto la movilidad de millones de pasajeros.

Tabla 3-19. Aviación internacional: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por combustible, serie 1990-2020

Combustible	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020
Jet querosene	5.492,0	6.683,3	7.929,2	10.555,5	11.977,9	11.324,0	11.226,3
Total	5.492,0	6.683,3	7.929,2	10.555,5	11.977,9	11.324,0	11.226,3

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

Figura 3-15. Aviación internacional: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por combustible, serie 1990-2020



Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

3.2.6.2 Navegación internacional

En 2020, las emisiones de GEI de la *Navegación internacional* contabilizaron 353,4 kt CO₂ eq, desde 1990 han disminuido en un 40,6 % y desde 2018 en un 60,2 % (Tabla 3-20 y Figura 3-16). Se observa una tendencia al alza entre 1990 y el 2006 pero luego se invierte la tendencia disminuyendo constantemente hasta el 2020.

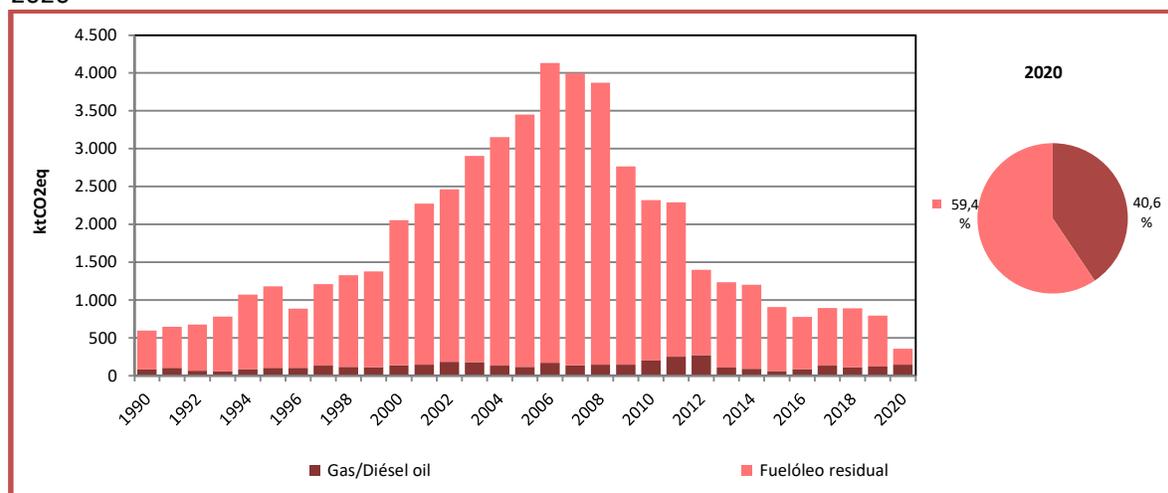
Estos resultados reflejan los datos de actividad de Aduanas, los cuales fueron validados por la “Mesa Bunker”, instancia organizada por el ministerio de relaciones exteriores junto expertos en la materia (tales como la armada, ministerio de transporte, empresas navieras, etc.), quienes indicaron que 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.

Tabla 3-20. Navegación internacional: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por combustible, serie 1990-2020

Combustible	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020
Gas/Diésel oil	82,0	135,7	200,1	105,8	86,7	110,8	143,3
Fuelóleo residual	513,2	1.920,3	2.118,5	1.128,6	690,4	778,1	210,1
Total	595,2	2.056,0	2.318,7	1.234,3	777,1	888,9	353,4

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

Figura 3-16. Navegación internacional: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por combustible, serie 1990-2020



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 2020, las emisiones de CO₂ de la biomasa quemada con fines energéticos contabilizaron 22.027,5 kt CO₂ eq, incrementándose en un 100,9 % desde 1990 y disminuyendo en un 0,3 % desde 2018. En la Tabla 3-21 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 realizaron 2 mejoras significativas a la tendencia de emisiones de la biomasa, las cuales están asociadas a dos sectores distintos; estos son:

- **Sector Residencial:** Para el consumo de leña en el sector residencial realizó una extrapolación hacia 1990 a partir de los años 2010 y 2020. Esto se hizo en base a la recomendación realizada por el equipo revisor del ISGEI de Energía²⁴, en donde sugirieron modificar valores dentro del ISGEI sin tener intervenir directamente el BNE. Esto generó disminución de emisiones entre 1990 y 2009.
- **Sector Industrial:** Dentro de este sector se modificaron los consumos desde 2012 a 2020, dada la gran variabilidad de los valores presentados en los BNE a partir de dicho año. Para ello, se modificaron las tendencias de consumo en las siguientes subcategorías:
 - Modificación en el consumo de biomasa en *Industria no especificada* (1.A.2.m) desde el 2013 en adelante a partir de una extrapolación logarítmica de los datos hasta el 2012. Se decide realizar una extrapolación logarítmica dado que la tendencia de datos hasta esa fecha parece seguir una curva con dichas características. A diferencia de otras extrapolaciones, en este caso se decide no seguir con la tendencia de los datos originales ya que presentan variabilidades muy elevadas, con una desviación estándar de 2.526 Tcal, equivalente a cerca del 20% del promedio (13.132 Tcal).
 - Modificación en el autoconsumo de *Papel, pulpa e imprenta* (1.A.2.d) desde el año 2012 en adelante, siguiendo la trayectoria de los datos del BNE, pero desde el valor de inicio 2012. Esto se corrige ya que a partir del 2013 los valores asociados a este consumo se sextuplican respecto al año anterior, incremento que no tiene justificación según los antecedentes recopilados.

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

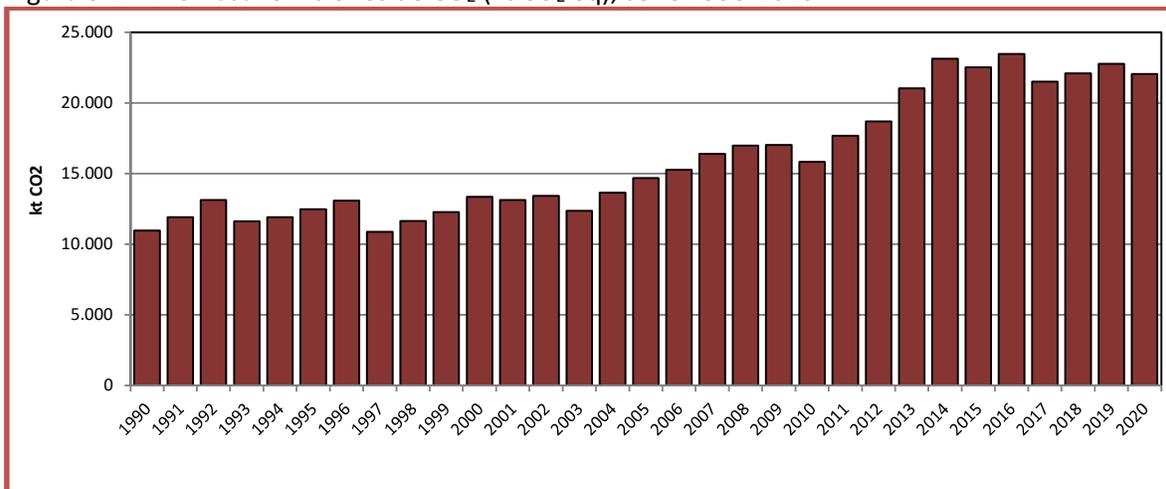
²⁴ Revisión experta realizada por el equipo de la REDINGEI

Tabla 3-21. Biomasa: emisiones de CO₂ (kt CO₂ eq), serie 1990-2020

Componente	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020
Biomasa	10.964,4	13.342,7	15.830,1	21.021,6	23.452,6	22.086,3	22.027,5
Total	10.964,4	13.342,7	15.830,1	21.021,6	23.452,6	22.086,3	22.027,5

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

Figura 3-17. Biomasa: emisiones de CO₂ (kt CO₂ eq), serie 1990-2020



Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

Aspectos metodológicos

Para la estimación de las emisiones de GEI de *Emisiones de CO₂ de la biomasa* se aplicó el método Nivel 1 de las *Directrices del IPCC de 2006* (descrito en la sección 3.2.3. *supra*) usando datos de actividad del BNE (Tabla 3-22) y factores de emisión por defecto (Tabla 3-23).

Tabla 3-22. Biomasa: datos de actividad (TJ), serie 1990-2020

Años	Total Biomasa (TJ)
1990	97.896,8
1991	106.360,2
1992	117.099,5
1993	103.677,8
1994	106.385,2
1995	111.278,1
1996	116.676,2
1997	97.098,2
1998	103.901,4
1999	109.456,5
2000	119.131,2
2001	117.132,2
2002	119.798,8
2003	110.302,2
2004	121.842,4
2005	131.050,8
2006	136.250,2
2007	146.323,6
2008	151.575,4
2009	151.979,3
2010	141.339,9
2011	157.755,1
2012	166.878,4
2013	187.543,9
2014	205.338,5

Años	Total Biomasa (TJ)
2015	199.556,7
2016	208.069,8
2017	190.761,7
2018	195.694,8
2019	201.705,6
2020	195.562,7

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA con base en BNE 1990-2020

Tabla 3-23. Biomasa: datos paramétricos y factor de emisión para Emisiones de CO₂

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

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

3.2.7.2 Uso no energético de los combustibles

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

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

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

El consumo de los centros de transformación, sin considerar la generación eléctrica, tiene alta variabilidad entre años principalmente por cambios metodológicos en la construcción del BNE. En particular, el consumo de gas natural para producción de metanol se modificó para considerar una parte (6 %) dentro del sector energético. Este porcentaje se obtuvo a través de la empresa Methanex y fue utilizado en las actualizaciones anteriores (INGEI 2IBA, INGEI 3IBA, e INGEI 4IBA). Para esta actualización, se dejó de considerar dicha fracción y se estimó el uso de gas natural para la producción de metanol a partir del total producido. Esto 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 3-24 se presentan sus componentes y respectivamente los sectores del BNE que lo comprenden.

Tabla 3-24. 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 refinera. 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*

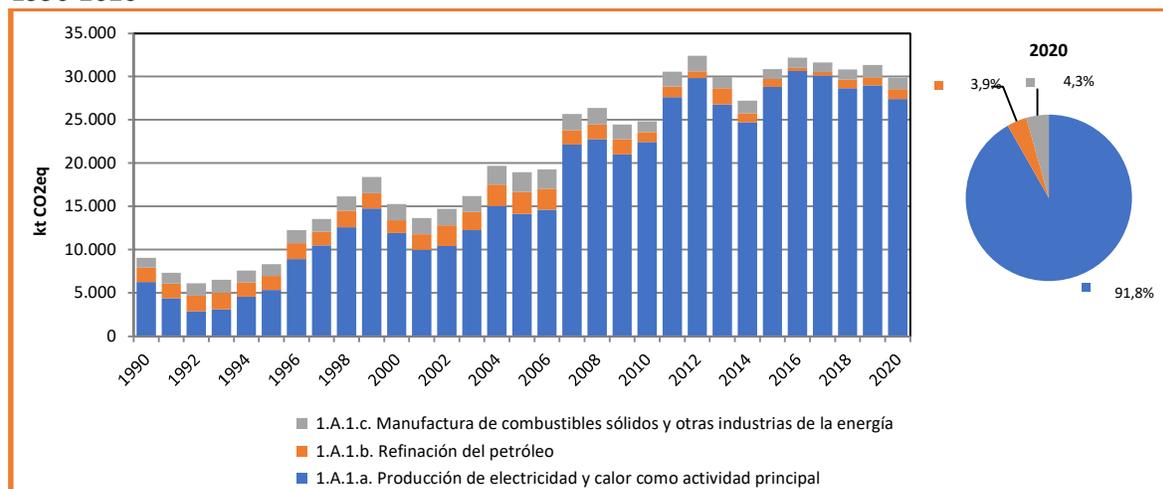
3.2.8.2 Tendencia de las emisiones de GEI

La subcategoría *Industrias de la energía* es la principal subcategoría emisora del sector Energía representando para el año 2020 el 37,4 % de las emisiones de GEI del sector; y además es la principal fuente individual de emisiones a nivel nacional, representando el 28,3 % de las emisiones de GEI totales del país (excluyendo *UTCUTS*). En 2020, sus emisiones de GEI contabilizaron 29.841,6 kt CO₂ eq, incrementándose en un 230,2 % desde 1990, y disminuyendo en un 3,2% desde 2018 (Tabla 3-25 y Figura 3-18).

Tabla 3-25. 1.A.1. Industrias de la energía: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por componente, serie 1990-2020

Componente	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020
1.A.1.a. Producción de electricidad y calor como actividad principal	6.238,7	11.906,7	22.427,6	26.772,6	30.612,1	28.640,7	27.388,1
1.A.1.b. Refinación del petróleo	1.677,6	1.470,8	1.129,7	1.884,7	366,1	986,8	1.158,7
1.A.1.c. Manufactura de combustibles sólidos y otras industrias de la energía	1.121,4	1.882,4	1.273,3	1.277,3	1.197,5	1.187,5	1.294,9
Total	9.037,7	15.259,9	24.830,6	29.934,6	32.175,8	30.815,0	29.841,6

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 1990-2020

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

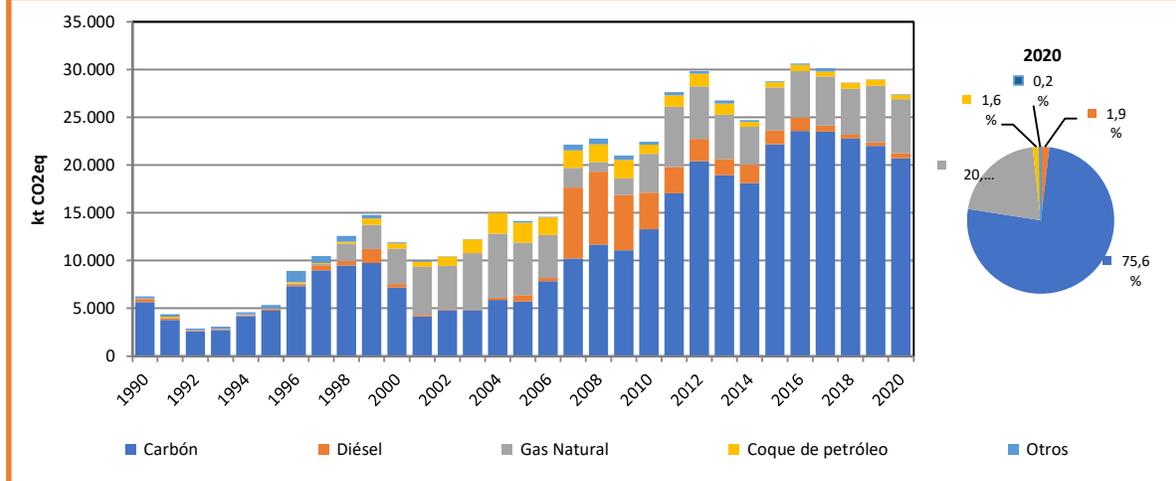
Para analizar el comportamiento de las emisiones del componente *Producción de electricidad y calor como actividad principal* se puede observar la tendencia de la generación eléctrica en Chile por tipo de combustible. Se observa en la Tabla 3-26 y Figura 3-19 que el carbón es el principal emisor a lo largo de la serie, alcanzando sus mayores niveles de participación a principios y finales de ésta (entre 1990 y 2000 y luego entre 2012 y 2020). 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 3-26. 1.A.1.a. Producción de electricidad y calor como actividad principal: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por combustible, serie 1990-2020

Combustible	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020
Diésel	327,1	353,7	3.827,2	1.708,8	1.384,8	379,1	513,2
Carbón	5.636,2	7.192,1	13.285,9	18.928,5	23.576,7	22.780,2	20.708,3
Gas Natural	73,0	3.697,0	4.057,9	4.619,5	4.868,0	4.829,6	5.682,3
Coque	-	560,8	949,1	1.190,1	651,7	604,1	439,2
Otros	202,4	103,1	307,5	325,8	130,9	47,7	45,0
Total	6.238,7	11.906,7	22.427,6	26.772,6	30.612,1	28.640,7	27.388,1

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

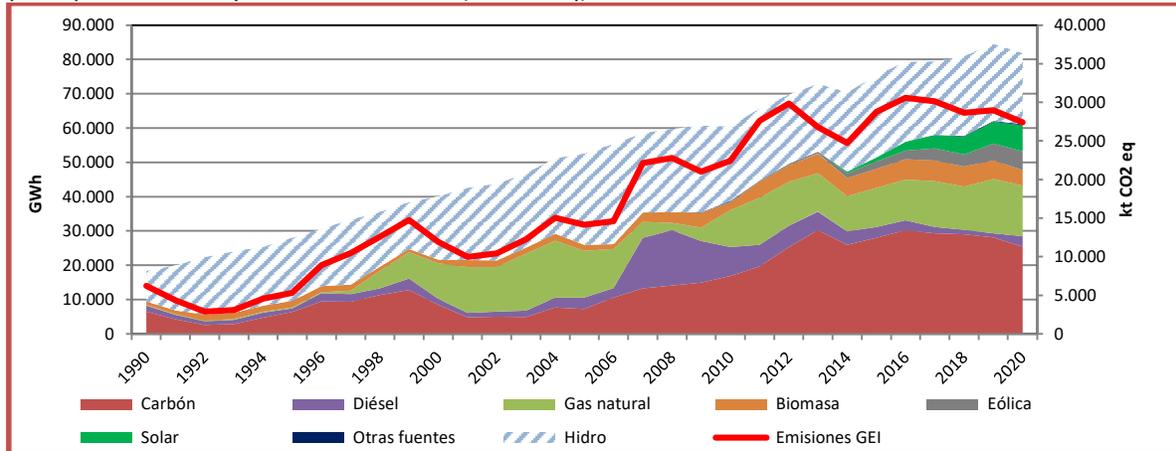
Figura 3-19. 1.A.1.a. Producción de electricidad y calor como actividad principal: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por combustible, serie 1990-2020



Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

Al comparar las emisiones de GEI con las curvas de generación eléctrica (GWh) por tipo de fuente (Figura 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. Para los años venideros, se ve cómo aumentan las emisiones hasta el 2016 por el mayor uso de carbón, para luego decaer hasta el 2020. Esto debido principalmente al incremento en la participación de las fuentes ERNC (solar, eólica, minihidro y geotermia) junto con el retorno del gas natural para la generación eléctrica, lo que permitió disminuir la dependencia hacia el carbón. Además, es posible apreciar cómo 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 2020, 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 1990-2020



Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

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

3.2.8.3 Aspectos metodológicos de la subcategoría

Para la estimación de las emisiones de GEI de esta subcategoría se aplicó el método Nivel 1 de las *Directrices del IPCC de 2006* (descrito en la sección 3.2.3. *supra*) usando datos de actividad desde el BNE y factores de emisión por defecto, salvo en el caso del uso del carbón en la subcategoría *Generación de electricidad* en donde se pudo por primera vez estimar las emisiones con Factores de Emisión país específico.

La Tabla 3-27 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 3-27. 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

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

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

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

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

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

En donde:

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

3.2.8.3.1 Datos de actividad estadísticos y paramétricos

Todos los datos de actividad de las emisiones de la subcategoría provienen de los BNE de las series anuales desde 1990 hasta el 2018. La Tabla 3-28 y Tabla 3-29 presentan los valores correspondientes por combustible. En el ANEXO 11.05 se encuentran los datos desagregados por componente del inventario.

Tabla 3-28. 1.A.1. Industrias de la energía: datos de actividad del consumo de combustible (TJ) por combustible, serie 1990-2020 (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	-	-	5.409,9	9.366,1	21,4	-	-	4.812,7
1991	-	-	3.591,2	10.379,3	56,5	-	556,8	5.154,8
1992	-	-	1.634,4	8.915,6	26,4	-	580,7	5.819,0
1993	-	-	1.745,4	8.538,8	15,1	-	690,5	6.411,7
1994	-	-	1.742,6	8.357,7	15,1	-	680,1	6.980,4
1995	-	-	2.372,3	9.274,7	15,1	-	715,9	8.464,0
1996	-	-	3.187,5	21.089,5	90,4	-	799,5	10.938,0
1997	-	-	7.541,7	12.377,0	97,6	-	690,5	9.403,1
1998	-	-	6.880,3	13.401,9	105,5	-	712,0	13.960,9
1999	-	-	20.580,9	7.167,4	124,3	-	696,1	13.563,1
2000	-	-	5.117,6	2.088,2	18,8	2.951,3	696,1	8.118,0
2001	-	-	2.584,1	2.414,3	-	3.830,3	680,1	9.140,2
2002	-	-	1.867,5	1.479,6	3,8	8.495,9	715,9	9.925,6
2003	-	-	1.428,1	1.042,1	-	5.294,0	727,9	10.127,1
2004	-	1,0	3.269,6	1.336,0	1.098,2	7.754,9	761,3	10.096,1
2005	-	9,0	9.265,9	3.276,9	2,8	5.230,3	676,7	12.245,0
2006	-	3,6	4.765,8	2.627,8	17,5	7.574,7	781,4	12.944,4
2007	-	1,4	100.822,8	10.480,7	3.365,0	6.540,4	707,8	7.812,5
2008	-	-	104.042,9	10.217,7	5.043,9	4.469,8	700,2	13.909,3
2009	-	-	78.555,1	8.841,5	7.631,0	4.206,7	652,0	14.315,0
2010	-	-	51.649,8	5.784,6	3.213,9	1.287,0	243,2	345,4
2011	1,5	-	37.196,0	5.855,4	2.522,3	319,4	703,9	247,9
2012	-	188,9	31.849,8	4.435,0	520,0	94,5	686,7	298,4
2013	-	-	23.664,2	5.144,2	1.690,1	137,2	638,1	1.549,0
2014	-	-	26.258,0	1.998,2	635,5	1.191,3	616,9	6,2
2015	7,8	-	20.062,2	649,7	586,3	5.346,1	777,4	5,9
2016	-	-	18.635,8	972,6	504,4	0,1	683,1	5,9
2017	-	-	8.649,2	3.387,7	407,9	0,1	623,3	6,2
2018	-	-	5.110,6	130,9	445,0	0,1	658,1	6,3
2019	-	-	4.629,3	140,4	371,3	0,0	601,0	7,1
2020	-	-	6.995,1	89,5	109,0	-	595,0	5,1

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGÍA

Tabla 3-29. 1.A.1. Industrias de la energía: datos de actividad del consumo de combustible (TJ) por combustible, serie 1990-2020 (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	604,6	68.708,8	37,7	963,7	18.665,8	-	-	-
1991	409,7	46.059,0	45,2	1.220,9	16.526,5	-	-	1.340,2
1992	624,5	31.672,5	45,2	1.409,3	19.135,0	-	-	-

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
1993	731,9	33.125,8	41,4	1.827,5	22.935,5	-	-	-
1994	1.077,9	51.119,6	45,2	1.537,4	18.230,7	-	-	-
1995	938,7	57.900,9	124,3	1.111,6	17.645,9	-	-	-
1996	1.010,3	89.055,3	101,7	1.356,5	17.086,7	1.157,4	-	1.344,4
1997	1.227,2	109.507,9	117,0	1.356,6	18.897,6	1.700,0	-	1.340,2
1998	1.244,9	115.569,1	188,4	1.480,9	49.671,1	1.244,9	-	1.841,6
1999	1.229,0	120.521,0	15,1	1.503,5	65.522,3	1.169,4	-	7.087,8
2000	1.400,1	86.931,4	18,8	1.375,4	88.239,4	1.077,9	-	5.739,5
2001	1.205,2	52.709,3	-	1.484,6	114.218,8	1.169,4	-	5.453,1
2002	1.595,0	60.600,6	-	1.345,2	109.192,4	851,2	-	9.744,8
2003	-	58.039,1	305,2	1.454,5	132.760,4	934,7	-	14.660,9
2004	-	70.493,2	315,8	2.169,4	150.060,3	492,9	-	22.229,9
2005	2022,2	71.472,0	332,3	1.961,0	132.164,3	805,1	-	21.579,9
2006	2.199,0	98.748,3	365,8	1.848,5	110.302,6	672,0	-	18.523,9
2007	2.069,8	124.949,9	395,0	1.760,7	48.992,9	986,4	-	18.676,2
2008	2.053,8	138.393,1	429,0	1.816,2	22.180,1	856,5	-	19.185,0
2009	1.778,2	133.269,8	345,2	1.544,9	34.427,0	-	-	20.016,1
2010	-	155.586,9	424,7	1.068,6	88.618,9	-	-	9.713,8
2011	-	200.387,3	881,1	1.874,3	133.761,9	-	-	12.291,5
2012	-	237.834,9	951,0	1.818,7	113.271,3	6.788,9	-	13.770,4
2013	-	232.642,5	674,1	1.158,8	112.139,9	21.658,6	305,9	12.180,4
2014	-	227.450,0	573,1	936,8	89.529,4	23.300,9	2.018,3	5.362,7
2015	-	274.496,3	460,3	988,4	90.751,8	34.242,6	2.515,0	5.589,2
2016	-	289.033,5	412,3	870,5	97.503,9	39.517,1	2.540,5	6.669,9
2017	-	290.146,6	345,4	910,6	101.861,1	21.101,1	2.100,2	5.708,4
2018	-	279.363,8	321,3	901,2	108.039,4	21.012,9	2.759,7	6.182,9
2019	-	268.010,2	372,5	935,6	129.399,0	26.923,2	2.440,6	6.292,4
2020	-	246.399,3	428,1	1.002,7	127.236,7	22.044,0	1.738,8	4.495,6

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

Para mantener la consistencia de los datos utilizados en este proceso de actualización, se corrigieron parte de los datos del BNE que presentaron un comportamiento fuera de la tendencia, debido principalmente a cambios metodológicos. En el 2004, el BNE comenzó a reportar por separado los consumos de combustible en *Centros de transformación* y *Sector energético* (consumo propio de la industria energética). Para mantener la consistencia, se analizaron las tendencias de los consumos, tanto por subsector como por combustible. Para cada combustible se tomó un rango de años entre el 2004 y el 2013 en que se mantuvieran estables los datos y se calculó un factor de proporción. No se consideró hasta el 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 3-30.

Tabla 3-30. 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

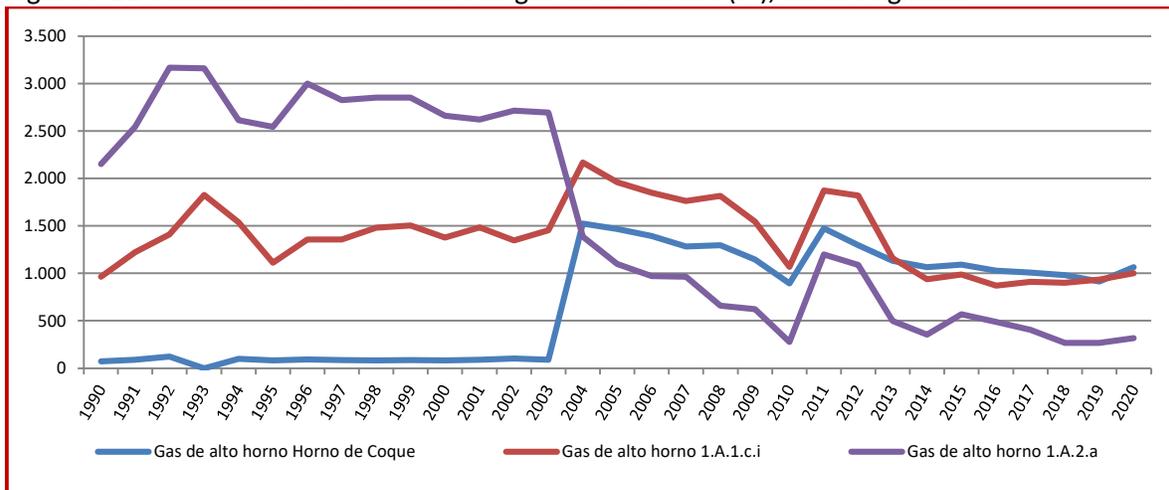
Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

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.

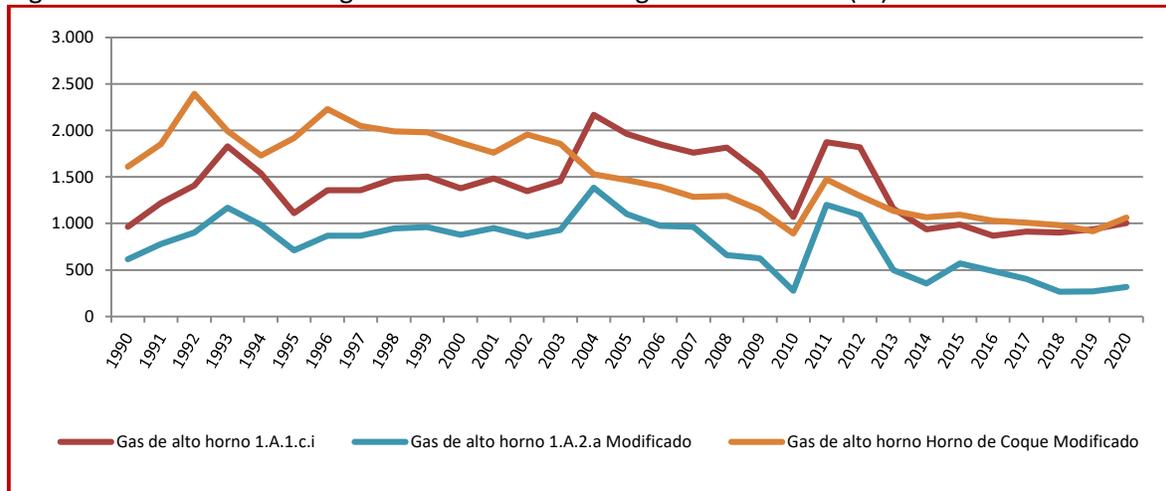
Figura 3-21 Tendencia de los consumos de gas de alto horno (TJ), datos originales



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.1.c.i), dado que desde 2004 en adelante presentan tendencias similares hasta el 2018, junto con que esa serie se considera como un dato valido, respecto a los valores originales presentado en Hierro y acero (1.A.2.a). Con las modificaciones realizadas se obtienen las tendencias de la Figura 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. Para esta versión se logró separar dichos consumos y presentarlos por separados para toda la serie histórica.

La inclusión de los combustibles que no son comunes en esta categoría (tales como 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 utilizados para la estimación de las emisiones de GEI de la subcategoría fueron los por defecto de las *Directrices del IPCC de 2006*. La Tabla 3-31 presenta los factores de emisión utilizados.

Tabla 3-31. 1.A.1. Industrias de la energía: factores de emisión utilizados para la estimación de GEI de la subcategoría

Combustible	kg CO ₂ /TJ	kg CH ₄ /TJ	kg N ₂ O/TJ
Gasolina para motor	69.300	3	0,6
Queroseno para motor a reacción	71.500	3	0,6
Otro queroseno	71.900	3	0,6
Gas/Diésel oil	74.100	3	0,6
Fuelóleo residual	77.400	3	0,6
Gases licuados de petróleo	63.100	1	0,1
Nafta	73.300	3	0,6
Alquitrán	80.700	3	0,6
Gas de refinería	57.600	1	0,1
Otro carbón bituminoso	94.600	1	1,5
Coque para horno de coque y coque de lignito	107.000	1	1,5
Gas de fábrica de gas	44.400	1	0,1
Gas de alto horno	260.000	1	0,1
Gas natural	56.100	1	0,1
Madera y desechos de madera	112.000	30	4,0
Biogás	54.600	1	0,1
Otros productos del petróleo (metanol)	63.864	3	0,6

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

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

Ecuación 3-4. Industrias manufactureras y de la construcción: factor de emisión del metanol

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

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

Ecuación 3-5. Industrias manufactureras y de la construcción: contenido de carbono del metanol

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

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

Donde:

- $FE_{CH_3OH} = 63.864,40 \left[\frac{kg}{TJ} \right]$
- $\text{factor de oxidación}_{CH_3OH} = 1$
- $\text{Peso molecular}_{CO_2} = 44$
- $\text{Peso molecular}_C = 12$
- $\text{Peso molecular}_{CH_3OH} = 32$

- Poder calorífico inferior²⁵ = 21,53 $\left[\frac{TJ}{Gg}\right]$
- Contenido de Carbono_{CH₃OH} = 17.417,56 $\left[\frac{kg}{TJ}\right]$

Sin embargo, como ya se mencionó previamente, para la subcategoría 1.A.1.a. *Producción de electricidad y calor como actividad principal* se logró obtener un Factor de emisión país específico del CO₂ para el carbón, gracias a la realización de un estudio que analizó los datos obtenidos a partir de la Ley 20.780, que establece un Impuesto Verde a las emisiones generadas por las centrales de generación eléctrica desde 2014. Mediante la resolución 1053/2016, la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA), fiscaliza dicha determinación de emisiones, en donde se incluye la caracterización los combustibles que utilizados. Además, realizando una revisión bibliográfica, se obtuvo los valores de los factores de emisión de 2 países desde donde se importa carbón, como son Indonesia y Nueva Zelandia, los cuales complementaron los valores obtenidos mediante medición directa. El resumen de dichos factores se presenta en la Tabla 3-32.

Tabla 3-32 Resumen de los Factores de emisión 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
Carbón 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
Carbón sub bituminoso	Chile (Mina Invierno)	34	99.140	0,37%	92.800	100.000	3.900
Carbón bituminoso	Nueva Zelandia	-	93.821		89.500	99.700	6.303
Carbón sub-bituminoso	Indonesia	-	100.575		92.800	100.000	4.468

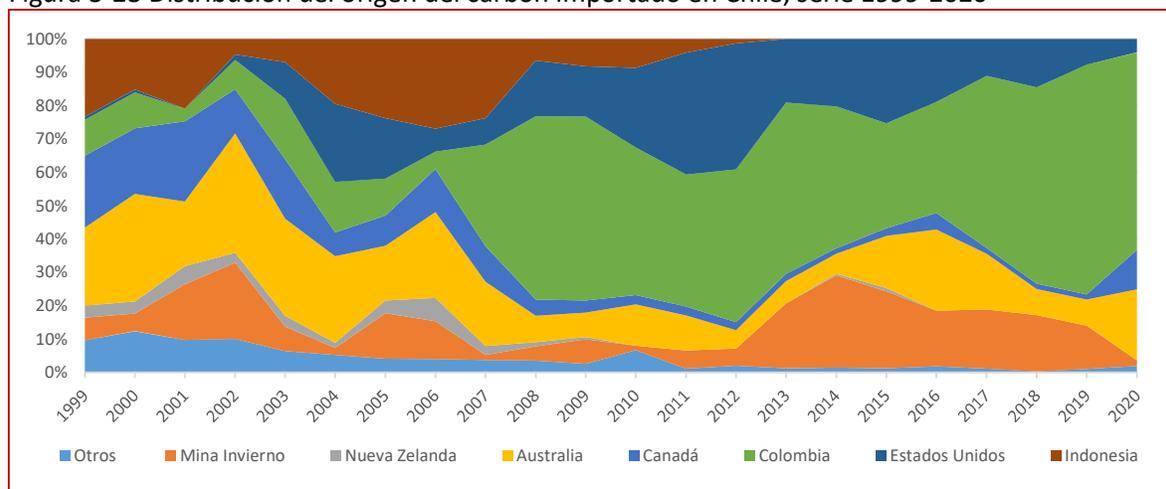
Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

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%).

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 2020. 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:

²⁵ Valor obtenido a partir de los antecedentes del BNE el cual asigna un poder calorífico superior de 5.413 kCal/kg.

Figura 3-23 Distribución del origen del carbón importado en Chile, serie 1999-2020



Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

3.2.8.4 Incertidumbre

La incertidumbre combinada de esta subcategoría, para el 2020, se estimó para cada tipo de GEI. Un resumen de los resultados de la incertidumbre combinada se presenta en la Tabla 3-33.

Tabla 3-33. 1.A.1. Industrias de la energía: resumen de la incertidumbre combinada, 2020

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

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

Una explicación general de la estimación de la incertidumbre se encuentra en la sección 1.6. *Evaluación general de la incertidumbre* y el cuadro de cálculo, junto a los supuestos aplicados, en ANEXO 11.04.

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

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

usados en Chile. Luego se tomó el mayor valor y se truncaron los decimales. 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 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, de acuerdo con lo presentado en la sección 3.2.8.3. La principal fuente de datos, el BNE, contiene variaciones en su elaboración a lo largo del tiempo. Por lo tanto, el Equipo Técnico de Energía ha tenido que realizar cambios y ajustes, los cuales se detallan en la sección 3.5.1.1.

3.2.9 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 3-34 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 3-34. 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

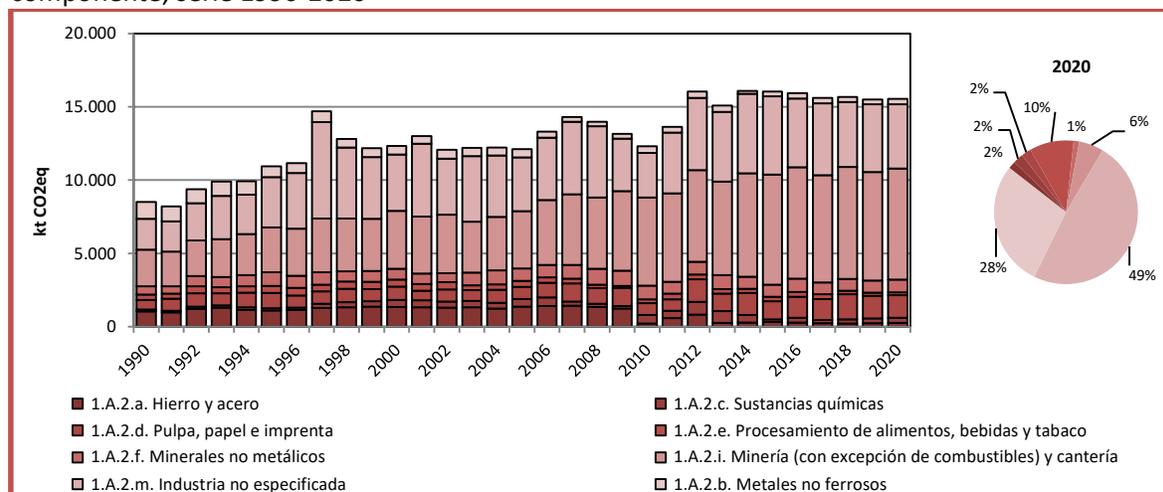
En 2020, las emisiones de GEI de esta subcategoría contabilizaron 15.528,2 kt CO₂ eq (representando el 19,5 % de las emisiones de GEI del sector Energía), incrementándose en un 82,3 % desde 1990, y decayendo en un 0,8 % desde 2018 (Tabla 3-35 y Figura 3-24). Las principales causantes de las variaciones interanuales se deben a la minería del cobre, la desaparición de algunas industrias por la competencia internacional y los costos de producción (azúcar y siderurgia), y la *industria no especificada* que por su definición tiene alta variabilidad.

Tabla 3-35. 1.A.2. Industrias manufactureras y de la construcción: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por componente, serie 1990-2020

Componente	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020
1.A.2.a. Hierro y acero	1.033,7	1.351,9	215,3	259,2	272,1	214,1	263,2
1.A.2.b. Metales no ferrosos	1.123,0	586,0	452,3	434,7	354,4	341,3	359,1
1.A.2.c. Sustancias químicas	140,9	472,1	585,7	795,9	324,2	286,4	346,8
1.A.2.d. Pulpa, papel e imprenta	691,2	909,8	808,7	1.209,0	1.440,4	1.701,8	1.536,1
1.A.2.e. Procesamiento de alimentos, bebidas y tabaco	364,2	469,8	262,8	284,4	326,7	245,3	198,8
1.A.2.f. Minerales no metálicos	561,9	745,4	920,9	959,9	902,1	800,1	859,3
1.A.2.i. Minería (con excepción de combustibles) y cantería	2.499,6	3.952,0	6.024,3	6.381,3	7.614,6	7.639,2	7.574,9
1.A.2.m. Industria no especificada	2.104,0	3.829,3	3.028,4	4.761,2	4.689,7	4.432,8	4.389,9
Total	8.518,4	12.316,2	12.298,4	15.085,5	15.924,2	15.660,9	15.528,2

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 1990-2020



Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

La principal industria en Chile es la minería la que a su vez representa el 48 % 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 201,8 % desde 1990 y decreciendo un 0,8 % desde 2018 (Tabla 3-36 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 2020 un 72,5% de la participación entre las distintas actividades mineras. Dicho impulso se debe en mayor medida al

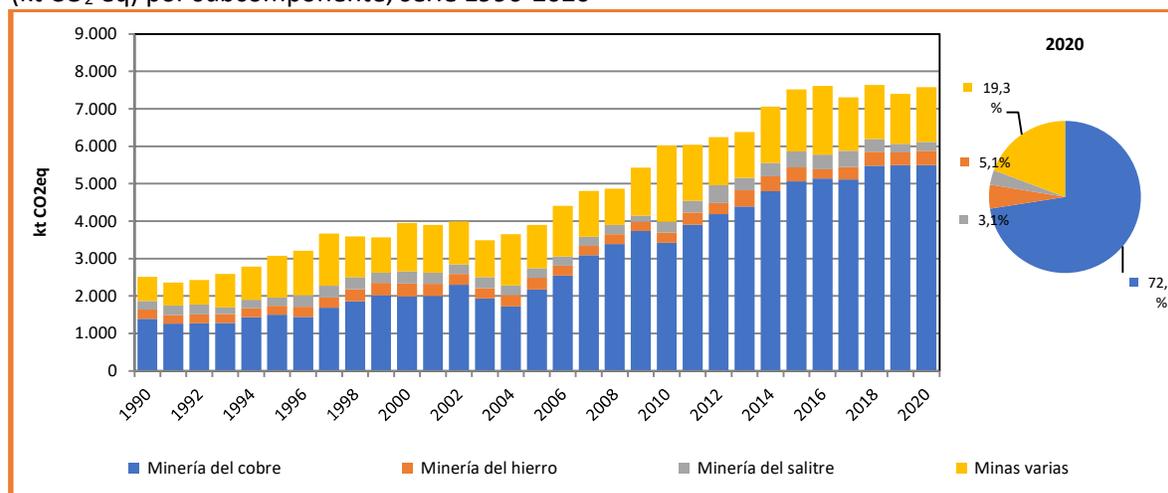
aumento de la demanda por este producto a nivel mundial, junto con un incremento en su precio, lo que permitió la incorporación de nuevos proyectos mineros en el país. Tanto las mineras de salitre como hierro se mantienen estables durante la serie, mientras que las minas varias presentan mayores variabilidades, 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.

Tabla 3-36. 1.A.2.i. Minería (con excepción de combustibles) y cantería: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por subcomponente, serie 1990-2020

Subcomponente	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020
Cobre	1.386,5	1.987,1	3.418,9	4.389,2	5.139,2	5.482,6	5.495,1
Salitre	238,6	348,0	273,9	439,7	250,2	369,3	384,9
Hierro	236,2	320,5	291,2	323,6	390,6	340,8	235,8
Minas varias	638,3	1.296,4	2.040,3	1.228,7	1.834,6	1.446,4	1.459,0
Total	2.499,6	3.952,0	6.024,3	6.381,3	7.614,6	7.639,2	7.574,9

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 1990-2020



Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

3.2.9.3 Aspectos metodológicos de la subcategoría

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

La Tabla 3-37 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 pasada se consideraba dentro de *Minería y cantería*, para esta actualización se logró separar dicho consumo en base a los antecedentes entregados por la Comisión Chilena del Cobre (CHOCILCO).

Tabla 3-37. 1.A.2. Industrias manufactureras y de la construcción: métodos aplicados por componente

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

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

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

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

3.2.9.3.1 Datos de actividad estadísticos y paramétricos

Todos los datos de actividad de la subcategoría provienen de los BNE de las series anuales desde 1990 hasta 2018. La Tabla 3-38 y Tabla 3-39 presentan los valores correspondientes por tipo de combustible. En el ANEXO 11.05 se encuentran los datos desagregados por componente.

Tabla 3-38. 1.A.2. Industrias manufactureras y de la construcción: datos de actividad del consumo de combustible (TJ) por combustible, serie 1990-2020 (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	25.583	39.255	2.415	-	20
1992	-	-	-	2.239	27.491	44.987	2.841	-	32
1993	-	-	-	2.482	29.925	48.614	4.062	-	28
1994	-	-	-	1.850	31.856	52.804	3.531	-	28
1995	-	-	-	2.665	37.550	58.159	4.563	-	24
1996	-	-	-	6.523	44.027	48.747	4.789	-	28
1997	-	-	-	6.030	51.610	51.579	5.621	-	26
1998	-	-	-	5.867	48.217	43.874	9.232	-	28
1999	-	-	-	2.701	46.503	38.699	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	59.063	19.831	5.618	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	-	-

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

Tabla 3-39. 1.A.2. Industrias manufactureras y de la construcción: datos de actividad del consumo de combustible (TJ) por combustible, serie 1990-2020 (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	TJ
1990	18.799	7.056	2.498	616	2.752	31.780	-	-
1991	18.187	6.483	3.233	780	2.141	39.194	-	-
1992	21.377	8.265	3.599	901	2.626	49.046	-	-
1993	19.571	8.536	4.066	1.168	2.570	34.500	-	465
1994	15.292	7.315	4.039	982	2.891	35.932	-	2.577
1995	15.014	7.175	4.160	710	2.735	39.512	-	4.148
1996	18.066	7.016	4.303	867	2.803	42.392	-	2.554
1997	38.740	8.200	3.946	867	16.490	36.058	-	1.738
1998	23.494	9.546	3.651	946	17.462	42.761	-	1.492
1999	23.936	11.208	3.580	961	20.028	47.844	-	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	19.898	6.690	3.129	1.386	45.561	57.842	-	1.254
2005	17.391	8.976	3.140	1.099	41.390	66.494	-	1.680

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	
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	7.892
2015	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

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

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

Según información del BNE, en Chile se usan ocho combustibles para la autogeneración; dentro de estos, la biomasa, gas de 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 2000-2020, y se extrapola hasta 1990. Para esto último, se calcularon los factores de desagregación por combustible para los datos disponibles (2000-2020), 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 3-40).

Tabla 3-40. 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 2000-2020

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 varias e industrias varias por combustible para los años entre 1997-2020, 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 3-41:

Tabla 3-41 1.A.2. Industria manufacturera y de la construcción: factores para desagregación de Industrias varias y minas Varias entre 1990-1996.

Energéticos	Industrias varias	Minas varias
Diésel	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%

3.2.9.3.2 Factores de emisión

Los factores de emisión de los combustibles usados para la estimación de las emisiones de GEI de la subcategoría fueron casi en su totalidad factores por defecto de las *Directrices del IPCC de 2006*. La Tabla 3-42 presenta los factores de emisión utilizados.

Tabla 3-42. 1.A.2. Industrias manufactureras y de la construcción: factores de emisión usados para la estimación de GEI de la subcategoría

Combustible	kg CO ₂ /TJ	kg CH ₄ /TJ	kg N ₂ O/TJ
Gasolina para motor	69.300	3	0,6
Gasolina para la aviación	70.000	3	0,6
Queroseno para motor a reacción	71.500	3	0,6
Otro queroseno	71.900	3	0,6
Gas/Diésel oil	74.100	3	0,6
Fuelóleo residual	77.400	3	0,6
Gases licuados de petróleo	63.100	1	0,1
Nafta	73.300	3	0,6
Alquitrán	80.700	3	0,6
Gas de refinería	57.600	1	0,1
Otro carbón bituminoso	94.600	10	1,5
Coque para horno de coque	97.831	10	1,5
Coque de Petróleo	97.500	1	0,6
Gas de fábrica de gas	44.400	1	0,1
Gas de alto horno	260.000	1	0,1
Gas natural	56.100	1	0,1

Combustible	kg CO ₂ /TJ	kg CH ₄ /TJ	kg N ₂ O/TJ
Madera y desechos de madera	112.000	30	4,0

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

En esta actualización, fue 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%.

3.2.9.4 Incertidumbre

La incertidumbre combinada de esta subcategoría, para el 2020, 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 3-43.

Tabla 3-43. 1.A.2. Industrias manufactureras y de la construcción: resumen de la incertidumbre combinada, 2020

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

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

Una explicación general de la estimación de la incertidumbre se encuentra en la sección 1.6. *Evaluación general de la incertidumbre* y el cuadro de cálculo, junto a los supuestos aplicados, en ANEXO 11.04.

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 FE por defecto de las *Directrices del IPCC de 2006*. Dado esto, se aplicaron valores de incertidumbre inferidos a partir de los valores superiores e inferiores reportados por las *Directrices del IPCC de 2006*. Para el CO₂ la incertidumbre usada es $\pm 5\%$ (Cuadro 2.3; Capítulo 2; Volumen 2), mientras que para CH₄ y N₂O fueron -70% y $+230\%$ (Cuadro 2.3; 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 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, de acuerdo con lo presentado en la sección 3.2.9.3. La principal fuente de datos, el BNE, contiene variaciones en su elaboración a lo largo del tiempo. Por lo tanto, el Equipo Técnico de Energía ha tenido que realizar cambios y ajustes, los cuales se detallan en la sección 3.5.1.2.

3.2.10 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 3-44 se presentan sus componentes y respectivamente los sectores del BNE que lo comprenden.

Tabla 3-44. 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.

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

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

3.2.10.2 Tendencia de las emisiones de GEI

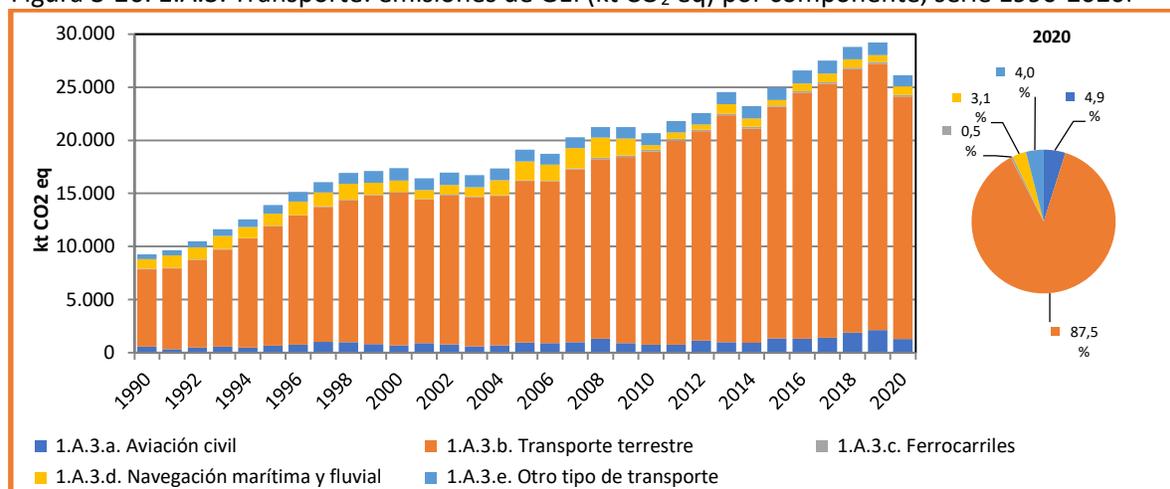
La subcategoría *Transporte* es la segunda principal subcategoría emisora del sector Energía, representando el 32,8 % de las emisiones de GEI del sector; y la segunda principal fuente individual de emisiones a nivel nacional, representando el 24,7 % de las emisiones de GEI totales del país (excluyendo UTCUTS). En 2020, las emisiones de GEI de esta subcategoría contabilizaron 26.114,2 kt CO₂ eq, incrementándose en un 182,4% desde 1990 y disminuyen en un 9,3% desde 2018 (Tabla 3-45 y Figura 3-26). La principal causante del incremento sostenido en el tiempo es debido al crecimiento del parque automotor inducido por la expansión de la población, el mayor poder adquisitivo y el mejoramiento de la infraestructura vial en el país.

Tabla 3-45. 1.A.3. Transporte: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por componente, serie 1990-2020

Componente	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020
1.A.3.a. Aviación civil	567,8	682,7	740,1	998,5	1.312,0	1.901,7	1.283,4
1.A.3.b. Transporte terrestre	7.289,2	14.378,9	18.210,6	21.365,3	23.154,4	24.788,5	22.842,2
1.A.3.c. Ferrocarriles	64,2	63,8	152,6	151,0	153,4	149,3	143,2
1.A.3.d. Navegación marítima y fluvial	880,5	1.079,0	434,9	889,2	745,1	778,8	809,1
1.A.3.e. Otro tipo de transporte	444,6	1.161,2	1.141,9	1.144,9	1.228,0	1.189,1	1.036,4
Total	9.246,3	17.365,7	20.680,0	24.548,9	26.592,8	28.807,3	26.114,2

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

Figura 3-26. 1.A.3. Transporte: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por componente, serie 1990-2020.



Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

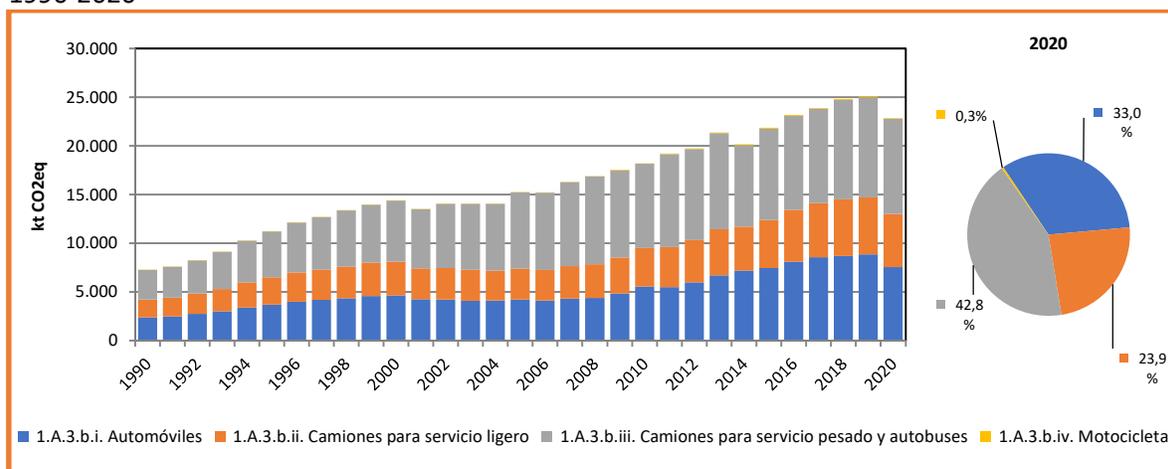
Como *Transporte terrestre* es el componente principal de la subcategoría, fue desagregado por subcomponentes (Tabla 3-46 y Figura 3-27). Los principales subcomponentes corresponden a los automóviles y camiones para servicio pesado, quienes en conjunto superan el 70% de las emisiones de esta componente a lo largo de la serie.

Tabla 3-46. 1.A.3.b. Transporte terrestre: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por subcomponente, serie 1990-2020

Subcomponente	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020
1.A.3.b.i. Automóviles	2.374,7	4.626,1	5.553,1	6.698,2	8.087,4	8.670,9	7.540,1
1.A.3.b.ii. Camiones para servicio ligero	1.823,4	3.470,8	3.948,5	4.714,8	5.324,8	5.828,1	5.458,7
1.A.3.b.iii. Camiones para servicio pesado y autobuses	3.062,4	6.258,7	8.652,2	9.877,0	9.650,4	10.195,3	9.766,2
1.A.3.b.iv. Motocicletas	28,7	23,2	56,8	75,3	91,8	94,3	77,2
Total	7.289,2	14.378,9	18.210,6	21.365,3	23.154,4	24.788,5	22.842,2

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 1990-2020



Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

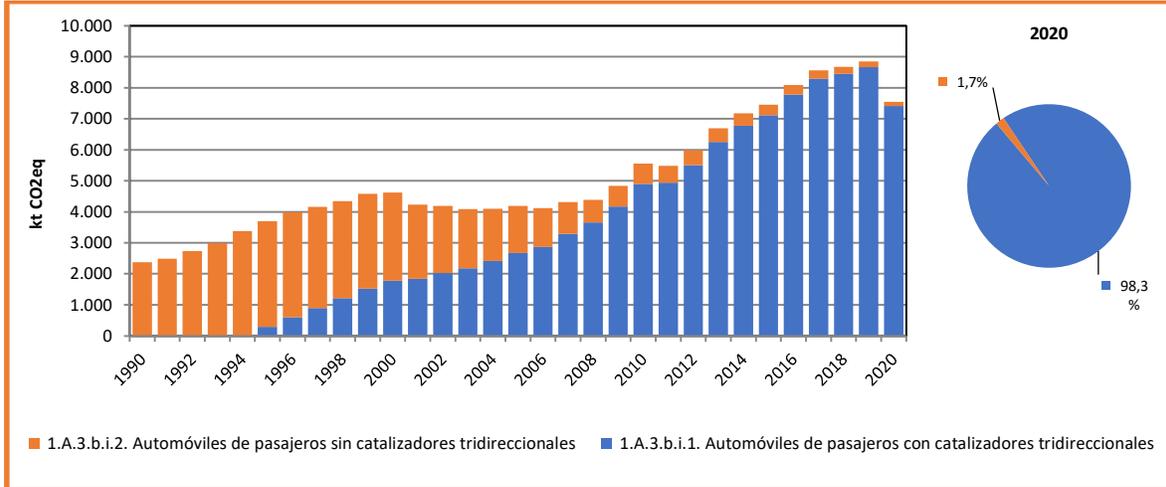
Se observa el cambio en la participación de los catalizadores en los subcomponentes *Automóviles* (Tabla 3-47 y Figura 3-28) y *Camiones para servicio ligero* (Tabla 3-48 y Figura 3-29) que comienza en 1994 con la introducción del Decreto 55 del Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones. Cabe destacar 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 la tendencia global de la Figura 3-29, se aprecia que entre los años 2000 y 2010 se mantiene plano, debido al recambio vehicular ocurrido en dicho periodo, en donde el recambio tecnológico no solo afectó la entrada de catalizadores en los vehículos, sino que vino acompañada con una mejora en el rendimiento del parque vehicular, influyendo en la disminución de emisiones por el menor consumo de combustibles; Por otra parte, posterior al 2010 se presenta una alza de emisiones hasta el 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 a partir del 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.

Tabla 3-47. 1.A.3.b.i. Automóviles: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por tecnología catalítica, serie 1990-2020

Tecnología	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020
1.A.3.b.i.1. Automóviles de pasajeros con catalizadores tridireccionales	-	1.777,4	4.901,2	6.248,9	7.777,3	8.452,7	7.412,1
1.A.3.b.i.2. Automóviles de pasajeros sin catalizadores tridireccionales	2.374,7	2.848,8	651,9	449,4	310,1	218,3	128,0
Total	2.374,7	4.626,1	5.553,1	6.698,2	8.087,4	8.670,9	7.540,1

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 1990-2020



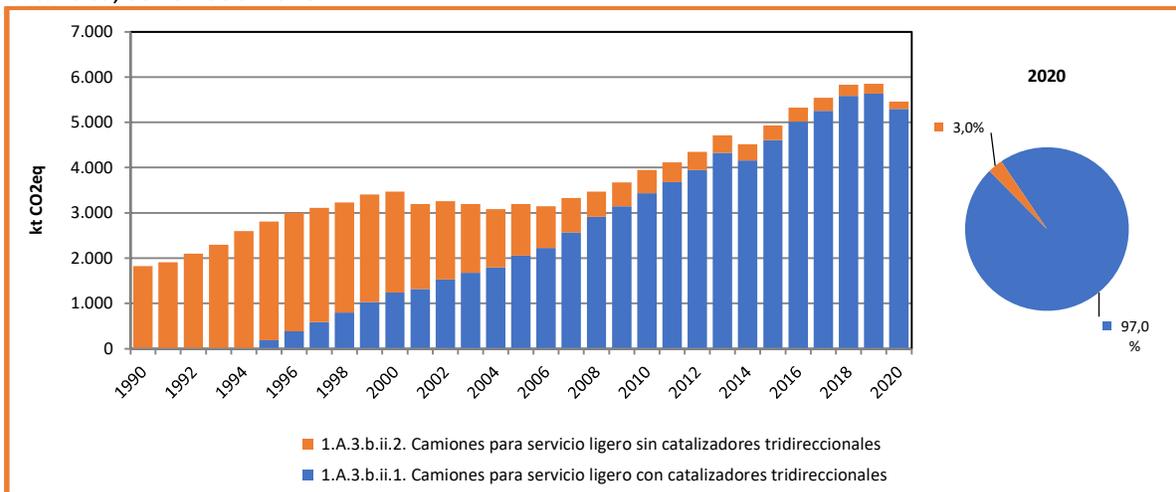
Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

Tabla 3-48. 1.A.3.b.ii. Camiones para servicio ligero: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por tecnología catalítica, serie 1990-2020

Tecnología	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020
1.A.3.b.ii.1. Camiones para servicio ligero con catalizadores tridireccionales	-	1.241,6	3.433,9	4.328,5	5.016,2	5.583,4	5.297,1
1.A.3.b.ii.2. Camiones para servicio ligero sin catalizadores tridireccionales	1.823,4	2.229,2	514,7	386,3	308,6	244,7	161,6
Total	1.823,4	3.470,8	3.948,5	4.714,8	5.324,8	5.828,1	5.458,7

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 1990-2020



Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

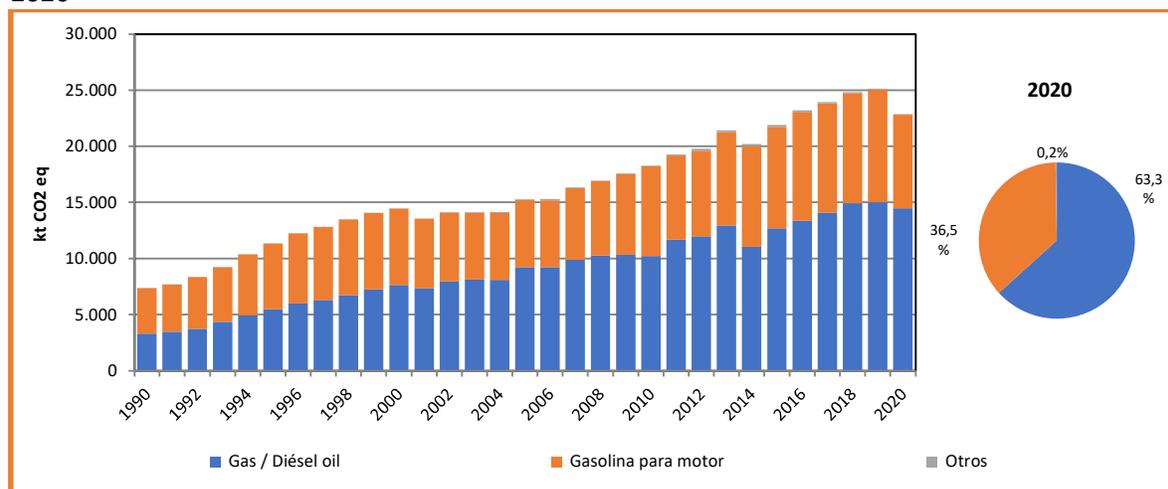
Respecto a las emisiones de GEI por tipo de combustible usado en el *Transporte terrestre*, el *Gas/Diésel oil* es el de mayor relevancia con un 63,3 % en 2020, mientras que *Gasolina para motor* correspondió a un 36,5 % (Tabla 3-49 y Figura 3-30). Si bien la tendencia de su consumo de forma histórica es al alza, en el año 2014 hubo una disminución en el consumo de Diésel, asociado principalmente a la desaceleración económica del periodo junto con el alza de precio del diésel para ese año.

Tabla 3-49. 1.A.3.b. Transporte terrestre: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por combustible, serie 1990-2020

Componente	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020
Gas / Diésel oil	3.285,6	7.644,5	10.215,8	12.926,2	13.367,5	14.909,8	14.478,7
Gasolina para motor	4.070,8	6.806,3	7.983,6	8.313,8	9.688,9	9.828,9	8.340,0
Otros	13,9	19,4	62,3	169,9	143,6	90,5	55,2
Total	7.370,2	14.470,2	18.261,7	21.409,9	23.200,0	24.829,2	22.873,9

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 1990-2020



Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

3.2.10.3 Aspectos metodológicos de la subcategoría

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

La Tabla 3-50 resume los métodos que se usaron para cada componente de la subcategoría. En el caso particular del componente *Transporte terrestre* se aplicó método de Nivel 1 para el CO₂, ya que no se cuenta con los contenidos de carbono específicos del país; y el método Nivel 2 para el CH₄ y N₂O, ya que fue posible desagregar los vehículos por tipo de tecnología, aunque no se cuenta con factores de emisión país específicos. Las categorías *Emisiones por evaporación procedentes de vehículos* y *catalizadores basados en Urea* no se estimaron ya que no se cuenta con la información requerida.

Para la presente actualización, se estimaron por primera vez las emisiones asociadas al componente *Transporte por gasoductos* mediante un supuesto entregado 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, se puede asumir que el 0,005% de la oferta total de gas natural podría ser utilizado con este fin.

Tabla 3-50. 1.A.3. Transporte: métodos aplicados por componente

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

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

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

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

3.2.10.3.1 Datos de actividad estadísticos y paramétricos

Todos los datos de actividad de las emisiones de la subcategoría provienen de los BNE de las series anuales desde 1990 hasta el 2020, presentados por tipo de combustible en la Tabla 3-51. En el ANEXO 11.05 se encuentran los datos desagregados por componente. Adicionalmente para la desagregación de transporte terrestre y de transporte marítimo y aéreo se utiliza información del Instituto Nacional de Estadísticas (INE) y del Servicio Nacional de Aduana.

Tabla 3-51. 1.A.3. Transporte: datos de actividad del consumo de combustible (TJ) por combustible, serie 1990-2020

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	Gas natural
	TJ	TJ	TJ	TJ	TJ	TJ	TJ	TJ	TJ
1990	61.022,23	268,08	7.614,45	-	56.099,78	1.055,81	-	3,98	236,60
1991	63.153,31	253,92	4.352,73	-	62.843,02	806,03	-	-	288,95
1992	69.631,48	253,92	6.211,78	-	64.972,60	1.687,24	-	-	172,52
1993	73.473,45	253,92	7.823,35	-	73.369,89	3.190,72	-	-	225,16
1994	82.525,09	253,92	6.243,22	-	81.540,07	538,75	-	-	263,16
1995	89.281,45	253,92	8.873,67	-	88.527,98	2.221,81	-	-	262,89
1996	95.625,97	285,66	10.223,77	-	98.991,59	622,27	-	-	259,14
1997	99.469,55	285,66	13.893,50	-	103.536,74	1.060,79	-	-	223,08
1998	103.522,77	317,40	13.431,70	-	108.370,49	4.080,28	-	-	236,16
1999	105.634,53	253,92	11.094,40	-	112.379,64	2.748,03	-	-	246,06
2000	105.922,55	222,18	9.252,92	-	115.896,52	3.959,16	-	-	339,06
2001	96.896,31	222,18	12.355,32	-	112.566,38	350,81	-	-	431,01
2002	96.333,52	222,18	10.387,68	-	120.302,89	1.616,24	-	-	966,19
2003	93.576,52	158,70	8.143,66	-	121.398,06	2.279,45	-	-	982,32
2004	94.016,46	189,77	9.554,81	177,66	124.029,32	5.632,75	71,99	1,64	1.122,29
2005	93.796,97	185,84	11.735,79	607,98	140.579,16	9.805,69	25,57	0,37	1.304,83
2006	92.583,76	191,01	12.058,98	60,84	137.952,59	8.472,14	104,89	2,67	1.360,72
2007	99.063,62	179,30	13.566,57	90,70	147.441,79	12.250,26	163,36	1,53	961,19
2008	102.320,42	187,91	17.934,62	55,48	153.241,03	12.002,01	135,34	0,76	545,83
2009	111.020,19	223,80	12.246,79	273,86	152.902,96	8.991,00	259,43	-	847,02
2010	122.600,36	334,60	9.919,90	20,00	143.073,37	2.819,20	282,78	-	752,04
2011	114.391,87	149,46	10.226,03	30,57	160.951,61	7.242,08	597,94	-	718,95
2012	117.065,78	829,20	14.795,99	31,95	163.843,68	5.556,42	1.377,57	-	1.234,53
2013	126.959,82	774,84	13.018,32	196,62	179.966,34	7.813,41	1.551,20	-	1.185,88
2014	136.486,74	139,79	12.788,77	123,86	153.611,36	8.217,50	1.413,82	-	1.409,97
2015	137.186,74	241,69	18.130,48	289,36	175.759,84	3.557,76	1.397,48	-	1.125,67
2016	146.496,53	230,63	17.818,94	238,00	186.584,41	5.795,95	1.291,56	-	1.033,30
2017	147.410,45	258,64	19.002,16	293,60	197.549,64	5.400,07	1.068,79	-	699,57
2018	147.573,62	261,60	25.697,69	379,85	208.992,96	4.705,69	888,11	-	577,04
2019	150.951,87	233,51	28.853,38	327,16	210.911,79	2.427,96	513,21	-	593,40
2020	124.928,45	201,42	17.573,69	327,31	207.307,21	860,11	581,94	-	314,68

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

Los datos de actividad tomados del Servicio Nacional de Aduana corresponden a las exportaciones realizadas dentro de cada año, cuyo código arancelario es 160000, correspondiente a “*combustibles, lubricantes, 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 1990-2020, por lo que los datos fueron proyectados. Para la serie 2008-2018 se cuenta con los datos solicitados; mientras que para la serie 1998-2007 se cuenta con el dato de número de vehículos por tipo, pero no el tamaño del motor ni si cuentan o no con catalizador. Entre 1990-1998 se cuenta solo con el consumo de combustible total.

Para mantener la consistencia temporal primero se proyectó, de manera retrospectiva, el número de vehículos por tipo desde 1998 hasta 1990. Para esto se calculó una tasa de variación anual por tipo de vehículo entre los últimos 5 años y se aplicó al resto de la serie (Tabla 3-52).

Tabla 3-52. 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 3-6. Transporte: proyección del parque vehicular desde 1994 hasta 2008 por tipo de vehículo para separar catalítico y no catalítico.

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

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

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

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

Ecuación 3-7. Transporte: proyección de parque vehicular desde 1990 hasta 2007 por tipo de vehículo para separar por tipo de motor

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

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

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

- Se agruparon los tipos de vehículo por tipo de motor y con o sin catalizador.
- Se hizo el supuesto de que para toda la serie la proporción de vehículos con y sin catalizador era la misma para vehículos diésel y para vehículos a gasolina para motor excepto para camiones ligeros, en donde se utilizó la proporción de automóviles. Este supuesto se hizo

con base en los datos solicitados al INE en que efectivamente se corroboró que se cumplía esta desagregación.

- Se tomó el número de vehículos por subcomponente y se multiplicó por un factor de actividad (km/año) y por su rendimiento (litros/km). Estos parámetros se obtuvieron de un estudio realizado por Sistemas Sustentables en noviembre de 2014 solicitado por el MTT (Sistemas Sustentables, 2014). El nivel de actividad se generó con el software MODAGEM para el año 2010, las categorías utilizadas en el estudio fueron todo terreno, furgón, minibús particular, camioneta, motocicleta, taxi, buses y camiones. El factor de consumo se obtuvo a través de COPERT 4 con velocidades promedio del 2012 y se usaron las categorías de Buses, Camiones, Motos, Comerciales y Pasajeros. Estos dos últimos se clasificaron como *Automóviles y camiones de servicios ligeros* respectivamente. Los vehículos todo terreno y agrícola se consideraron con un factor de actividad igual al de las motocicletas y con un rendimiento igual al de camiones. Estos parámetros además se encuentran desagregados por región, por lo que se realizó un promedio simple por categoría. Finalmente se obtuvieron los siguientes parámetros:

Tabla 3-53. 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 ²⁶	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.
- 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 11.05.

3.2.10.3.2 Factores de emisión

Los factores de emisión de los combustibles usados para la estimación de las emisiones de GEI de la subcategoría fueron factores por defecto de las *Directrices del IPCC de 2006*. La Tabla 3-54 presenta

²⁶ El consumo asociado a la combustión del sector agrícola se presenta en el componente 1.A.4.c.ii

los factores de emisión usados para el CO₂, mientras que la Tabla 3-55 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 3-54. 1.A.3. Transporte: resumen factores de emisión de CO₂

Combustible	kg CO ₂ /TJ
Gasolina para motor	69.300
Gasolina para la aviación	69.300
Queroseno para motor a reacción	71.500
Otro queroseno	71.900
Gas/Diésel oil	74.100
Fuelóleo residual	77.400
Gases licuados de petróleo	63.100
Otro carbón bituminoso	96.100
Gas natural	56.100

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

Tabla 3-55. 1.A.3. Transporte: resumen factores de emisión de CH₄ y N₂O por subcomponente

Combustible	Subcomponente	kg CH ₄ /TJ	kg N ₂ O/TJ
Gasolina para motor	Todo terreno	120,0	2,0
Gasolina para la aviación	Todo terreno	0,5	2,0
Queroseno para motor reacción	Todo terreno	0,5	2,0
Otro queroseno*	Todo terreno	3,0	0,6
Gas/Diésel oil	Todo terreno	4,2	28,6
Fuelóleo residual	Todo terreno	0,8	0,3
Gases licuados de petróleo	Todo terreno	62,0	0,2
Nafta	Todo terreno	4,2	28,6
Gas natural	Todo terreno	92,0	3,0
Todos	Aviación doméstica	0,5	2,0
Gasolina para motor	Automóviles y Camiones ligeros catalíticos	25,0	8,0
Gas/Diésel oil	Automóviles y Camiones ligeros catalíticos	3,9	3,9
Gasolina para motor	Automóviles y Camiones ligeros no catalíticos y Camiones y Buses	33,0	3,2
Gas/Diésel oil	Automóviles y Camiones ligeros no catalíticos y Camiones y Buses	3,9	3,9
Gasolina para motor	Motocicletas	3,8	5,7
Todos	Navegación	7,0	2,0
Gasolina para motor	Ferrocarriles	33,0	3,2
Gas/Diésel oil	Ferrocarriles	4,2	28,6
Fuelóleo residual	Ferrocarriles	0,8	0,3
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 2020, 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 3-56.

Tabla 3-56. 1.A.3. Transporte: resumen de la incertidumbre combinada, 2020

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

Una explicación general de la estimación de la incertidumbre se encuentra en la sección 1.6. *Evaluación general de la incertidumbre* y el cuadro de cálculo, junto a los supuestos aplicados, en ANEXO 11.04.

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

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

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

3.2.10.5 Consistencia de la serie temporal

Para mantener la consistencia de la serie temporal 1990-2020 se usaron los mismos factores de emisión y la misma fuente de datos de actividad, tanto estadísticos como paramétricos, de acuerdo con lo presentado en la sección 3.2.10.3. La principal fuente de datos, el BNE, contiene variaciones en su elaboración a lo largo del tiempo. Por lo tanto, el Equipo Técnico de Energía ha tenido que realizar cambios y ajustes, los cuales se detallan en la sección 3.5.1.3.

3.2.11 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 3-57 se presentan sus componentes y respectivamente los sectores del BNE que lo comprenden.

Tabla 3-57. 1.A.4. Otros sectores: componentes y sus supuestos relevantes

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

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

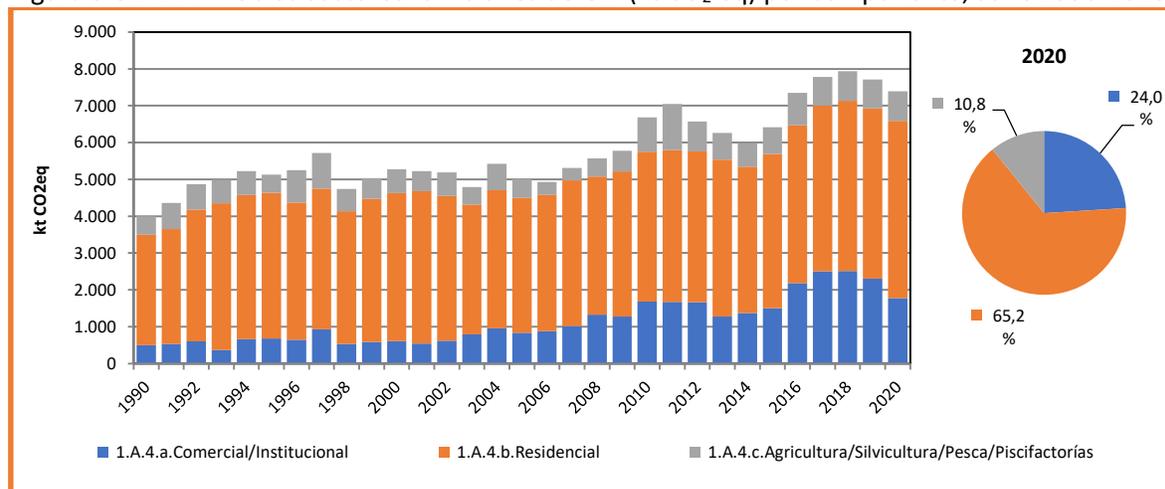
3.2.11.2 Tendencia de las emisiones de GEI

En 2020, las emisiones de GEI de esta subcategoría contabilizaron 7.389,6 kt CO₂ eq (representando el 9,2 % de las emisiones de GEI del sector Energía), incrementándose en un 84,9 % desde 1990 y en decayendo en un 6,9 % desde 2018 (Tabla 3-58 y 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. Cabe destacar que, desde la actualización pasada, de acuerdo con lo mencionado en el punto 3.2.7, se realizó una modificación en los valores del consumo de Biomasa en el sector residencial desde 1990 hasta el 2009, a partir de los datos del 2010 al 2020. Esto implicó una disminución en las emisiones del sector en un 7% promedio para dicho periodo.

Tabla 3-58. 1.A.4. Otros sectores: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por componente, serie 1990-2020

Componente	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020
1.A.4.a.Comercial/Institucional	499,0	612,6	1.681,3	1.279,5	2.179,9	2.510,5	1.774,0
1.A.4.b.Residencial	2.999,8	4.016,5	4.067,2	4.255,5	4.286,8	4.621,7	4.814,8
1.A.4.c.Agricultura/Silvicultura/Pesca/Piscifactorías	494,4	644,4	939,2	726,3	880,4	803,2	800,8
Total	3.993,2	5.273,6	6.687,6	6.261,3	7.347,1	7.935,4	7.389,6

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

Figura 3-31. 1.A.4. Otros sectores: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por componente, serie 1990-2020

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

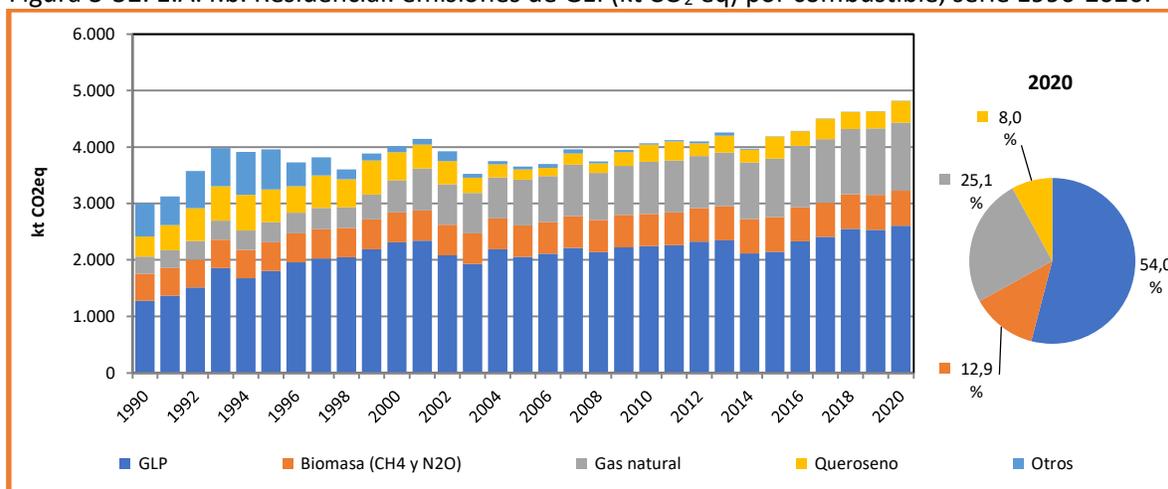
En lo que respecta al componente *Residencial* por tipo de combustible (Tabla 3-59 y Figura 3-32), el *Gas licuado de petróleo* es el de mayor importancia con un 54,0 %, seguido de un 25,1 % de *Gas natural*, 12,9 % de *Biomasa* (incluye solo emisiones de CH₄ y N₂O), 8,0 % de *Queroseno* y un 0,0 % de *Otros combustibles*.

Tabla 3-59. 1.A.4.b. Residencial: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por combustible, serie 1990-2020.

Componente	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020
GLP	1.272,3	2.312,7	2.245,2	2.347,7	2.327,6	2.548,0	2.602,3
Biomasa (CH ₄ y N ₂ O)	482,2	530,2	570,6	598,6	604,5	616,0	620,5
Gas natural	304,9	570,8	922,3	954,2	1.087,2	1.152,9	1.206,8
Queroseno	355,2	494,0	307,2	299,1	261,8	303,5	385,1
Otros	585,1	108,8	21,9	55,8	5,7	1,3	0,0
Total	2.999,8	4.016,5	4.067,2	4.255,5	4.286,8	4.621,7	4.814,8

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

Figura 3-32. 1.A.4.b. Residencial: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por combustible, serie 1990-2020.



Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

3.2.11.3 Aspectos metodológicos de la subcategoría

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

La Tabla 3-60 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 3-60. 1.A.4. Otros sectores: métodos aplicados por componente

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

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

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

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

3.2.11.3.1 Datos de actividad estadísticos y paramétricos

Todos los datos de actividad de las emisiones de la subcategoría provienen de los BNE de las series anuales desde 1990 hasta el 2018. La Tabla 3-61 y Tabla 3-62 presenta los valores correspondientes. En el ANEXO 11.05 se encuentran los datos desagregados por componente.

Tabla 3-61. 1.A.4. Otros sectores: datos de actividad del consumo de combustible (TJ) por combustible, serie 1990-2020 (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	194,86	-	5.707,66	7.371,3	3.500,16	23.381,18
1991	191,72	-	7.099,77	6.773,65	4.001,32	25.106,98
1992	200,78	-	9.323,17	8.275,76	4.526,35	27.759,74
1993	201,04	-	9.784,55	9.408,74	4.152,47	29.376,26
1994	214,03	-	10.174,34	10.130,18	5.019,55	30.751,63
1995	203,44	-	9.323,17	8.883,32	4.713,29	33.151,92
1996	191,04	-	7.588,99	4.607,00	6.721,91	35.959,17
1997	173,78	-	8.054,77	8.097,93	10.340,98	36.897,51
1998	157,68	-	6.924,76	4.773,30	4.096,78	36.810,76
1999	134,09	-	8.464,03	3.250,62	5.266,16	39.715,98
2000	112,56	-	6.833,28	5.604,22	5.174,68	40.944,39
2001	90,08	-	5.938,35	4.278,61	4.212,13	40.714,54
2002	76,13	-	5.667,88	5.212,09	4.808,75	38.088,16
2003	56,87	-	3.838,25	2.649,57	3.054,69	38.762,65
2004	47,22	-	3.487,59	8.971,12	3.414,21	39.406,73
2005	40,80	-	2.533,36	6.215,58	2.256,92	38.255,76
2006	35,26	-	2.046,47	5.768,34	2.218,06	37.827,63
2007	26,22	-	2.801,48	6.430,94	2.816,23	40.013,40
2008	22,89	-	2.295,48	10.831,73	4.961,22	38.617,19
2009	27,09	-	3.467,92	9.107,62	5.333,16	40.946,16
2010	120,21	-	4.293,34	18.997,27	6.840,40	40.993,83
2011	23,90	21,74	4.676,02	20.986,81	8.503,14	42.047,79
2012	27,07	62,64	3.195,34	19.554,92	3.714,59	43.346,41
2013	29,28	64,97	4.174,93	18.688,32	2.345,98	39.314,35
2014	24,50	29,58	3.164,77	14.223,14	2.243,18	39.017,93
2015	28,39	7,15	5.412,50	17.337,23	2.696,12	39.267,02
2016	25,66	3,98	3.780,03	26.311,20	3.391,92	44.194,01
2017	11,01	3,26	5.103,02	27.335,49	3.633,52	46.589,22
2018	16,53	4,43	4.325,06	28.638,67	3.616,97	48.403,83
2019	15,96	0,48	4.108,09	25.251,25	3.118,63	49.057,35
2020	11,27	-	5.360,31	20.095,47	2.898,18	49.629,46

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

Tabla 3-62. 1.A.4. Otros sectores: datos de actividad del consumo de combustible (TJ) por combustible, serie 1990-2020 (2 de 2)

Años	Otro carbón bituminoso	Gas de fábrica de gas	Gas natural	Madera y desechos de madera	Otro biogás
	TJ	TJ	TJ	TJ	TJ
1990	2.394,43	2.068,70	6.300,30	66.116,86	-
1991	3.667,22	2.132,76	6.620,59	67.166,28	-
1992	3.631,42	2.347,54	6.876,82	68.053,42	-
1993	2.748,42	2.419,13	7.023,78	69.177,32	-
1994	2.565,46	2.513,34	7.087,83	70.452,79	-
1995	1.590,98	2.573,63	7.374,21	71.766,01	-
1996	3.555,85	2.690,44	7.566,38	73.126,98	-
1997	2.841,02	2.671,60	8.169,11	59.339,92	-

Años	Otro carbón bituminoso	Gas de fábrica de gas	Gas natural	Madera y desechos de madera	Otro biogás
	TJ	TJ	TJ	TJ	TJ
1998	1.336,43	2.848,70	7.913,05	59.895,39	-
1999	1.030,16	1.793,63	9.567,26	60.442,90	-
2000	529,00	1.616,52	12.540,30	61.018,25	-
2001	421,61	1.578,84	16.380,02	61.545,88	-
2002	719,92	1.224,64	16.673,93	62.097,37	-
2003	326,15	1.239,71	17.533,06	62.648,86	-
2004	1.258,55	816,15	18.254,44	63.507,86	-
2005	683,38	797,36	19.626,68	63.751,84	-
2006	583,77	1.035,91	19.909,97	64.303,33	-
2007	462,71	1.149,84	21.654,31	64.858,30	-
2008	463,25	959,87	19.754,26	65.406,31	-
2009	345,84	882,35	21.181,70	65.957,80	-
2010	204,17	569,09	21.518,19	65.652,14	-
2011	100,93	674,71	21.243,87	66.811,20	-
2012	99,43	754,54	21.506,71	68.136,89	-
2013	97,34	674,21	22.238,53	68.963,06	-
2014	131,96	378,99	24.632,75	72.942,79	3,45
2015	135,36	294,24	24.822,71	70.938,07	617,57
2016	65,54	167,86	25.342,99	70.332,72	184,61
2017	71,05	53,27	27.074,10	70.019,61	349,79
2018	65,08	48,00	26.909,02	71.424,03	297,61
2019	-	-	27.703,37	71.766,11	406,35
2020	68,80	-	26.773,80	71.932,89	510,15

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

3.2.11.3.2 Factores de emisión

Los factores de emisión de los combustibles usados para la estimación de las emisiones de GEI de la subcategoría fueron casi en su totalidad factores por defecto de las *Directrices del IPCC de 2006*. La Tabla 3-63 presenta los factores de emisión usados.

Tabla 3-63. 1.A.4. Otros sectores: factores de emisión usados para la estimación de GEI de la subcategoría

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

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

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

3.2.11.4 Incertidumbre

La incertidumbre combinada de esta subcategoría, para el 2018, ha sido estimada para cada tipo de combustible y para cada GEI. Un resumen de los resultados de la incertidumbre combinada se presenta en la Tabla 3-64.

Tabla 3-64. 1.A.4. Otros sectores: resumen de la incertidumbre combinada, 2018

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

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

Una explicación general de la estimación de la incertidumbre se encuentra en la sección 1.6. *Evaluación general de la incertidumbre* y el cuadro de cálculo, junto a los supuestos aplicados, en ANEXO 11.04.

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 a sus elaboradores, se definió una incertidumbre del $\pm 12,5\%$ para todos los combustibles de esta subcategoría, excepto para la biomasa que según el mismo procedimiento se estableció en $\pm 50\%$.

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

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

3.2.11.5 Consistencia de la serie temporal

Para mantener la consistencia de la serie temporal 1990-2020 se usaron los mismos factores de emisión y la misma fuente de datos de actividad, tanto estadísticos como paramétricos, de acuerdo con lo presentado en la sección 3.2.11.3. La principal fuente de datos, el BNE, contiene variaciones en su elaboración a lo largo del tiempo. Por lo tanto, el Equipo Técnico de Energía ha tenido que realizar cambios y ajustes, los cuales se detallan en la sección 3.5.1.4.

3.2.12 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 3-65 se presentan sus componentes y respectivamente los sectores del BNE que lo comprenden.

Tabla 3-65. 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 con base en las *Directrices del IPCC de 2006*

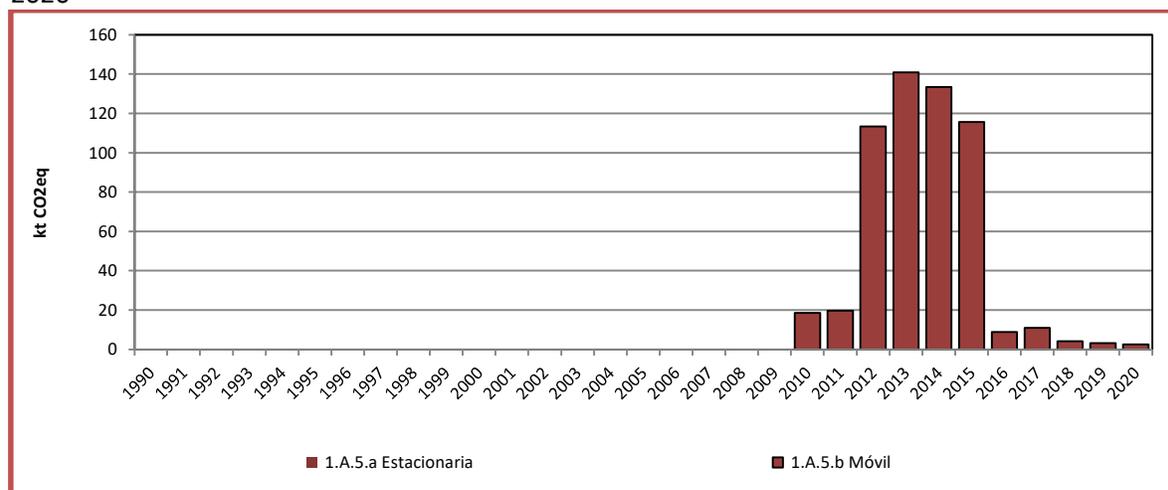
3.2.12.2 Tendencia de las emisiones de GEI

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 3-66 y Figura 3-33).

Tabla 3-66. 1.A.5. No especificado: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por componente, serie 1990-2020

Componente	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020
1.A.5.a Estacionaria.	-	-	-	-	-	-	-
1.A.5.b Móvil.	-	-	18,6	140,8	8,8	4,2	2,5
Total	-	-	18,6	140,8	8,8	4,2	2,5

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

Figura 3-33. 1.A.5. No especificado: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por componente, serie 1990-2020

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

3.2.12.3 Aspectos metodológicos de la subcategoría

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

La Tabla 3-67 resume los métodos que se aplicaron para cada componente de la subcategoría.

Tabla 3-67. 1.A.5. No especificado: métodos aplicados por componente.

Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero	CO ₂		CH ₄		N ₂ O	
	Método aplicado	Factor de emisión	Método aplicado	Factor de emisión	Método aplicado	Factor de emisión
1.A.5 No especificado	T1, IE, NE	D, IE, NE	T1, IE, NE	D, IE, NE	T1, IE, NE	D, IE, NE
1.A.5.a Estacionaria	NE	NE	NE	NE	NE	NE
1.A.5.b Móvil	T1, IE	D, IE	T1, IE	D, IE	T1, IE	D, IE
1.A.5.b.i Móvil (componente aviación)	T1	D	T1	D	T1	D
1.A.5.b.ii Móvil (componente marítimo y fluvial)	IE	IE	IE	IE	IE	IE
1.A.5.b.iii Móvil (otro)	IE	IE	IE	IE	IE	IE
1.A.5.c Operaciones multilaterales	IE	IE	IE	IE	IE	IE

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

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

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

3.2.12.3.1 Datos de actividad estadísticos y paramétricos

Todos los datos de actividad de las emisiones de la subcategoría provienen de los BNE de las series anuales desde 1990 hasta el 2018. La Tabla 3-68 presenta los valores correspondientes. En el ANEXO 11.05 se encuentran los datos desagregados por componente.

Tabla 3-68. 1.A.5. No especificado: datos de actividad del consumo de combustible (TJ) por combustible, serie 1990-2020

Años	Queroseno para motor a reacción
	TJ
1990	-
1991	-
1992	-
1993	-
1994	-
1995	-
1996	-
1997	-
1998	-
1999	-
2000	-
2001	-
2002	-
2003	-
2004	-
2005	-
2006	-
2007	-
2008	-
2009	-
2010	258,34
2011	273,43
2012	1.573,06
2013	1.953,07
2014	1.849,78
2015	1.604,03
2016	122,60
2017	151,02
2018	57,80
2019	44,1
2020	35,1

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

Para esta subcategoría categoría existen datos desde el 2010, ya que desde ese año se desagregó el consumo asociado a actividades militares. Dadas la característica de los datos, no es posible extrapolarlos, ya sea por su trayectoria (alta variabilidad de los datos) o por el origen de éstos, ya que no es posible aseverar lo ocurrido en años anteriores respecto a sus niveles de usos debido a que se desconoce dicha información.

3.2.12.3.2 Factores de emisión

Los factores de emisión de los combustibles usados para la estimación de las emisiones de GEI de la subcategoría fueron casi en su totalidad factores por defecto de las *Directrices del IPCC de 2006*. La Tabla 3-69 presenta los factores de emisión usados.

Tabla 3-69. 1.A.4. Otros sectores: factores de emisión usados para la estimación de GEI de la subcategoría

Combustible	kg CO ₂ /TJ	kg CH ₄ /TJ	kg N ₂ O/TJ
Queroseno para motor a reacción	71.500	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 2020, 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.5. No especificado: resumen de la incertidumbre combinada, 2020

Código IPCC	Categoría del IPCC	Gas	Incertidumbre en los datos de actividad		Incertidumbre en el factor de emisión		Incertidumbre combinada	
			(-)%	(+)%	(-)%	(+)%	(-)%	(+)%
1.A.5.	No especificado	CO ₂	12,5%	12,5%	5,0%	5,0%	13,5%	13,5%
1.A.5.	No especificado	CH ₄	12,5%	12,5%	70,0%	230,0%	71,1%	230,3%
1.A.5.	No especificado	N ₂ O	12,5%	12,5%	70,0%	230,0%	71,1%	230,3%

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

Una explicación general de la estimación de la incertidumbre se encuentra en la sección 1.6. *Evaluación general de la incertidumbre* y el cuadro de cálculo, junto a los supuestos aplicados, en ANEXO 11.04.

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

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

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

3.2.12.5 Consistencia de la serie temporal

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

3.3 Emisiones fugitivas (1.B.)

3.3.1 Descripción de la categoría

Se consideran emisiones fugitivas a todas las emisiones intencionales o no intencionales de GEI liberadas durante la extracción, el procesamiento, almacenamiento y la distribución de combustibles fósiles.

En el contexto nacional, las actividades que se consideran dentro de esta categoría son, en el caso de los combustibles sólidos, minería y posminería del carbón, tanto para minas subterráneas como superficiales. Para el petróleo se consideran las emisiones fugitivas producto del venteo, la producción y refinación (cuando son procesos integrados), el transporte de crudo y la refinación para la generación de productos finales refinados. En el caso del gas natural se consideran las emisiones del venteo, la producción, el procesamiento, la transmisión, almacenamiento y distribución.

3.3.2 Tendencia de las emisiones de GEI

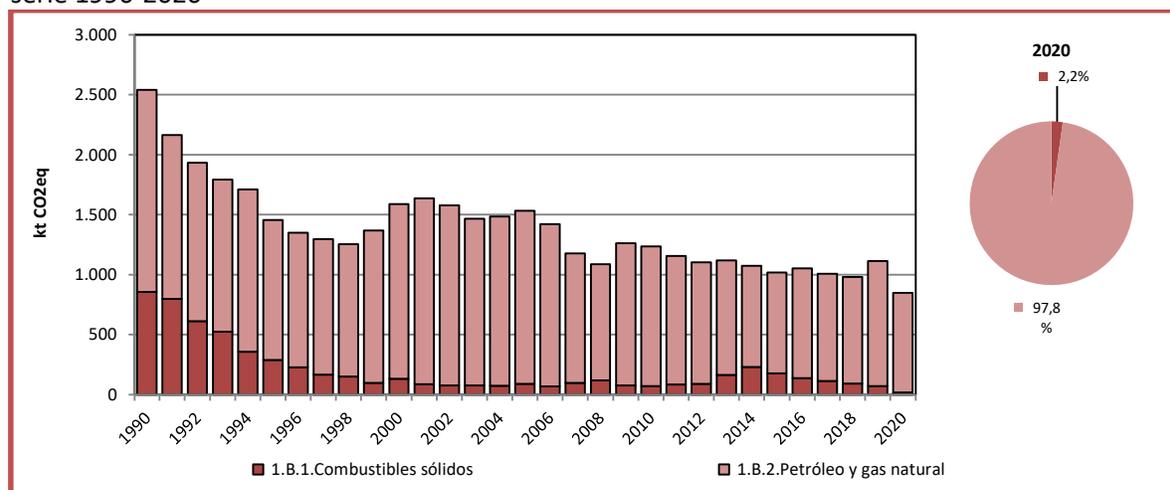
En 2020, las emisiones de GEI de ambas subcategorías contabilizaron 848,2 kt CO₂ eq (el 1,1 % de las emisiones de GEI del sector Energía), disminuyendo en un 66,6 % desde 1990 y en un 13,5 % desde 2018 (Tabla 3-71 y Figura 3-34). Las principales causantes de la disminución son la reducción de la producción de carbón de la minería subterránea y superficial, y la caída de la oferta de gas natural desde Argentina desde el año 2007.

Las variaciones interanuales observadas se deben principalmente a cambios en la oferta del gas natural, en especial en el periodo entre el año 2000 y 2007 por el ingreso y posterior corte de gas natural desde Argentina.

Tabla 3-71. 1.B. Emisiones fugitivas de combustibles: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por subcategoría, serie 1990-2020

Subcategoría	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020
1.B.1. Combustibles sólidos	855,5	131,8	71,0	163,6	137,2	92,8	18,6
1.B.2. Petróleo y gas natural	1.685,0	1.456,7	1.164,7	955,7	915,5	887,3	829,6
Total	2.540,4	1.588,6	1.235,7	1.119,3	1.052,7	980,1	848,2

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 1990-2020

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 3-72 se observa un resumen de los métodos aplicados por subcategoría y por tipo de GEI.

Tabla 3-72. 1.B. Emisiones fugitivas de combustibles: métodos aplicados por subcategoría

Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero	CO ₂		CH ₄		N ₂ O	
	Método aplicado	Factor de emisión	Método aplicado	Factor de emisión	Método aplicado	Factor de emisión
1.B. Emisiones fugitivas de combustibles	T1, NA, NE, NO	D, NA, NE, NO	T1, NA, NE, NO	D, NA, NE, NO	NA, NE, NO	NA, NE, NO
1.B.1. Combustibles sólidos	NA, NE	NA, NE	T1, NA, NE, NO	D, NA, NE, NO	NA	NA
1.B.2. Petróleo y gas natural	T1, NE,	D, NE,	T1, NE	D, NE	NA, NE	NA, NE
1.B.3. Otras emisiones provenientes de la producción de energía	NO	NO	NO	NO	NO	NO

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

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

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

3.3.3 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 3-73 se presentan los componentes y su relación con los datos nacionales que lo comprenden.

Tabla 3-73. 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 MINENERGIA

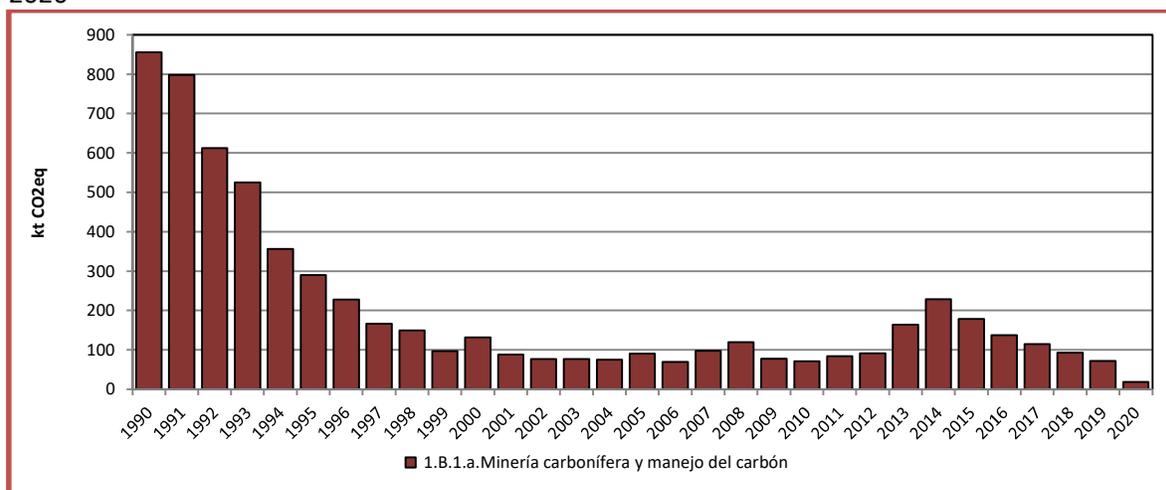
3.3.3.2 Tendencia de las emisiones de GEI

En 2020, las emisiones de GEI de la subcategoría contabilizaron 18,6 kt CO₂ eq, disminuyendo en un 89,1 % desde 1990 y en un 32,3 % desde 2018 (Tabla 3-74 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 3-74. 1.B.1. Combustibles sólidos: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por componente, serie 1990-2020

Componente	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020
1.B.1.a. Minería carbonífera y manejo del carbón	855,5	131,8	71,0	163,6	137,2	92,8	18,6
Total	855,5	131,8	71,0	163,6	137,2	92,8	18,6

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

Figura 3-35. 1.B.1. Combustibles sólidos: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por componente, serie 1990-2020

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 3-8) usando datos de actividad desde la producción de carbón de anuarios de la Comisión Chilena del Cobre (COCHILCO) y factores de emisión por defecto.

Ecuación 3-8. 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/t²⁷

La Tabla 3-75 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.

²⁷ Valor obtenido del Poder calorífico indicado por el BNE, transformado a TJ y traspasado de PCS a PCI.

Tabla 3-75. 1.B.1. Combustibles sólidos: métodos aplicados por componente

Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero	CO ₂		CH ₄		N ₂ O	
	Método aplicado	Factor de emisión	Método aplicado	Factor de emisión	Método aplicado	Factor de emisión
1.B.1. Combustibles sólidos	NA, NE	NA, NE	T1, NA, NE, NO	D, NA, NE, NO	NA	NA
1.B.1.a. Minería carbonífera y manejo del carbón	NA	NA	T1, NE, NO	D, NE, NO		
1.B.1.a.i. Minas subterráneas	NA	NA	T1, NE, NO	D, NE, NO		
1.B.1.a.i.1. Minería	NA	NA	T1	D		
1.B.1.a.i.2. Emisiones de gas de carbono posteriores a la minería	NA	NA	T1	D		
1.B.1.a.i.3. Minas subterráneas abandonadas	NA	NA	NE	NE		
1.B.1.a.i.4. Quema en antorcha de metano drenado o conversión de metano en CO ₂	NA	NA	NO	NO		
1.B.1.a.ii. Minas de superficie	NA	NA	T1	D		
1.B.1.a.ii.1. Minería	NA	NA	T1	D		
1.B.1.a.ii.2. Emisiones de gas de carbono posteriores a la minería	NA	NA	T1	D		
1.B.1.b. Combustión espontánea y vertederos para quema de carbón	NE	NE	NA	NA	NA	NA
1.B.1.c. Otros	NA	NA	NA	NA	NA	NA

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

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

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

3.3.3.3.1 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 3-76 presenta los valores correspondientes.

Tabla 3-76. 1.B.1. Combustibles sólidos: datos de actividad de producción de carbón (t) por componente, serie 1990-2020

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

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
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
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

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

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 3-77 presenta los factores de emisión usados.

Tabla 3-77. 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 2020, se presenta en la Tabla 3-78.

Tabla 3-78. 1.B.1. Combustibles sólidos: resumen de la incertidumbre combinada, 2020

Código IPCC	Categoría del IPCC	Gas	Incertidumbre en los datos de actividad		Incertidumbre en el factor de emisión		Incertidumbre combinada	
			(-)%	(+)%	(-)%	(+)%	(-)%	(+)%
1.B.1.	Combustibles sólidos	CH ₄	2,0%	2,0%	60,0%	300,0%	60,0%	300,0%

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

Una explicación general de la estimación de la incertidumbre se encuentra en la sección 1.6. *Evaluación general de la incertidumbre* y el cuadro de cálculo, junto a los supuestos aplicados, en ANEXO 11.04.

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 $\pm 2\%$ (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 1990-2020 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 3-79 se presentan los componentes y su relación con los datos nacionales que lo comprenden.

Tabla 3-79. 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.	

Componente	Definición IPCC	Observaciones
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
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

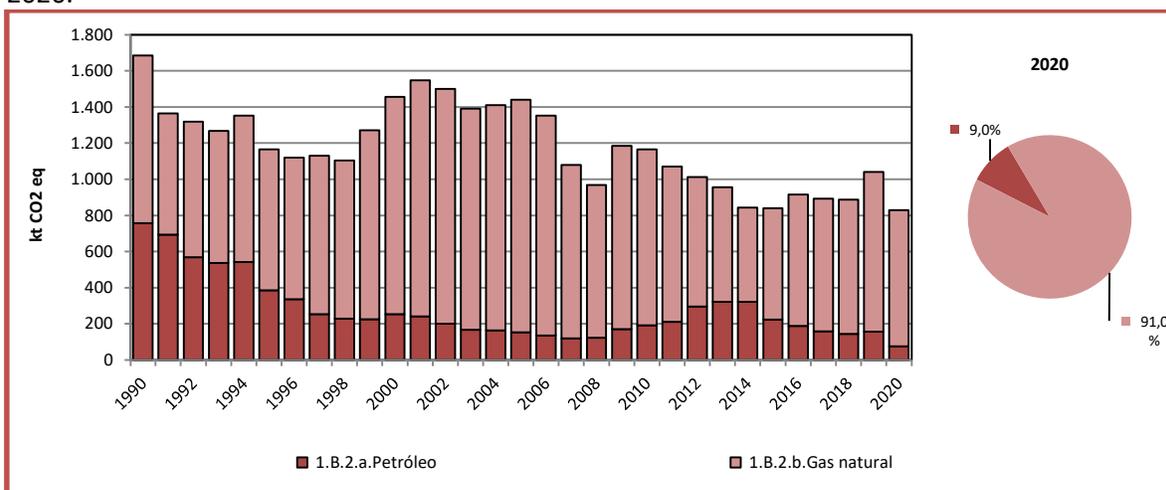
En 2020, las emisiones de GEI de la subcategoría contabilizaron 829,6 kt CO₂ eq, disminuyendo en un 50,8 % desde 1990 y en un 6,5 % desde 2018 (Tabla 3-80 y Figura 3-36).

Tabla 3-80. 1.B.2. Petróleo y gas natural: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por componente, serie 1990-2020

Componente	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020
1.B.2.a.Petróleo	757,6	253,0	192,1	322,0	187,2	143,7	74,4
1.B.2.b.Gas natural	927,4	1.203,7	972,6	633,7	728,3	743,6	755,1
Total	1.685,0	1.456,7	1.164,7	955,7	915,5	887,3	829,6

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 1990-2020.



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 7) usando datos de actividad desde el BNE y factores de emisión por defecto.

Ecuación 3-9. 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 3-81 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 3-81. 1.B.2. Petróleo y gas natural: métodos aplicados por componente

Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero	CO ₂		CH ₄		N ₂ O	
	Método aplicado	Factor de emisión	Método aplicado	Factor de emisión	Método aplicado	Factor de emisión
1.B.2. Petróleo y gas natural	T1, NE	D, NE	T1, NE	D, NE	NA, NE	NA, NE
1.B.2.a. Petróleo	T1, NE	D, NE	T1, NE	D, NE	NA, NE	NA, NE
1.B.2.a.i. Venteo	T1	D	T1	D		
1.B.2.a.ii. Quema en antorcha	T1	D	T1	D	T1	D
1.B.2.a.iii. Todos los demás	T1, NE	D, NE	T1, NE	D, NE	NA	NA
1.B.2.a.iii.1. Exploración	NE	NE	NE	NE		
1.B.2.a.iii.2. Producción y refinación	T1	D	T1	D	NA	NA
1.B.2.a.iii.3. Transporte	NE	NE	T1	D	NA	NA
1.B.2.a.iii.4. Refinación	NE	NE	T1	D		
1.B.2.a.iii.5. Distribución de productos de petróleo	NE	NE	NE	NE		
1.B.2.a.iii.6. Otros	NE	NE	NE	NE		
1.B.2.b. Gas natural	T1, NE	D, NE	T1, NE	D, NE	NE	NE
1.B.2.b.i. Venteo	T1	D	T1	D		
1.B.2.b.ii. Quema en antorcha	T1	D	T1	D	T1	D
1.B.2.b.iii. Todos los demás	T1, NE	D, NE	T1, NE	D, NE	NE	NE
1.B.2.b.iii.1. Exploración	NE	NE	NE	NE		
1.B.2.b.iii.2. Producción y refinación	T1	D	T1	D		
1.B.2.b.iii.3. Procesamiento	T1	D	T1	D		
1.B.2.b.iii.4. Transmisión y almacenamiento	NE	NE	T1	D		
1.B.2.b.iii.5. Distribución	T1	D	T1	D		
1.B.2.b.iii.6. Otros	NE	NE	NE	NE		

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

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

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

3.3.4.3.1 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 2020, 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 3-82 y Tabla 3-83 presentan los valores correspondientes.

Tabla 3-82. 1.B.2. Petróleo y gas natural: datos de actividad de producción de *Petróleo* (miles de m³) por componente, serie 1990-2020

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

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

Tabla 3-83. 1.B.2. Petróleo y gas natural: datos de actividad de producción de *Gas natural* (millones de m³) por componente, serie 1990-2020

Años	1.B.2.b.i.	1.B.2.b.ii.	1.B.2.b.iii.2.	1.B.2.b.iii.3.	1.B.2.b.iii.4.	1.B.2.b.iii.5.
	Venteo	Quema en antorcha	Producción y refinación	Procesamiento	Transmisión y almacenamiento	Distribución
	Millones m ³	Millones m ³				
1990	2.358,42	2.358,42	2.358,42	2.707,42	2.707,42	2.707,42
1991	1.772,00	1.772,00	1.772,00	1.567,00	1.567,00	1.567,00
1992	1.999,00	1.999,00	1.999,00	1.784,00	1.784,00	1.784,00
1993	1.951,00	1.951,00	1.951,00	1.717,00	1.717,00	1.717,00
1994	2.185,00	2.185,00	2.185,00	1.777,00	1.777,00	1.777,00
1995	2.103,00	2.103,00	2.103,00	1.722,00	1.722,00	1.722,00
1996	2.112,00	2.112,00	2.112,00	1.743,00	1.743,00	1.743,00

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				
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

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 3-84 y la Tabla 3-85 presentan los factores de emisión utilizado.

Tabla 3-84. 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 3-85. 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 2020, ha sido estimada para cada componente y para cada GEI. Un resumen de los resultados de la incertidumbre combinada se presenta en la Tabla 3-86.

Tabla 3-86. 1.B.2. Petróleo y gas natural: resumen de la incertidumbre combinada, 2020

Código IPCC	Categoría del IPCC	Gas	Incertidumbre en los datos de actividad		Incertidumbre en el factor de emisión		Incertidumbre combinada	
			(-)%	(+)%	(-)%	(+)%	(-)%	(+)%
1.B.2.a.	Petróleo	CO ₂	5,0%	5,0%	75,0%	75,0%	75,2%	75,2%
1.B.2.a.	Petróleo	CH ₄	5,0%	5,0%	75,0%	75,0%	75,2%	75,2%
1.B.2.a.	Petróleo	N ₂ O	5,0%	5,0%	75,0%	75,0%	75,2%	75,2%
1.B.2.b.	Gas natural	CO ₂	5,0%	5,0%	40,0%	250,0%	40,3%	250,0%
1.B.2.b.	Gas natural	CH ₄	5,0%	5,0%	40,0%	250,0%	40,3%	250,0%
1.B.2.b.	Gas natural	N ₂ O	5,0%	5,0%	40,0%	250,0%	40,3%	250,0%

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

Una explicación general de la estimación de la incertidumbre se encuentra en la sección 1.6. *Evaluación general de la incertidumbre* y el cuadro de cálculo, junto a los supuestos aplicados, en ANEXO 11.04.

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.)

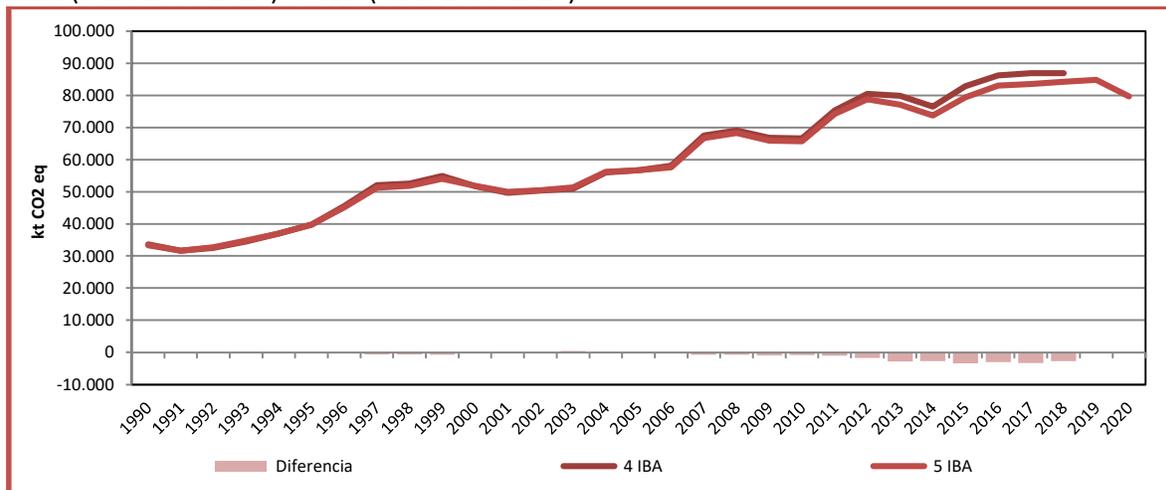
Esta categoría no ocurre en el país.

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 realizar nuevos cálculos para toda la serie de tiempo y garantizar así 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.

En el sector Energía (Figura 3-37), las emisiones de GEI del sector en el INGEI 5IBA presentan una disminución promedio entre 1990 y 2018 de 901,0 kt CO₂ eq en comparación con el INGEI 4IBA. Si bien no se evidencian mayores cambios en la tendencia, existe una disminución a lo largo de la serie respecto a la versión INGEI 4IBA. El año que presenta una mayor diferencia corresponde al 2015, en donde se alcanzaron las 3.433,4 kt CO₂ eq, debido principalmente a la implementación del nuevo factor de emisión país específico para el carbón en 1.A.1.a. *Producción de electricidad y calor como actividad principal*. 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 4IBA (serie 1990-2018) e 5IBA (serie 1990-2020)



Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA

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

3.5.1.1 Justificaciones de los nuevos cálculos y mejoras

Para esta subcategoría el principal cambio ocurrido está relacionado con la incorporación de un nuevo Factor de Emisión país específico de CO₂ tanto para el uso del carbón en la componente 1.A.1.a. *Producción de electricidad y calor como actividad principal*, como el del coque mineral en 1.A.1.c.i. *Manufactura de combustibles sólidos*, a lo largo de toda la serie, lo cual impactó en una caída en las emisiones, en especial desde el año 2007 en adelante. Otro cambio corresponde a la incorporación de las emisiones provenientes de Otros derivados del petróleo (metanol), que se incluía previamente en el componente 1.A.2.m *Industria no especificada* por una mala asignación proveniente desde el BNE, al componente *Otras industrias de la energía* (1.A.1.c.ii).

3.5.1.2 Implicaciones para los niveles de emisión

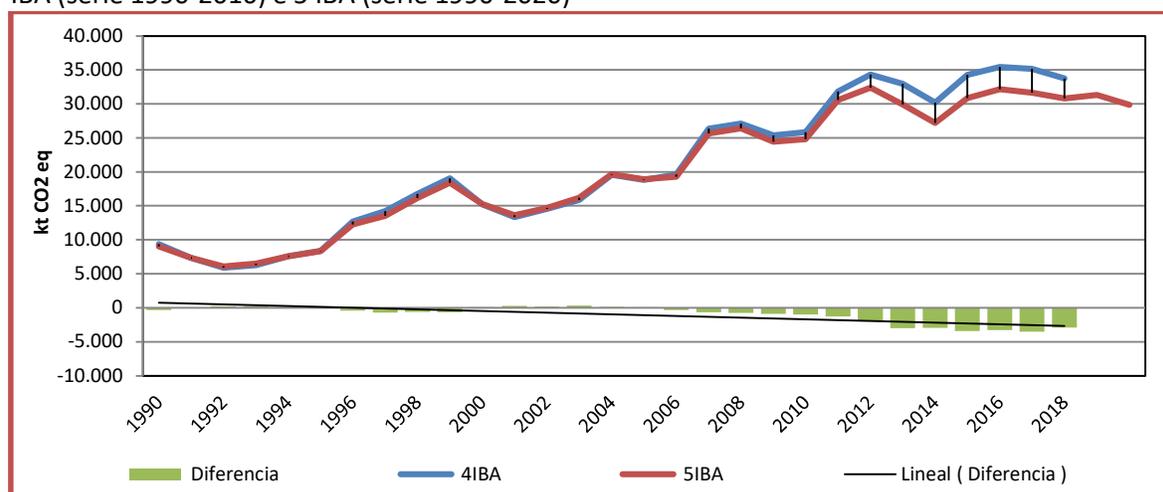
En la Tabla 3-87 y Figura 3-38 se observa cómo variaron las emisiones de GEI de esta subcategoría respecto del inventario anterior (4 IBA).

Tabla 3-87. 1.A.1. Industrias de la energía: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI2018 (serie 1990-2016) e INGEI2020 (serie 1990-2020)

INGEI	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020
4IBA	9.377,0	15.192,4	25.845,9	32.932,9	35.449,7	33.746,1	
5IBA	9.037,7	15.259,9	24.830,6	29.934,6	32.175,8	30.815,0	29.841,6
Diferencia	- 339,2	67,5	- 1.015,3	- 2.998,2	- 3.273,9	- 2.931,0	
Diferencia %	-3,8%	0,4%	-4,1%	-10,0%	-10,2%	-9,5%	

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) del 4 IBA (serie 1990-2016) e 5 IBA (serie 1990-2020)



Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

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

3.5.2.1 Justificaciones de los nuevos cálculos y mejoras

Los principales cambios de esta subcategoría corresponden a los siguientes puntos:

- Se eliminan todos los consumos de nafta asociados a las componentes *Minería* (1.A.2.i) e *Industria no especificada* (1.A.2.m) en base a la recomendación de revisión experta, dado que dicho combustible se utiliza comúnmente exclusivamente en refinerías.
- Se traslada el consumo de Otros derivados del petróleo (metanol) desde *Industria no especificada* (1.A.2.m) hacia *Otras industrias de la energía* (1.A.1.c.ii) dado corresponde a consumo propio del metanol dentro de una industria de la energía.
- Se eliminó el consumo de Madera y desechos de madera en el componente de *Hierro y acero* (1.A.2.a) para los años 2004 y 2005 dado que se revisaron las respuestas declaradas por las empresas en donde no se encontraron antecedentes al respecto.
- Se desagrega el consumo de minería del cobre entre *Metales no ferrosos* (1.A.2.b) y *Minería (con excepción de combustibles) y cantería* (1.A.2.i) para toda la serie histórica, gracias a la información entregada por la Corporación Chilena del Cobre (COCHILCO). La desagregación de dicha información existe desde 2001, por lo que se tuvo que hacer una regresión lineal para obtener los valores entre 1990 y 2000. La desagregación entre ambos consumos por año se presenta en la Tabla 3-88:

Tabla 3-88 Separación de consumos dentro de la minería del cobre

Años	Minería (con excepción de combustibles) y cantería	Metales no ferrosos
1990	46%	54%
1991	46%	54%
1992	47%	53%
1993	49%	51%
1994	50%	50%
1995	51%	49%
1996	52%	48%
1997	54%	46%
1998	55%	45%
1999	56%	44%
2000	58%	42%
2001	57%	43%
2002	60%	40%
2003	59%	41%
2004	63%	37%
2005	61%	39%
2006	64%	36%
2007	68%	32%
2008	71%	29%
2009	73%	27%
2010	71%	29%
2011	76%	24%
2012	71%	29%
2013	77%	23%
2014	77%	23%
2015	78%	22%
2016	79%	21%
2017	79%	21%
2018	80%	20%
2019	81%	19%
2020	80%	20%

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

Esta separación solo fue aplicada a ciertos combustibles, dado que se sabe que algunos de estos corresponden exclusivamente a un proceso en particular. Es por esto por lo que Diesel Oil se asignó solo al uso en *Minas*, mientras que Otro carbón bituminoso, Coque para horno de coque y coque de

lignito, Gas de fábrica de gas, Gas natural y Madera y desechos de madera fueron asignadas a *Metales no ferrosos*. El resto de los combustibles utilizados en la industria fueron asignados según los porcentajes presentados en la Tabla 3-88.

3.5.2.2 Implicaciones para los niveles de emisión

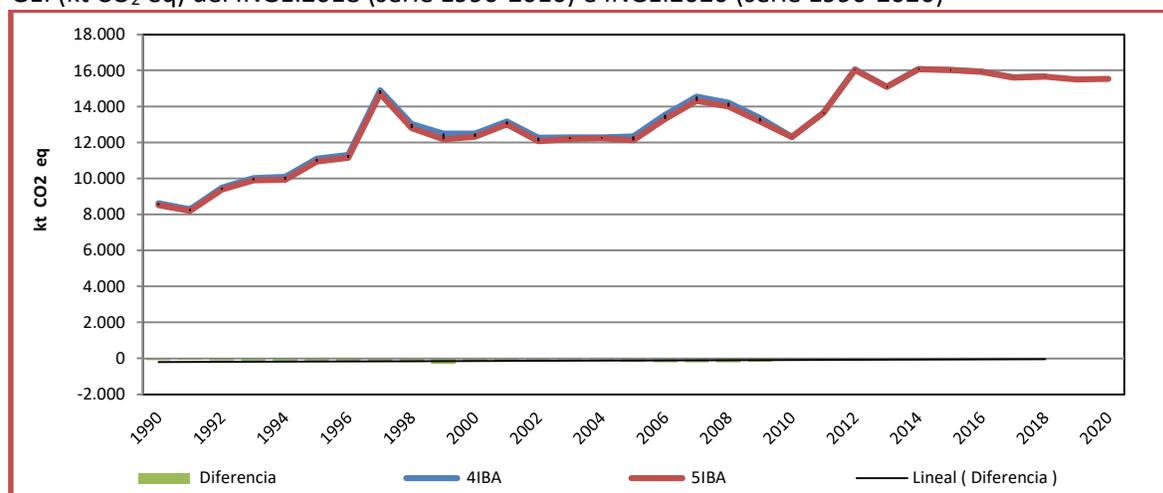
Como se observa en la Tabla 3-89 y Figura 3-39, el nivel de emisiones de esta subcategoría disminuyó en el 5 IBA con respecto al 4 IBA. El resto de las variaciones se explican por los motivos descritos en el punto 3.5.1.2.1.

Tabla 3-89. 1.A.2. Industrias manufactureras y de la construcción: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del 4 IBA (serie 1990-2018) e 5 IBA (serie 1990-2020)

Categoría	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020
INGEI2018	8.612,8	12.492,5	12.305,0	15.092,9	15.932,2	15.672,8	
INGEI2020	8.506,1	12.316,2	12.298,4	15.085,5	15.924,2	15.660,9	15.528,2
Diferencia	-106,7	-176,2	-6,6	-7,4	-8,0	-12,0	
%	-1,3%	-1,4%	-0,1%	0,0%	-0,1%	-0,1%	

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 INGEI2018 (serie 1990-2016) e INGEI2020 (serie 1990-2020)



Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

3.5.3 Nuevos cálculos Transporte (1.A.3)

3.5.3.1 Justificaciones de los nuevos cálculos y mejoras

En esta subcategoría hubo pequeñas modificaciones respecto al 4 IBA, tales como:

- Inclusión por primera vez de la componente *Transporte por gasoductos* (1.A.3.e.i) mediante el supuesto de que el 0,005% de la oferta total de gas natural es utilizado para el transporte del gas natural por ductos.
- Se eliminó el consumo de nafta en toda la serie del componente *Todo terreno* (1.A.3.e.ii).
- Se corrigió el consumo de Diesel oil para el año 2015 en el componente *Aviación de cabotaje* (1.A.3.a.ii) ya que se presenta como un *outlier*. Revisando los antecedentes del BNE, se encontró que parte importante de lo declarado correspondía a consumo en transporte terrestre, por lo que se reasignó a dicho sector.

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

En esta subcategoría no hubo cambios respecto al inventario anterior.

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

En esta subcategoría no hubo cambios respecto al inventario anterior

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

En esta subcategoría no hubo cambios respecto al inventario anterior.

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 *2020_SGCC_1ENER*. Algunas de estas actividades rutinarias para el control de la calidad son las siguientes:

Verificación de manejo, entrada y recopilación de datos:

- Revisión detallada de cada archivo anual del BNE, con el fin de contar con las especificaciones correctas de cada información.
- Crear tablas de referencia automáticas para los valores comunes que se utilizan en los cálculos.
- Chequeo de la importación de datos desde los BNE a la planilla anual consolidada.
- Verificar que los datos o parámetros que se repiten en varios años sean consistentes
- Verificar en manejo de datos que los totales coincidan (chequeo cruzado) tanto para traspaso de datos como para desagregaciones o agregaciones.
- Chequeos cruzados entre planillas de datos y cálculo, junto con chequeos dentro de hojas y libros.

Verificación de cálculos:

- Verificar los cambios metodológicos y de datos que resultan en 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.

Verificación adicional (1.A.3):

- Evaluar si las condiciones nacionales son similares a las utilizadas para desarrollar los factores por defecto del IPCC.
- Revisar cambios significativos (> 10%) en las estimaciones anuales para categorías y subcategorías.
- Comparar estimaciones realizadas con enfoques “top-down” y “bottom-up” para verificar que sean de similares órdenes de magnitudes.

3.6.2 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 *2020_SGCC_1ENER*. Algunas de estas actividades rutinarias para el control de la calidad son las siguientes:

Verificación de manejo, entrada y recopilación de datos:

- Revisión detallada de cada archivo de los anuarios de COCHILCO y BNE anuales, con el fin de contar con las especificaciones correctas de cada información.
- Crear tablas de referencia automáticas para los valores comunes que se utilizan en los cálculos.
- Chequeo de la importación de datos desde los anuarios de COCHILCO y BNE a la planilla anual consolidada.
- Verificar que los datos o parámetros que se repiten en varios años sean consistentes
- Verificar en manejo de datos que los totales coincidan (chequeo cruzado) tanto para traspaso de datos como para desagregaciones o agregaciones.

Verificación de cálculos:

- Verificar si existe alguna tendencia inusual o inexplicable reportada para los datos de actividad u otros parámetros a través de la serie temporal. Comparación de resultados con procedimiento anterior y el actual

Verificación de la documentación:

- Verificar que existe documentación para respaldar y permitir la duplicación de los cálculos.
- Verificar que los datos de inventario, datos de respaldo y registros de inventarios sean archivados y almacenados para facilitar una revisión detallada.
- Verificar que el archivo sea cerrado y se conserve en un lugar seguro tras la finalización del inventario.

Verificación del informe:

- Verificar que las tablas e imágenes del informe correspondan a los últimos valores actualizados.
- Verificar los títulos de las tablas y figuras para ver la exactitud y la coherencia del contenido.
- Verificar la coherencia de las referencias y que las citas de texto y referencias coincidan.

3.6.3 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 *2020_SGCC_1ENER*.

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. Para ello se encuentra en curso la realización de un estudio a realizar por una consultora para obtener de los factores de emisión país para los siguientes combustibles: diésel, gasolina de motor, jet querosene y petróleo combustible.

Otras mejoras específicas para esta subcategoría son las siguientes:

- Realizar una corrección histórica a las emisiones de la refinería (1.A.1.b) para los datos entre 1990-2009 sobre posibles inconsistencias en las eficiencias de los procesos, o basándose en los antecedentes entre los años 2010 y 2018

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 3-90. Listado de mejoras propuestas para el sector Energía.

Componente	Descripción	Plazo	Observaciones
1.A.1 Industrias de la energía	Realizar una corrección histórica a las emisiones de la refinería (1.A.1.b) para los datos entre 1990-2009.	Corto plazo	-
1.A.1 Industrias de la energía	Obtención de FE específicos para los principales combustibles del país (tales como carbón, diésel, gas natural, etc.)	Mediano plazo	Se espera tener para la siguiente actualización contar con los valores de los factores de emisión para los principales combustibles líquidos.
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-destino 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	Mediano plazo	

Componente	Descripción	Plazo	Observaciones
	que pudiese ser relevante. Evaluar la posibilidad de realizar dichos arreglos con los diferentes organismos 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

4 SECTOR PROCESOS INDUSTRIALES Y USO DE PRODUCTOS (2)

4.1 Panorama general

4.1.1 Introducción

El sector Procesos industriales y uso de productos (IPPU) incluye, por un lado, los GEI emitidos por procesos industriales que transforman materias primas por medios químicos o físicos, exceptuando la combustión que se considera en el sector Energía. Por otro lado, considera las emisiones por el uso de GEI en productos como refrigerantes y aislantes eléctricos o usos no energéticos del carbono contenido en los combustibles.

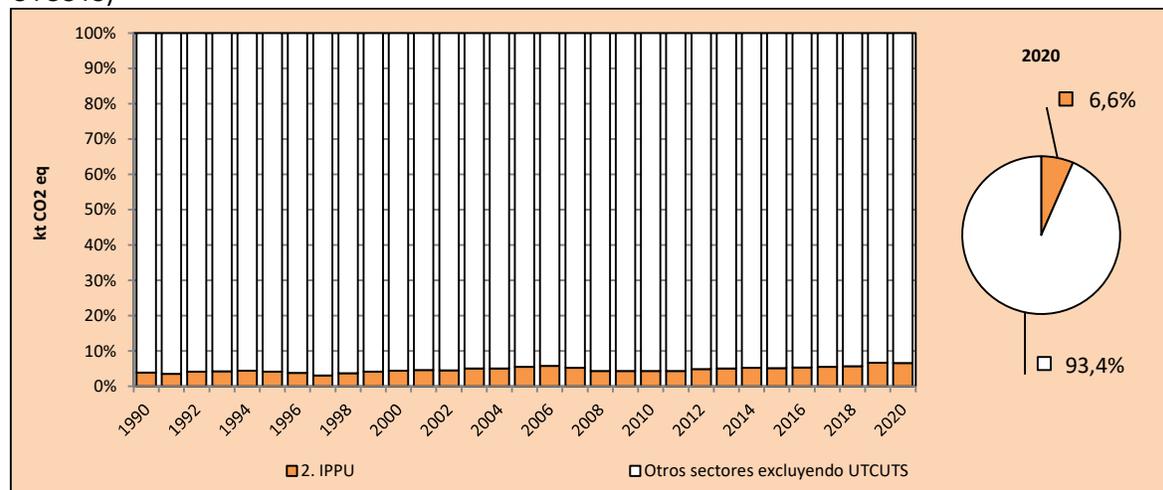
Durante los procesos mencionados puede emitirse una gran variedad de GEI, incluidos el CO₂, CH₄, N₂O, hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF₆).

En el contexto nacional, en este sector se incluyen las emisiones de los procesos de la industria química (producción de ácido nítrico y petroquímicos), industria de los metales (hierro y acero, ferroaleaciones y plomo), industria de los minerales (cemento, cal y vidrio), uso de productos no energéticos de combustible (lubricantes y ceras de parafina); emisiones asociadas al uso y consumo de productos como sustitutos para las sustancias que agotan la capa de ozono (uso de HFC en Refrigeración y aire acondicionado, agentes espumantes, protección contra incendios, aerosoles y solventes) y la utilización de otros productos (SF₆ en equipos eléctricos y N₂O en aplicaciones médicas).

4.1.2 Tendencia de las emisiones de GEI

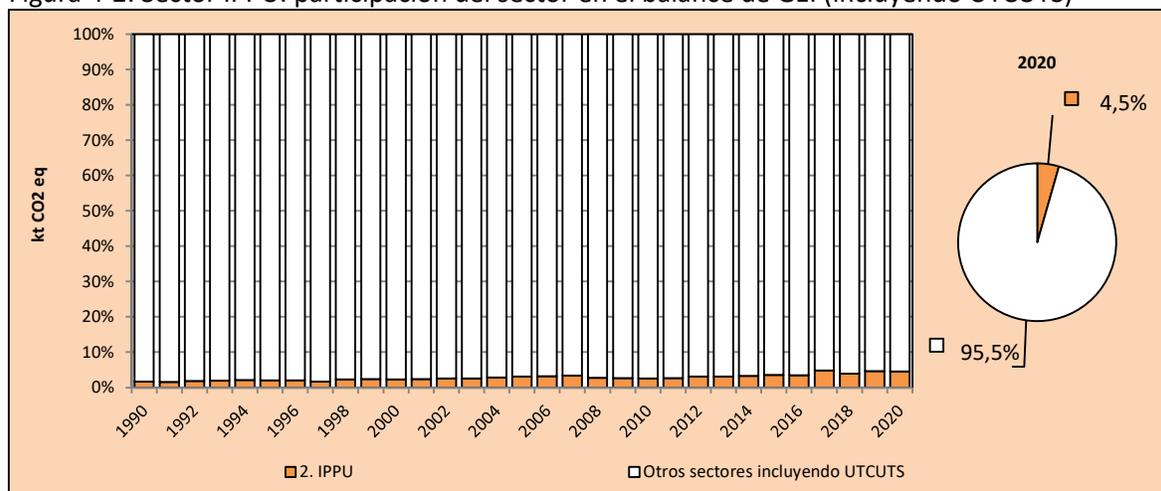
El sector IPPU representó el 6,6 % de las emisiones de GEI totales (Figura 4-1) y el 4,5 % del balance de GEI del país (Figura 4-2) para el 2020, manteniendo una representación similar a lo largo de toda la serie.

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)



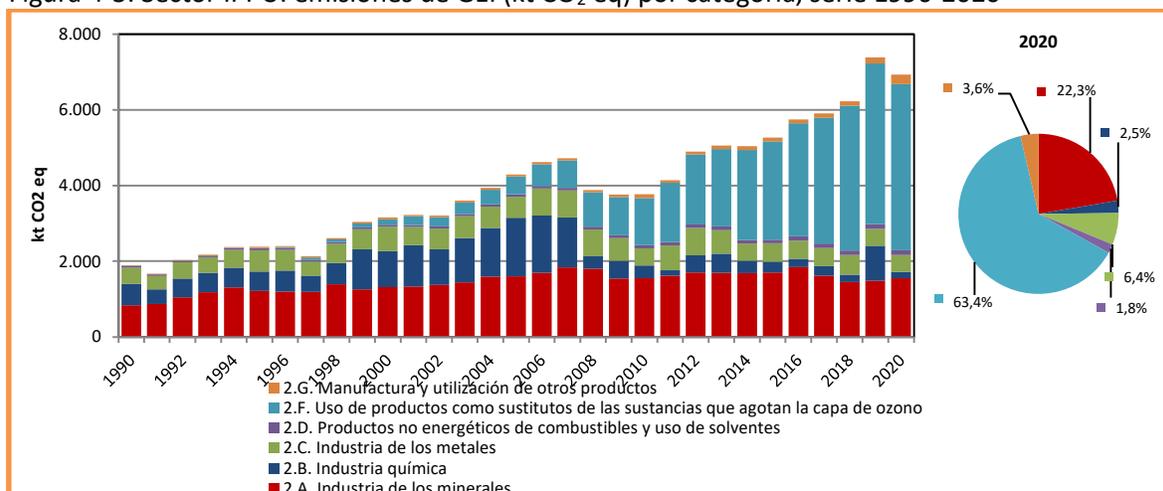
Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

En el 2020, las emisiones de GEI del sector contabilizaron 6.930 kt CO₂ eq, incrementándose en un 267 % desde 1990 y en un 11 % desde 2018 (Tabla 4-1 y Figura 4-3). La tendencia histórica es el resultado de las variaciones de las distintas categorías, que se mueven de manera independiente entre sí. Esto se traduce en que la importancia de cada categoría, con respecto al total del sector, cambie a lo largo de la serie. Las variaciones ocurren por, además de las condiciones nacionales, por factores externos al país, como la disponibilidad de tecnología y los mercados internacionales que tienen incidencia en los niveles de actividad y en los factores de emisión de las distintas industrias.

Tabla 4-1. Sector IPPU: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por categoría, serie 1990-2020

Categoría	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020
2.A. Industria de los minerales	833,7	1.313,6	1.548,4	1.689,4	1.847,0	1.444,5	1.548,7
2.B. Industria química	563,1	953,1	334,5	511,1	213,4	196,6	172,4
2.C. Industria de los metales	433,3	642,9	458,4	618,3	484,6	519,2	442,2
2.D. Productos no energéticos de combustibles y uso de solventes	42,6	53,2	78,9	98,9	112,4	122,7	127,0
2.F. Uso de productos como sustitutos de las sustancias que agotan la capa de ozono	0,0	143,8	1.245,7	2.048,4	2.989,7	3.824,0	4.390,4
2.G. Manufactura y utilización de otros productos	17,2	44,2	99,3	88,0	94,3	114,2	249,5
Total	1.890,0	3.150,8	3.765,1	5.054,2	5.741,4	6.221,2	6.930,2

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

Figura 4-3. Sector IPPU: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por categoría, serie 1990-2020

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

Los principales causantes del incremento entre 1990 y 2006 son el crecimiento sostenido de la producción de metanol, la industria del cemento y la industria del ácido nítrico, además las emisiones de hierro y acero se mantienen y aparecen tardíamente las emisiones por uso de sustancias SAO. Desde 2006 se observa una abrupta caída de las emisiones, debido a dos eventos: la disminución de la oferta de gas natural, materia prima para la producción de metanol; y el uso de sistemas de abatimiento para las emisiones de N₂O de la industria del ácido nítrico. En 2008 se produce otra fuerte disminución de la actividad industrial del país debido a la crisis económica internacional afectando a la producción de cemento, cal y hierro y acero. Esta crisis se mantiene hasta 2010, momento en que se produce una reactivación económica que frena en 2013. Adicionalmente en este período se hacen más relevantes las emisiones de HFC, por su uso principalmente como refrigerante, las que aumentan exponencialmente hasta ser la principal fuente del sector en 2020. Sumado a esto, desde el 2014, por un lado, disminuye la producción de clínker por aumento en las importaciones y también caen las emisiones de producción de ácido nítrico por la instalación de un sistema de abatimiento adicional. Esto se contrarresta con un aumento en la producción de metanol desde 2016 por nueva disponibilidad de gas natural, además del crecimiento en la producción de cal que se utiliza principalmente en la minería. También en 2019 hay un máximo de emisiones producido en parte por el aumento de las emisiones de todas las categorías, pero en mayor parte por la falla en uno de los sistemas de abatimiento en la producción de ácido nítrico. Todos estos resultados se pueden observar en la Tabla 4-2 y Figura 4-4.

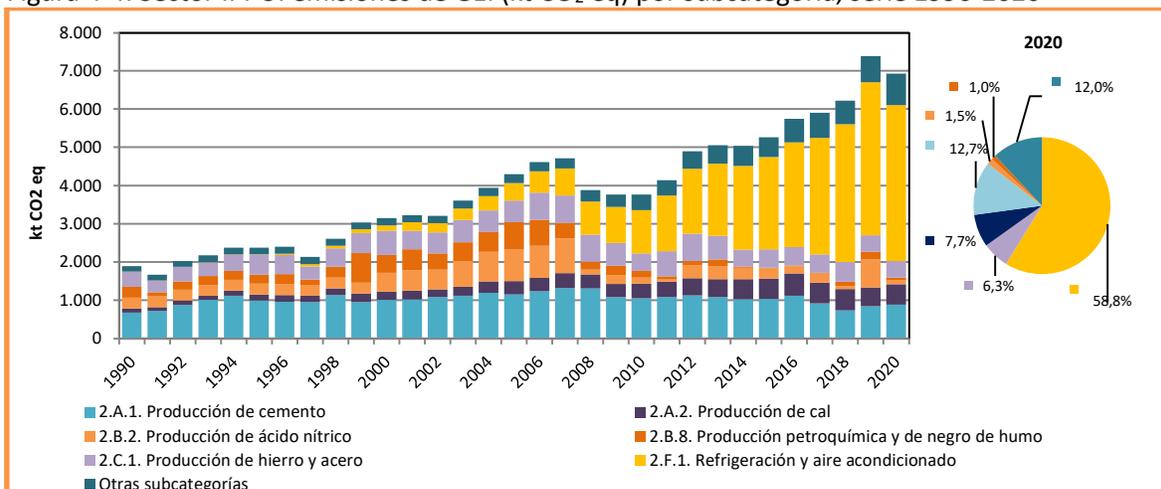
Tabla 4-2. Sector IPPU: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por subcategoría, serie 1990-2020

Subcategoría	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020
2.A.1. Producción de cemento	676,0	1.010,4	1.046,5	1.085,7	1.120,3	730,4	879,7
2.A.2. Producción de cal	109,1	215,5	385,2	465,4	577,4	559,0	537,0
2.A.3. Producción de vidrio	12,0	52,6	87,4	106,6	118,5	126,5	104,1
2.A.4. Otros usos de carbonatos en los procesos	36,5	35,1	29,3	31,7	30,8	28,6	27,9
2.B.2. Producción de ácido nítrico	283,6	492,2	163,0	331,1	190,8	75,5	101,0
2.B.8. Producción petroquímica y de negro de humo	279,5	460,9	171,4	180,0	22,7	121,1	71,5
2.C.1. Producción de hierro y acero	401,6	634,4	457,0	616,5	481,0	513,7	435,8
2.C.2. Producción de ferroaleaciones	31,7	8,5	NO	NO	NO	NO	NO
2.C.5. Producción de plomo	NO	NO	1,4	1,8	3,6	5,4	6,4
2.D.1. Uso de lubricantes	35,5	44,0	69,6	87,2	102,4	113,6	115,6

Subcategoría	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020
2.D.2. Uso de la cera de parafina	7,1	9,1	9,3	11,7	10,0	9,2	11,3
2.F.1. Refrigeración y aire acondicionado	0,0	139,6	1.129,1	1.890,4	2.733,5	3.602,7	4.073,7
2.F.2. Agentes espumantes	NO	NO	57,5	40,1	92,2	66,8	35,2
2.F.3. Protección contra incendios	NO	1,6	18,2	50,3	84,4	70,3	99,7
2.F.4. Aerosoles	NO	NO	38,4	51,5	62,8	61,0	173,4
2.F.5. Solventes	NO	2,7	2,5	16,1	16,8	23,3	8,3
2.G.1. Equipos eléctricos	17,2	43,8	98,3	77,3	86,8	111,5	190,8
2.G.3. N2O de usos de productos	0,1	0,4	1,0	10,7	7,4	2,7	58,7
Total	1.890,0	3.150,8	3.765,1	5.054,2	5.741,4	6.221,2	6.930,2

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

Figura 4-4. Sector IPPU: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por subcategoría, serie 1990-2020



Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

En 2020, el principal GEI emitido por el sector fueron los HFC, representando un 63 % de las emisiones totales de GEI del sector, seguido del CO₂ con un 31 %. El SF₆ alcanzó un 2,8 % de las emisiones, el N₂O un 2,3 % y el CH₄ un 0,7 %. Las emisiones de los PFC se estimaron, pero son menores al 0,01 % (Tabla 4-3 y Figura 4-5).

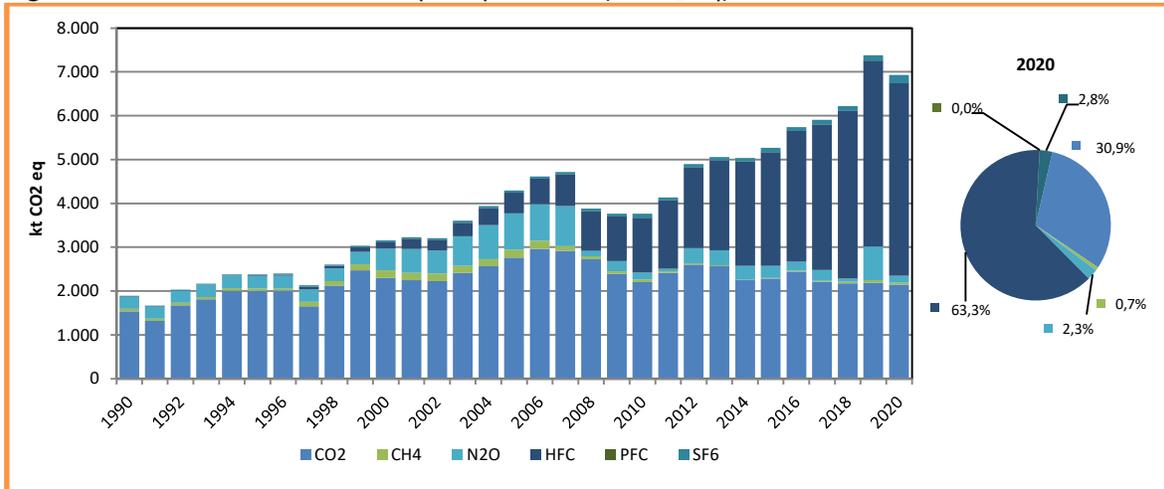
Tabla 4-3. Sector IPPU: emisiones por tipo de GEI (kt CO₂ eq), serie 1990-2020

GEI	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020
CO ₂	1.533,9	2.296,3	2.199,0	2.565,4	2.444,0	2.172,4	2.141,0
CH ₄	55,3	174,2	58,1	21,3	22,7	35,2	48,3
N ₂ O	283,6	492,6	164,0	341,8	198,2	78,2	159,7
HFC	0,05	143,8	1.245,5	2.048,3	2.988,7	3.823,2	4.389,9
PFC	NO	NO	0,2	0,2	1,0	0,8	0,5
SF ₆	17,2	43,8	98,3	77,3	86,8	111,5	190,8
Total	1.890,0	3.150,8	3.765,1	5.054,2	5.741,4	6.221,2	6.930,2

NO = No ocurre

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

Figura 4-5. Sector IPPU: emisiones por tipo de GEI (kt CO₂ eq), serie 1990-2020



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*. Por una parte, el método de Nivel 3 fue utilizado en la categoría *Industria química*, en la subcategoría *Producción de ácido nítrico*. Por otra parte, 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 4-4 se observa un resumen de los métodos aplicados por categoría y por tipo de GEI.

Tabla 4-4. Sector IPPU: métodos aplicados por categoría

Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero	CO ₂		CH ₄		N ₂ O		HFC		PFC		SF ₆	
	Método aplicado	Factor de emisión	Método aplicado	Factor de emisión	Método aplicado	Factor de emisión	Método aplicado	Factor de emisión	Método aplicado	Factor de emisión	Método aplicado	Factor de emisión
2. Procesos industriales y uso de productos	T1, T2, NE, NO	D, CS, NE, NO	T1, IE, NO	D, IE, NO	T3, NA, NE, NO	D, CS, NA, NE, NO	T2a, T1, NO	D, NO	T1, NA, NO	D, NA, NO	T1, NA, NO	D, NA, NO
2.A. Industria de los minerales	T1, T2, NE, NO	D, NE, NO										
2.B. Industria química	T1, T2, NO	D, NO	T1, NO	D, NO	T3, NO	CD, NO	NO	NO				
2.C. Industria de los metales	T1, T2, NO	D, CS, NO	IE, NO	IE, NO					NO	NO	NO	NO
2.D. Productos no energéticos de combustibles y uso de solventes	T1	D										
2.E. Industria electrónica							NO	NO	NO	NO	NO	NO
2.F. Uso de productos sustitutos de las sustancias que agotan la capa de ozono							T2a, T1	D	T1, NO	D, NO		
2.G. Manufactura y utilización de otros productos					T1, NA, NE	D, NA, NE			NA, NO	NA, NO	T1, NA, NO	D, NA, NO
2.H. Otros												

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

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

Todos los cálculos del sector se realizaron a través de libros de cálculo elaborados por el Equipo Técnico de IPPU con base en las *Directrices del IPCC de 2006*.

4.1.4 Datos de actividad del sector

En el sector IPPU los datos de actividad son, en su mayoría, la producción de las diferentes industrias cuyo proceso conlleva a la emisión de GEI, o bien son cantidades de productos cuyo uso genera la emisión de GEI. Por lo tanto, se cuenta con una gran cantidad de fuentes de datos de actividad estadísticos y paramétricos que incluyen tanto al sector privado (empresas, asociaciones gremiales, etc.) como al sector público (importaciones y exportaciones de aduana, anuarios estadísticos, etc.). Mayoritariamente, y de forma muy general, para la estimación de las emisiones del sector se usan las toneladas de sustancia producida o usada. El detalle de los datos de actividad utilizados se podrá encontrar en las secciones correspondientes a cada subcategoría.

4.2 Industria de los minerales (2.A.)

4.2.1 Descripción de la categoría

La categoría *Industria de los minerales* incluye las emisiones de CO₂ relacionadas con los procesos que resultan del uso de materias primas carbonatadas en la producción y el uso de una variedad de productos minerales industriales. Las subcategorías asociadas son las siguientes:

- *2.A.1. Producción de cemento.*
- *2.A.2. Producción de cal.*
- *2.A.3. Producción de vidrio.*
- *2.A.4. Otros usos de carbonatos en los procesos.*

En el contexto nacional, esta categoría incluye las emisiones de todas las subcategorías listadas anteriormente.

4.2.2 Tendencia de las emisiones de GEI

La categoría *Industria de los minerales* es la segunda categoría emisora de GEI del sector IPPU, representando el 22,3% de las emisiones de GEI del sector en 2020, alcanzando emisiones equivalentes a 1.549 kt CO₂ eq, esto representó un incremento del 86% y de un 7% respecto de 1990 y 2018 respectivamente.

Los principales cambios en las emisiones de la categoría se deben a la naturaleza de las actividades de esta misma, que en primer orden responden a la situación económica del país, por ejemplo 1990, 1999 y en 2009 las baja en las emisiones coinciden con los valores de PIB más bajos (Banco Central, 2020) (Tabla 4-5 y Figura 4-6). Sin embargo, la mayoría de las emisiones de esta categoría se producen por la calcinación de carbonatos para la producción de clínker, por lo que al no haber producción de clínker las emisiones no se generan. Esto es importante de tener en consideración al analizar la serie temporal ya que desde el 2010 la importación de clínker ha incrementado considerablemente, lo que disminuye las emisiones de la categoría, pero no necesariamente la producción de las empresas.

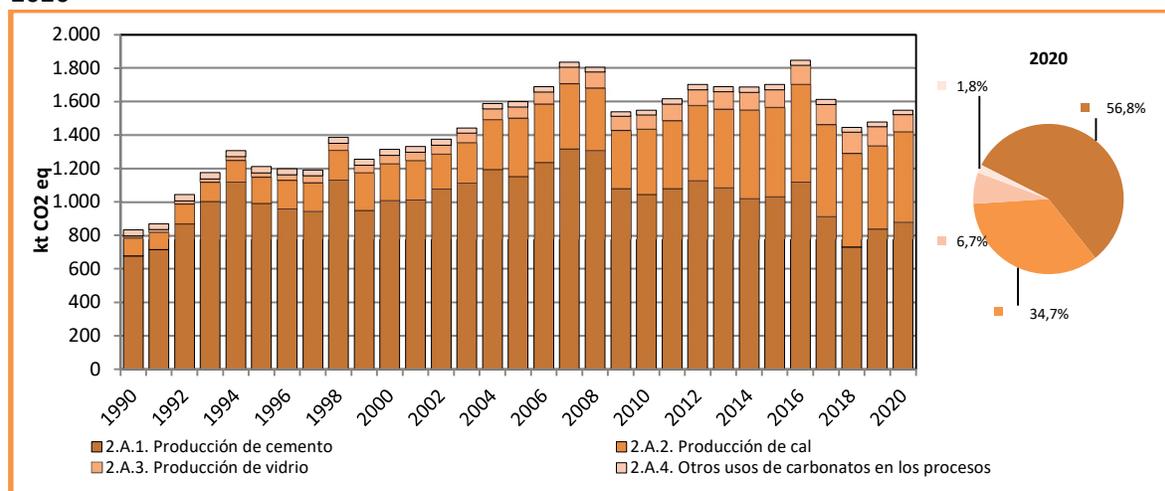
Respecto de las emisiones de las subcategorías, la *Producción de cemento* es la de mayor relevancia con un 56,8% del total, seguida de un 34,7% de *Producción de cal*, luego la *Producción de vidrio* con un 6,7% y finalmente la de menor participación es la subcategoría *Otros usos de carbonatos en los procesos* con un 1,8% (Figura 4-6).

Tabla 4-5. 2.A. Industria de los minerales: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por subcategoría, serie 1990-2020

Subcategoría	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020
2.A.1. Producción de cemento	676,0	1.010,4	1.046,5	1.085,7	1.120,3	730,4	879,7
2.A.2. Producción de cal	109,1	215,5	385,2	465,4	577,4	559,0	537,0
2.A.3. Producción de vidrio	12,0	52,6	87,4	106,6	118,5	126,5	104,1
2.A.4. Otros usos de carbonatos en los procesos	36,5	35,1	29,3	31,7	30,8	28,6	27,9
Total	833,7	1.313,6	1.548,4	1.689,4	1.847,0	1.444,5	1.548,7

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

Figura 4-6. 2.A. Industria de los minerales: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por subcategoría, serie 1990-2020



Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

4.2.3 Aspectos metodológicos de la categoría

Para la estimación de las emisiones de GEI de la categoría se aplicó el método Nivel 2 para todas las subcategorías, excepto para *Otros usos de carbonatos en los procesos*, en donde se utilizó un método de Nivel 1.

La *2.A.1. Producción de cemento* es una categoría principal dentro del inventario, por lo que se espera que su estimación se realice con un nivel metodológico 2 o mayor. En este caso, se cuenta con la información necesaria para realizar la estimación según los requerimientos. Cabe destacar que otras categorías como *2.A.2. Producción de cal* y *2.A.3. Producción de vidrio*, no son categorías principales, pero de igual manera se estimaron con un nivel 2.

Las subcategorías de Nivel 2 se usaron datos de actividades país específicos 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 *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 4-6 se observa un resumen de los métodos aplicados por subcategoría y por tipo de GEI. Más detalles sobre la elección de métodos son presentados en cada categoría según corresponda.

Tabla 4-6. 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, NO	D, NE, NO										
2.A.5. Otros (sírvase especificar)	NO	NO										

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

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

El cálculo de las emisiones para las subcategorías se realizó a través de libros de cálculo elaborados por el Equipo Técnico de IPPU con base en las *Directrices del IPCC de 2006*.

4.2.4 Producción de cemento (2.A.1.)

4.2.4.1 Descripción de la subcategoría

En la fabricación del cemento, el CO₂ se genera durante la producción de clínker, un producto intermedio constituido de nódulos, que es sometido a una molturación fina con una pequeña proporción de sulfato de calcio (yeso (CaSO₄·2H₂O) o anhidruro (CaSO₄)), para formar el cemento hidráulico (generalmente, el cemento portland). Durante la producción del clínker, se calienta o calcina la piedra caliza, compuesta esencialmente de carbonato de calcio (CaCO₃), para producir cal (CaO) y CO₂ como productos derivados.

El cemento puede fabricarse completamente (por molturación) a partir de clínker importado, en cuyo caso la planta de producción de cemento puede ser considerada libre de toda emisión de CO₂ relacionada con el proceso de fabricación.

Históricamente la producción de cemento en Chile la han liderado tres empresas, que usan en parte clínker importado, pero además producen su propio clínker. En los últimos años se ha visto un aumento del clínker importado.

4.2.4.2 Tendencia de las emisiones de GEI

En 2020, las emisiones de GEI de esta subcategoría contabilizaron 880 kt CO₂ eq (representando el 56,8 % de las emisiones de GEI de la categoría), incrementándose en un 30,1 % y un 20,4 % desde 1990 y 2018, respectivamente (Tabla 4-5 y Figura 4-6). El principal causante de la tendencia y las

variaciones interanuales es la demanda de cemento desde la construcción y la importación de clínker, lo que condiciona la producción nacional de clínker. Es importante mencionar que, si bien en los últimos años la importación de clínker ha mostrado un aumento constante, para la estimación de las emisiones de GEI solo se considera la producción de clínker nacional. Esto último queda en evidencia al ver la tendencia de las emisiones del sector que, como se mencionó anteriormente, un aumento en la importación de clínker conlleva una disminución en las emisiones por producción, pero no así de la producción misma de cemento.

4.2.4.3 Aspectos metodológicos de la subcategoría

Para la estimación de emisiones de la subcategoría *Producción de cemento* se aplicó el método Nivel 2 de las *Directrices del IPCC de 2006*, 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)

$$\text{Emisiones de CO}_2 = M_{cl} \cdot EF_{cl} \cdot CF_{CKD}$$

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 recopilación directa de información con las principales empresas del país. Además de esto, se utilizó información del Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (RETC²⁸) tanto para completar la serie como para verificar los datos ya levantados. Por otra parte, respecto de los factores, estos se detallan más adelante.

4.2.4.3.1 Datos de actividad estadísticos y paramétricos

Los datos de actividad de la producción de clínker fueron entregados directamente por las tres principales empresas productoras de cemento del país. Sin embargo, para completar la serie histórica fue necesario complementar con información de otras fuentes.

Primero, para los años la serie 1990-1994 se utilizó información de: *Despachos de Cemento* de la Cámara Chilena de la Construcción²⁹, producción de caliza nacional según la Comisión Chilena del Cobre³⁰ (Cochilco), del Servicio Nacional de Geología y Minería³¹ (Sernageomin), las importaciones de clínker y un factor clínker de acuerdo con la tendencia 1995-2020. Segundo, para los años 1995 – 2012, se utilizó información del despacho de cementos, mencionando anteriormente, y las

²⁸ <https://retc.mma.gob.cl/>

²⁹ <http://www.cchc.cl>

³⁰ <https://www.cochilco.cl/>

³¹ <https://www.sernageomin.cl/>

importaciones y exportaciones de clínker, además de la participación de cada empresa en el mercado del cemento. Para el resto de los años se contó con información para todas las empresas, contando los datos entregados por ellos mismo y la información obtenida de RETC.

Considerando lo anterior, la serie de datos construida y utilizada en este inventario se presenta a continuación.

Tabla 4-7. 2.A.1. Producción de cemento: producción, importación, exportación y consumo de clínker (t), producción de cemento (t) y relación clínker/cemento, serie 1990-2020

Año	Producción de clínker (t)	Importaciones (t)	Exportaciones (t)	Consumo clínker (t)	Producción de cemento (t)	Relación CI/Cm
1990	1.322.917	21	-	1.322.938	2.626.477	0,50
1991	1.399.124	-	-	1.399.124	2.977.907	0,47
1992	1.705.075	59.612	-	1.764.687	3.329.338	0,53
1993	1.965.904	219.595	-	2.185.499	3.618.607	0,60
1994	2.190.538	92.068	-	2.282.605	3.595.171	0,63
1995	1.940.830	103.185	0	2.044.015	3.805.326	0,54
1996	1.880.936	533.246	-	2.414.182	4.070.387	0,59
1997	1.851.090	681.114	-	2.532.204	4.156.951	0,61
1998	2.212.737	369.769	-	2.582.506	4.232.642	0,61
1999	1.860.632	70.400	-	1.931.032	3.622.946	0,53
2000	1.977.267	291.925	-	2.269.192	3.877.587	0,59
2001	1.982.709	422.716	0	2.405.425	3.979.282	0,60
2002	2.111.742	295.229	-	2.406.971	3.944.157	0,61
2003	2.178.615	178.050	3	2.356.663	4.061.655	0,58
2004	2.335.509	244.525	1	2.580.033	4.187.937	0,62
2005	2.254.223	394.305	-	2.648.528	4.325.043	0,61
2006	2.419.367	362.626	8.124	2.773.869	4.407.082	0,63
2007	2.576.090	315.620	28.168	2.863.541	4.629.192	0,62
2008	2.558.472	369.112	3.002	2.924.582	4.745.137	0,62
2009	2.114.638	262.207	-	2.376.845	4.279.949	0,56
2010	2.047.785	532.281	5.760	2.574.306	4.237.098	0,61
2011	2.113.566	936.806	11.840	3.038.533	4.829.105	0,63
2012	2.206.324	987.886	20.527	3.173.683	4.716.897	0,67
2013	2.124.637	928.637	2.920	3.050.354	4.614.981	0,66
2014	1.999.736	789.246	8	2.788.974	4.190.305	0,67
2015	2.021.774	898.944	-	2.920.718	4.382.339	0,67
2016	2.192.282	920.186	3	3.112.465	4.313.188	0,72
2017	1.790.402	1.087.000	-	2.877.402	3.995.376	0,72
2018	1.429.377	1.467.209	-	2.896.586	3.992.818	0,73
2019	1.644.683	1.199.265	-	2.843.948	4.081.896	0,70
2020	1.721.426	943.505	-	2.664.931	3.796.976	0,70

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

Nota: Valores en 0 son valores menores a 1.

El valor promedio, específico de Chile, de la relación consumo de clínker/producción de cemento fue de 62 %. Este valor está por debajo de la relación por defecto indicado en las *Directrices del IPCC de 2006* (Sección 2.2.1.3.; Capítulo 2; Volumen 3), correspondiente a un 75 %. Esta diferencia se da ya que en Chile se ha utilizado históricamente Puzolana para reemplazar parte del clínker, sin embargo, no hay una respuesta clara de las industrias de porqué el factor clínker tiende a aumentar

en la serie histórica. Cabe destacar que, en la hoja de ruta de la industria del cemento, se dice que el mínimo factor clínker que ha registrado Chile es de 47 % y el máximo de 76 %.

4.2.4.3.2 Factores de emisión

El factor de emisión de CO₂ de la producción de clínker depende de su contenido de CaO y la entrada de fuentes no carbonatadas de CaO. Ante la falta de información país específica, se asume que el clínker contiene un 65 % de CaO y que este proviene en un 100 % del CaCO₃. También se asumen que alcanza un 100 % de calcinación en el horno de acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006* (Sección 2.2.1.2; Capítulo 2; Volumen 3). Por lo tanto, el factor de emisión (EF_{cl}) sin incluir el factor de corrección del CKD es de 0,51 t CO₂/t 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, en donde se confirmó que este porcentaje varía entre un 0 % y 0,67 %. Considerando el rango de valores que este puede tomar, se consideró el valor de CKD de la estimación anterior, la que considera un 0,2 % que, en otras palabras, se traduce en un factor de 1,002.

4.2.4.4 Incertidumbre

La incertidumbre combinada de la subcategoría es ±32,1 %, esto considerando las recomendaciones de las *Directrices del IPCC de 2006* (Sección 2.2.2; Capítulo 2; Volumen 3). La mayor incertidumbre está asociada a los datos de actividad, los que, si bien son reportados por las empresas, estos igual pueden presentar una gran variabilidad. Un resumen de los resultados de la incertidumbre combinada se presenta en la Tabla 4-8.

Tabla 4-8. 2.A.1. Producción de cemento: resumen de la incertidumbre combinada, 2020

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%	5,5%	5,5%	32,1%	32,1%

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

Una explicación general de la estimación de la incertidumbre se encuentra en la sección 1.6. *Evaluación general de la incertidumbre* y el cuadro de cálculo, junto a los supuestos aplicados, en ANEXO 11.04.

4.2.4.5 Consistencia de la serie temporal

Para mantener la consistencia de la serie 1990-2020, 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 incluyen: información de empresas, base de datos del RETC, reportes públicos de la Cámara Chile de la Construcción e información sobre exportaciones e importaciones del Servicio Nacional de Aduanas. Estos datos de actividad fueron tratados según lo descrito en la sección 4.2.4.3.1.

4.2.4.6 Verificación

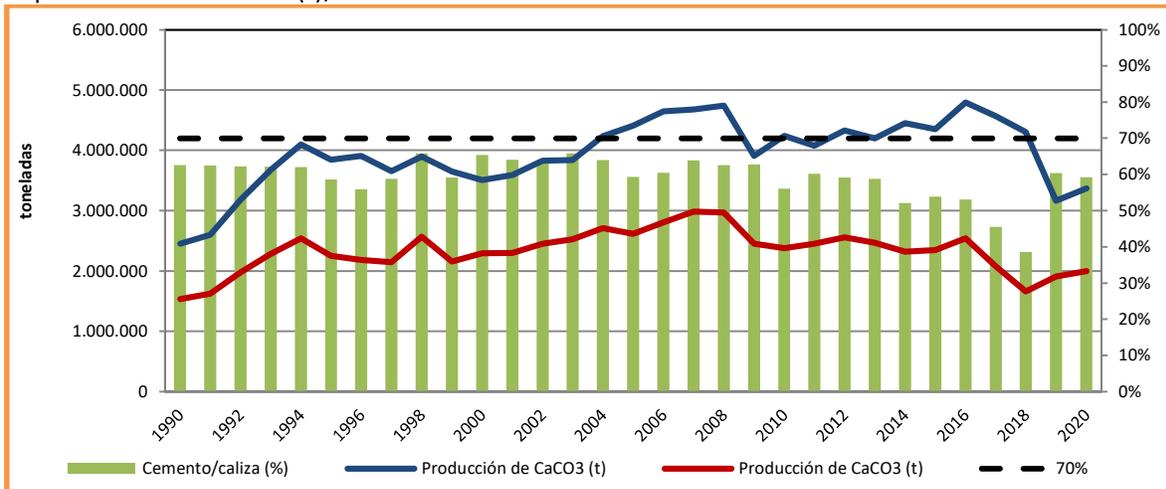
Como verificación de la serie de tiempo se realizó un balance de carbonatos a nivel nacional. Este balance considera la producción nacional, exportaciones e importaciones de carbonatos que, en su

mayoría (~99%) consideran la producción/uso de caliza. Según el balance y las fuentes consultadas en él, la mayoría (~70%) de producción de caliza en Chile se dedica a la producción de cemento.

Considerando esto último se realizó una comparación considerando el carbonato de calcio proveniente de la caliza y el necesario para la elaboración de cemento. Ambas estimaciones consideran supuestos para toda la serie. Primero, se considera que la caliza está compuesta en un 65 % de carbonato de calcio, esto supuesto se basa en la recopilación de información de distintas fuentes que van desde tesis hasta consultas con productores de caliza. Segundo, para el caso del clínker, se considera que está formado por un 65 % de CaO y que este proviene únicamente de la quema de CaCO_3 , según lo expuesto en la sección 4.2.4.3.2.

Tomando en consideración los supuestos mencionados anteriormente, se tiene que en la mayor parte de la serie el CaCO_3 para clínker está cercano al 70 % de la producción total de CaCO_3 (Figura 4-7), sin embargo, desde el 2010 en adelante esta proporción baja considerablemente. Esto podría deberse a la fuerte participación de las importaciones de clínker en la producción de cemento que se mencionaba anteriormente, las que empiezan a tomar relevancia desde el 2010 en adelante. Por otro lado, si se considera que ambas series son independientes (salvo los años 1990 - 1994) y que se relacionan en base a los supuestos mencionados anteriormente, hay una buena relación entre ambas producciones.

Figura 4-7. 2.A.1. Producción de cemento: comparación entre producción de CaCO_3 (t) y CaCO_3 para la producción de clínker (t), serie 1990-2020



Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

4.2.4.7 Nuevos cálculos

4.2.4.7.1 Justificaciones de los nuevos cálculos y mejoras

En esta actualización del inventario se revisaron los primeros años de la serie considerando la producción de caliza a nivel nacional. Se consideró que una estimación en base a la relación entre la producción de caliza y la producción de clínker es un mejor estimador para los años sin información. Para esto se consideró la serie de datos de 1995-2009, considerando que desde el 2010 en adelante no hay una buena relación entre la producción de caliza y la producción de clínker. Por otro lado, también se corrigieron los últimos años de la serie en base a información reportada por una empresa.

4.2.4.7.2 Implicaciones para los niveles de emisión

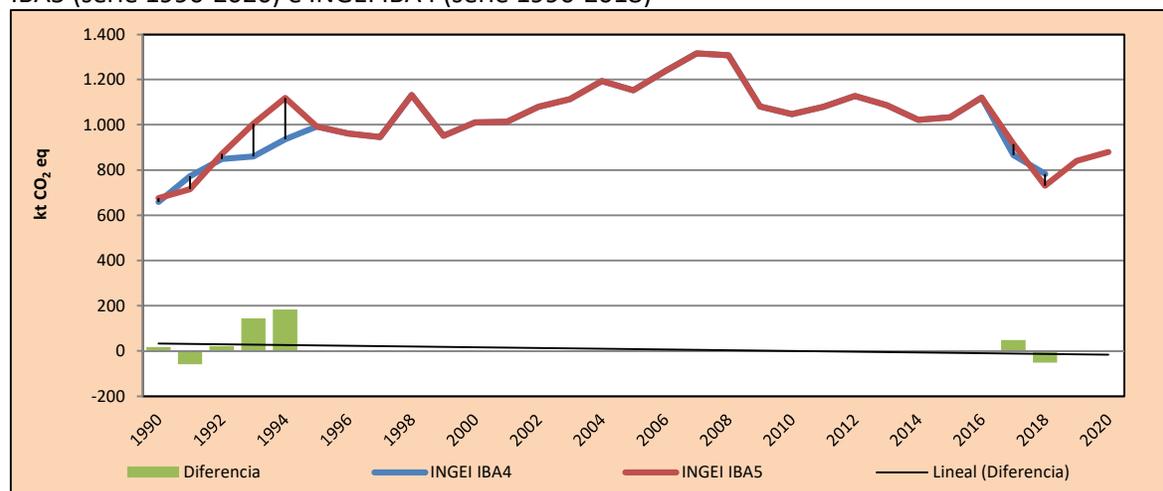
En la Tabla 4-9 y Figura 4-8 se observa cómo variaron las emisiones de GEI de la subcategoría respecto al inventario anterior (INGEI IBA4). Como se menciona anteriormente, los cambios en la serie ocurren en los primeros y últimos años, por lo que las diferencias en la estimación se dan en estos mismos. Los mayores cambios ocurren en 1993 y 1994, donde casi se alcanzan las 200 kt CO₂ eq, mientras que las demás diferencias no llegan a las 100 kt CO₂ eq.

Tabla 4-9. 2.A.1. Producción de cemento: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI IBA4 (serie 1990-2020) e INGEI IBA3 (serie 1990-2018)

INGEI	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020
INGEI IBA4	659,2	1.010,4	1.046,5	1.085,7	1.120,3	782,2	-
INGEI IBA5	676,0	1.010,4	1.046,5	1.085,7	1.120,3	730,4	879,7
Diferencia	16,9	-	-	-	-	-51,7	879,7
Diferencia %	2,5%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	-7,1%	-

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

Figura 4-8. 2.A.1. Producción de cemento: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI IBA5 (serie 1990-2020) e INGEI IBA4 (serie 1990-2018)



Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

4.2.4.8 Plan de mejoramiento

En respuesta al análisis propio del Equipo Técnico de IPPU y a las recomendaciones de la revisión experta del INGEI de Chile, las mejoras planificadas del sector son las siguientes:

- Se requiere trabajar en los datos históricos, considerando que aún se utiliza un factor CKD por defecto.
- Se necesita corroborar los porcentajes de CaO en el clínker, ya que se sabe que hay otros compuestos que ingresan en la incineración del carbonato.
- 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.

4.2.5 Producción de cal (2.A.2.)

4.2.5.1 Descripción de la subcategoría

La *Producción de cal* se realiza en una serie de etapas, incluida la extracción de las materias primas, la trituración y el calibrado, la calcinación de las materias primas para producir cal y (si se requiere) la hidratación de la cal para obtener hidróxido de calcio. El óxido de calcio (CaO o cal viva) se forma durante el proceso de calcinación, al calentar la piedra caliza para descomponer los carbonatos. Dicho proceso se hace generalmente en hornos de caña u hornos rotatorios a altas temperaturas, liberándose CO₂.

En Chile hay dos empresas que como negocio principal producen cal, y su uso es principalmente como regulador de pH en los procesos de flotación del cobre, pero también para neutralización de efluentes y procesos de fundición. La demanda de cal se suple en parte por producción nacional y en parte por importación. (Cochilco, Análisis del mercado de insumos críticos en la minería del cobre³², varios años). La industria productora de cal en Chile ha crecido considerablemente a lo largo de la serie siguiendo la demanda para el procesamiento de mineral en la minería.

4.2.5.2 Tendencia de las emisiones de GEI

En 2020 las emisiones de GEI de esta subcategoría contabilizaron 537 kt CO₂ eq, (representando el 35 % de las emisiones de la categoría) incrementándose en un 392 % desde 1990 y disminuyendo en un 3,9 % desde 2018 (Tabla 4-5 y). La principal causante de la tendencia y las variaciones interanuales es la demanda de cal principalmente por la minería, y la importación de esta para suplir parte de la demanda.

4.2.5.3 Aspectos metodológicos de la subcategoría

Para la estimación de emisiones de la subcategoría *Producción de cal* se aplicó el método Nivel 2 de las *Directrices del IPCC de 2006*, 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*

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 para la elaboración de la serie de datos. En este caso las dos 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.

4.2.5.3.1 Datos de actividad estadísticos y paramétricos

Los datos de actividad de la producción de cal fueron entregados por las grandes empresas productoras 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 4-10 se presenta el total de la producción nacional para toda la serie.

Tabla 4-10. 2.A.2. Producción de cal: producción nacional de cal viva (t), serie 1990-2020

Año	Producción de cal viva (t)
1990	160.201
1991	154.010
1992	170.820
1993	165.345
1994	186.968
1995	227.582
1996	244.862
1997	244.136
1998	254.582
1999	324.330
2000	313.039
2001	338.450
2002	296.530
2003	347.497
2004	428.916
2005	505.657
2006	503.189
2007	564.205
2008	537.355
2009	503.054
2010	558.918
2011	586.770
2012	645.973
2013	675.940
2014	759.871
2015	765.463

Año	Producción de cal viva (t)
2016	835.745
2017	790.331
2018	809.464
2019	713.862
2020	776.624

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

4.2.5.3.2 Factores de emisión

El factor de emisión de CO₂ depende de la relación estequiométrica entre el CO₂ y el CaO (SR_{CaO}), que es 0,785 y del contenido de CaO de la cal. El valor por defecto para el contenido de CaO de la cal, y que es utilizado en este inventario, es de 95 % (Cuadro 2.4; Capítulo 2; Volumen 3; *Directrices del IPCC de 2006*). De acuerdo con lo anterior, el factor de emisión queda calculado por la ecuación siguiente:

Ecuación 4-3. 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

Por otro lado, se consideró la fracción de CaO en la cal según fichas técnicas específicas por plantas, por lo que el contenido de CaO es representado por un rango en este informe. La Tabla 4-11 detalla el factor de emisión para la cal viva. Además, incluye los factores correctores para el LKD generado como producto derivado; y para la cal viva “apagada” que se transforma en cal hidratada. Ante la falta de información adicional, ambos factores correctores son por defecto.

Tabla 4-11. 2.A.2. Producción de cal: valores usados para la estimación del factor de emisión de CO₂ de la producción de cal viva (con fuerte proporción de calcio)

Tipo de cal	Factor corrector para LKD por defecto	Factor corrector para la cal hidratada por defecto	Contenido CaO	Factor de emisión (t CO ₂ / t cal)
Cal viva	1,02	0,97	87,5 – 91,1	0,785

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA con base en Cuadro 2.4; Capítulo 2; Volumen 3; *Directrices del IPCC de 2006*

4.2.5.4 Incertidumbre

La incertidumbre combinada de la subcategoría es de ±31 %. En general no se cuenta con información nacional de la incertidumbre de los datos de actividad y los factores de emisión, por lo que consideraron las recomendadas por las *Directrices del IPCC de 2006* (Sección 2.3.2.; Capítulo 2; Volumen 3). Al igual que el caso de la producción de clínker, la mayor incertidumbre está asociada a los niveles de actividad, por los mismos motivos que se detallaron en la sección 4.2.4.4. Un resumen de los resultados de la incertidumbre combinada se presenta en la Tabla 4-12.

Tabla 4-12. 2.A.2. Producción de cal: resumen de la incertidumbre combinada, 2020

Código IPCC	Categoría del IPCC	Gas	Incertidumbre en los datos de actividad		Incertidumbre en el factor de emisión		Incertidumbre combinada	
			(-)%	(+)%	(-)%	(+)%	(-)%	(+)%
2.A.2.	Producción de cal	CO ₂	30,0%	30,0%	8,1%	8,1%	31,1%	31,1%

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

Una explicación general de la estimación de la incertidumbre se encuentra en la sección 1.6. *Evaluación general de la incertidumbre* y el cuadro de cálculo, junto a los supuestos aplicados, en ANEXO 11.04.

4.2.5.5 Consistencia de la serie temporal

Para mantener la consistencia de la serie 1990-2018 se usaron los mismos factores de emisión y la misma fuente de datos de actividad, tanto estadísticos como paramétricos, sin embargo, se hace una diferenciación en el factor de CaO según planta de producción de cal. Adicionalmente los valores de la serie temporal fueron revisados y, de acuerdo con lo informado por las empresas, no contiene mayores problemas o vacíos.

4.2.5.6 Procedimiento de garantía y control de la calidad y verificación

4.2.5.6.1 Verificación

Se compararon las emisiones resultantes de la aplicación del método Nivel 1 y el método Nivel 2 para la categoría (Tabla 4-13), 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 4-13. 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 1990-2020

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%
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%

Año	Nivel 2	Nivel 1	Diferencia (%)
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%

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

4.2.5.7 Nuevos cálculos

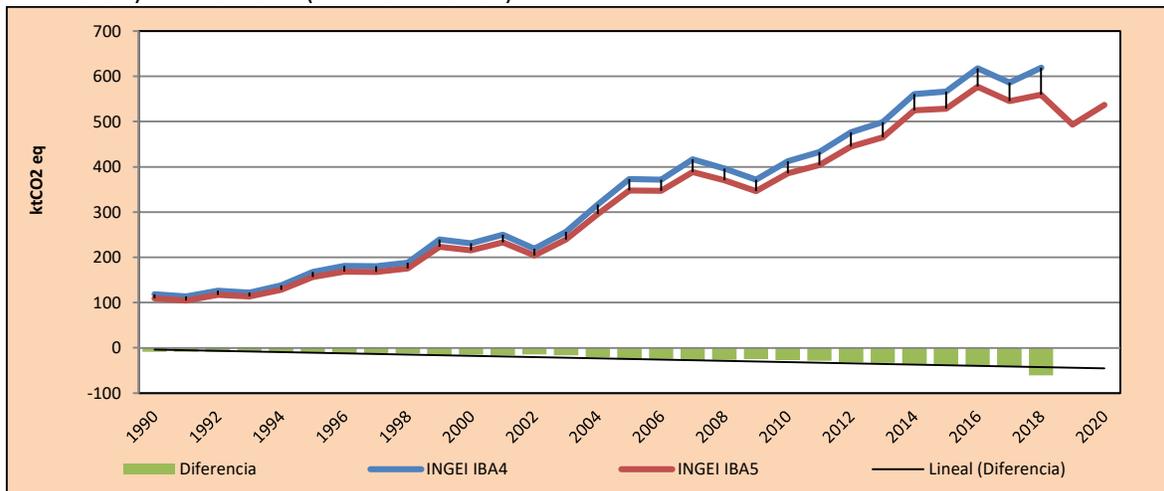
En esta actualización del inventario se utilizó un factor de CaO en la cal específico por planta de producción, a diferencia del inventario anterior. Estas diferencias se traducen en una reducción de las emisiones de la subcategoría y manifiestan a lo largo de toda la serie temporal, sin embargo, estas diferencias no superan 61 kt de CO₂ eq. La Tabla 4-14 y la Figura 4-9 resumen estos resultados.

Tabla 4-14. 2.A.2. Producción de cal: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI IBA5 (serie 1990-2020) e INGEI IBA4 (serie 1990-2018)

INGEI	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020
INGEI IBA4	118,2	231,0	412,4	498,7	618,0	619,7	-
INGEI IBA5	109,1	215,5	385,2	465,4	577,4	559,0	537,0
Diferencia	-9,1	-15,5	-27,2	-33,4	-40,6	-60,7	-
Diferencia %	-8,3%	-7,2%	-7,0%	-7,2%	-7,0%	-10,9%	-

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

Figura 4-9. Producción de cal: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI IBA5 (serie 1990-2020) e INGEI IBA4 (serie 1990-2018)



Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

4.2.5.8 Plan de mejoramiento

En respuesta al análisis propio del Equipo Técnico de IPPU y a las recomendaciones de la revisión experta del INGEI de Chile, las mejoras planificadas del sector son las siguientes:

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

4.2.6 Producción de vidrio (2.A.3.)

4.2.6.1 Descripción de la subcategoría

Las principales materias primas del vidrio que emiten CO₂ durante el proceso de fundición son: la piedra caliza (CaCO₃), la dolomita Ca, Mg (CO₃)₂ y la ceniza de sosa (Na₂CO₃). Estos materiales, allí donde se extraen como carbonatos minerales para ser utilizados en la industria del vidrio, representan una producción primaria de CO₂ y deben incluirse en las estimaciones de emisiones.

El vidrio producido en el país se usa para fabricar diversos productos, entre estos, botellas, iluminación, recipientes, vajilla e instrumentos de laboratorio, siendo usado también como material de construcción. Considerando los diferentes usos de este producto, la industria ha crecido considerablemente en los últimos años, presentando una recuperación en los niveles de producción desde el 2011 en adelante, en comparación con la gran desaceleración ocurrida entre 2008 y 2010.

4.2.6.2 Tendencia de las emisiones de GEI

En 2020, las emisiones de GEI contabilizaron 104 kt CO₂ eq (representando el 6,7 % de las emisiones de GEI de la categoría), incrementándose en un 766 % desde 1990 y disminuyendo en un 18 % desde 2018 (Tabla 4-5 y Figura 4-6). La principal causante de la tendencia y las variaciones interanuales es la demanda de vidrio tipo recipiente por parte de la industria, efecto ligado al crecimiento económico del país. Esta relación explica el estancamiento de la producción hacia el 2008 y la disminución durante el 2010 debido al terremoto. Por otro lado, se observa en 2007 un aumento en las emisiones asociado al inicio de operaciones de dos nuevas plantas (Planta Rengo de Verallia y Planta Llay Llay de Cristalerías Chile).

4.2.6.3 Aspectos metodológicos de la subcategoría

Para la estimación de emisiones de la subcategoría *Producción de vidrio* se utilizó el método Nivel 2 de las *Directrices del IPCC de 2006*, 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 4-4. 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 específica por cada empresa y el porcentaje de cullet respectivo, sin embargo, este último es estimado para los primeros años de la serie, el que fue corroborado con cada empresa.

4.2.6.3.1 Datos de actividad estadísticos y paramétricos

En el país se producen dos tipos de vidrio: recipiente y flotado. Los datos de actividad de cada tipo se obtuvieron directamente de los grandes fabricantes y también se complementó y verificó la información obtenida con la base de datos del RETC. Adicionalmente reportaron el porcentaje de cullet anual, el cual fue ponderado para obtener el promedio nacional por tipo de vidrio. La Tabla 4-15 presenta el total de la producción nacional y el porcentaje de cullet para toda la serie.

Tabla 4-15. 2.A.3. Producción de vidrio: producción nacional de vidrio (t) por tipo y porcentaje de cullet, serie 1990-2020

Año	Recipiente		Flotado	
	Producción (t)	% de cullet	Producción (t)	% de cullet
1990	55.272	39%	29.474	20%
1991	72.788	37%	29.474	20%
1992	90.304	36%	29.474	20%
1993	107.820	35%	29.474	20%
1994	125.336	34%	29.474	20%
1995	146.757	35%	29.474	20%
1996	188.852	35%	49.598	30%
1997	211.939	37%	89.468	25%
1998	221.235	35%	88.001	23%
1999	216.340	35%	90.402	20%
2000	257.734	34%	97.347	17%
2001	260.971	33%	87.319	22%
2002	281.391	33%	88.425	16%
2003	318.294	38%	95.308	14%
2004	342.276	33%	98.048	12%
2005	354.179	34%	102.202	13%
2006	396.068	35%	103.018	11%
2007	535.998	29%	110.095	11%
2008	535.516	30%	108.425	11%
2009	490.290	36%	100.726	11%
2010	614.292	35%	16.727	9%
2011	599.703	32%	90.015	18%
2012	588.798	35%	101.959	14%
2013	609.290	32%	103.497	11%
2014	614.583	32%	106.265	12%
2015	632.303	33%	104.695	15%

Año	Recipiente		Flotado	
	Producción (t)	% de cullet	Producción (t)	% de cullet
2016	717.193	33%	101.372	16%
2017	737.866	33%	105.693	15%
2018	755.165	33%	113.142	14%
2019	718.020	35%	106.170	17%
2020	698.501	41%	94.578	13%

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

4.2.6.3.2 Factores de emisión

El factor de emisión de CO₂ para la producción de vidrio depende del tipo de producción. Ante la falta de factores de emisión país específico, se aplicó el factor de emisión por defecto de las *Directrices del IPCC de 2006* (Cuadro 2.6; Capítulo 2; Volumen 3) el cual corresponde a 0,21 kg de CO₂/kg de vidrio, tanto para el vidrio flotado como para el vidrio recipiente.

4.2.6.4 Incertidumbre

La incertidumbre combinada de la subcategoría es $\pm 10,2\%$. En general no se cuenta con información nacional de la incertidumbre de los datos de actividad y los factores de emisión, por lo que consideraron las recomendadas por las *Directrices del IPCC de 2006* (Sección 2.4.2.; Capítulo 2; Volumen 3). En este caso la mayor incertidumbre está asociada a los factores de emisión, que en este caso se utilizaron factores por defecto. Un resumen de los resultados de la incertidumbre combinada se presenta en la Tabla 4-16.

Tabla 4-16. 2.A.3. Producción de vidrio: resumen de la incertidumbre combinada, 2020

Código IPCC	Categoría del IPCC	Gas	Incertidumbre en los datos de actividad		Incertidumbre en el factor de emisión		Incertidumbre combinada	
			(-)%	(+)%	(-)%	(+)%	(-)%	(+)%
2.A.3.	Producción de vidrio	CO ₂	2,0%	2,0%	10,0%	10,0%	10,2%	10,2%

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

Una explicación general de la estimación de la incertidumbre se encuentra en la sección 1.6. *Evaluación general de la incertidumbre* y el cuadro de cálculo, junto a los supuestos aplicados, en ANEXO 11.04.

4.2.6.5 Consistencia de la serie temporal

Para mantener la consistencia de la serie 1990-2020, se usaron los mismos factores de emisión y la misma fuente de datos de actividad, tanto estadísticos como paramétricos, variando el porcentaje de cullet según cada empresa. Adicionalmente los valores de la serie fueron revisados y, de acuerdo con lo informado por las empresas, no contiene mayores problemas o vacíos. Sin embargo, se corrigieron los valores por parte de una de las empresas.

4.2.6.6 Procedimiento de garantía y control de la calidad y verificación

4.2.6.6.1 Verificación

No se realizaron actividades de verificación para esta subcategoría.

4.2.6.7 Nuevos cálculos

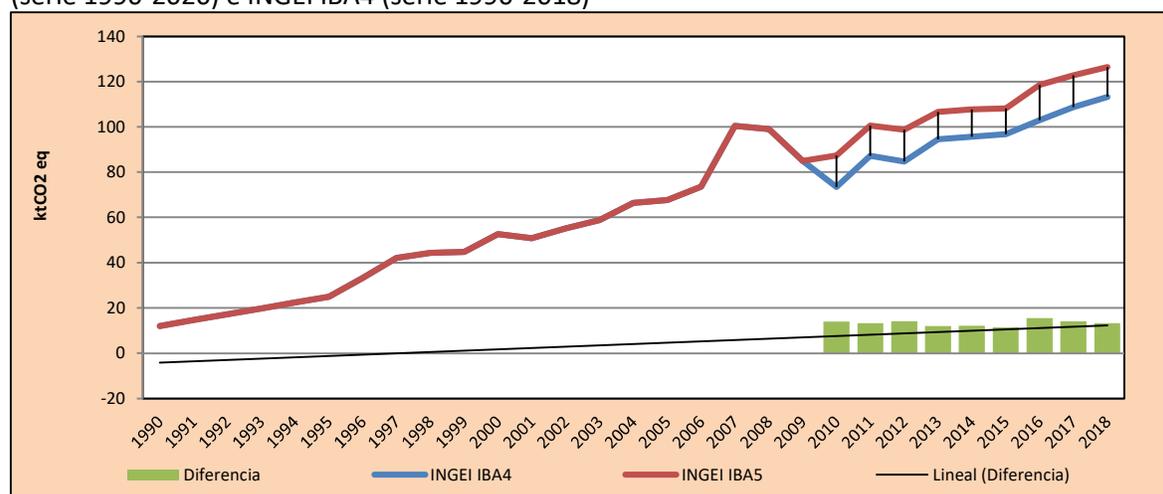
Para esta actualización se corroboró la información histórica de producción de vidrio con las diferentes empresas. En el proceso de verificación se corrigió la serie para una de las empresas para los años 2010-2018, lo que se tradujo en un cambio en la estimación de las emisiones. Estos cambios se muestran en la Tabla 4-17 y Figura 4-10, en donde se ve un aumento para los años mencionados anteriormente.

Tabla 4-17. 2.A.3. Producción de vidrio: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI IBA5 (serie 1990-2020) e INGEI IBA4 (serie 1990-2018)

INGEI	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020
INGEI IBA4	12,0	52,6	73,4	94,6	103,0	113,3	
INGEI IBA5	12,0	52,6	87,4	106,6	118,5	126,5	104,1
Diferencia	0,0	0,0	14,0	12,0	15,5	13,2	
Diferencia %	0,0%	0,0%	16,0%	11,3%	13,1%	10,4%	

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

Figura 4-10. Producción de vidrio: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI IBA5 (serie 1990-2020) e INGEI IBA4 (serie 1990-2018)



Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

4.2.6.8 Plan de mejoramiento

No se consideraron mejoras para esta subcategoría.

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

4.2.7.1 Descripción de la categoría

El uso de carbonatos como el carbonato de calcio (CaCO₃) o la dolomita (CaMg(CO₃)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 deja como No Estimada por falta de información más detallada.

4.2.7.2 Tendencia de las emisiones de GEI

Las emisiones de esta subcategoría alcanzaron el 1,8 % de las emisiones al 2020, siendo la menor emisora, esto se repite a lo largo de todos los años. En 2020 alcanzó las 27,9 kt de CO₂, disminuyendo en un 23,5 % y 2,3 % desde 1990 y 2018, respectivamente. La tendencia de las emisiones es principalmente explicada por la baja en la producción de cal agrícola. La siguiente tabla muestra un resumen de los resultados.

Tabla 4-18. 2.A.4. Otros usos de carbonatos en los procesos: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) para el periodo 1990 - 2020

Subcategoría	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020
2.A.4. Otros usos de carbonatos en los procesos	36,5	35,1	29,3	31,7	30,8	28,6	27,9
Total	36,5	35,1	29,3	31,7	30,8	28,6	27,9

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

4.2.7.3 Aspectos metodológicos de la subcategoría

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 4-5

Ecuación 4-5. 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.

4.2.7.3.1 Datos de actividad estadísticos y paramétricos

Para la construcción de la serie 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.

4.2.7.3.2 Factores de emisión

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), esto considerando que el levantamiento de información arrojó que el único carbonato usado por estas actividades era carbonato de calcio. Dicho esto, el factor fue de 0,43971 toneladas de CO₂ por toneladas de carbonato, según las *Directrices del IPCC de 2006* (Cuadro 2.1; Capítulo 2; Volumen 3).

4.2.7.4 Incertidumbre

La incertidumbre combinada de la subcategoría es $\pm 3,6\%$. En general no se cuenta con información nacional de la incertidumbre de los datos de actividad y los factores de emisión, por lo que consideraron las recomendadas por las *Directrices del IPCC de 2006* (Sección 2.4.2.; Capítulo 2; Volumen 3). En este caso ambas incertidumbres son similares, además de pequeñas. Un resumen de los resultados de la incertidumbre combinada se presenta en la Tabla 4-19.

Tabla 4-19. 2.A.4. Otros usos de carbonatos en los procesos: resumen de la incertidumbre combinada, 2020

Código IPCC	Categoría del IPCC	Gas	Incertidumbre en los datos de actividad		Incertidumbre en el factor de emisión		Incertidumbre combinada	
			(-)%	(+)%	(-)%	(+)%	(-)%	(+)%
2.A.4.	Otros usos de carbonatos en los procesos	CO ₂	2,0%	2,0%	3,0%	3,0%	3,6%	3,6%

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

Una explicación general de la estimación de la incertidumbre se encuentra en la sección 1.6. *Evaluación general de la incertidumbre* y el cuadro de cálculo, junto a los supuestos aplicados, en ANEXO 11.04.

4.2.7.5 Consistencia de la serie temporal

Para la consistencia de la serie temporal 1990 – 2020 se consideró las mismas fuentes de información, además de la recopilada a través de las empresas consultadas.

4.2.7.6 Procedimiento de garantía y control de calidad y verificación

4.2.7.6.1 Verificación

La información recopilada fue contrastada y verificada con diferentes expertos del rubro. Sin embargo, un proceso de control de la calidad debe ser considerado al elaborar una serie de tiempo más robusta.

4.2.7.7 Nuevos cálculos

No se realizaron nuevos cálculos en esta subcategoría.

4.2.7.8 Plan de mejoramiento

En respuesta al análisis propio del Equipo Técnico de IPPU y a las recomendaciones de la revisión experta del INGEI de Chile, las mejoras planificadas del sector son las siguientes:

- Levantar información sobre el uso de carbonatos en las industrias de la energía y fundiciones de cobre.
- Buscar algún proxy para mejorar la estimación de uso de carbonatos en los procesos de producción de pulpa.

4.2.8 Otros (2.A.5.)

Esta subcategoría no ocurre en el país.

4.3 Industria química (2.B.)

4.3.1 Descripción de la categoría

La categoría *Industria química* incluye las emisiones de GEI que resultan de la producción de varios productos inorgánicos y orgánicos para los cuales la experiencia de varios países ha confirmado que contribuyen significativamente a los niveles de emisión mundial o nacional de GEI. Las subcategorías asociadas son las siguientes:

- *2.B.1. Producción de amoníaco.*
- *2.B.2. Producción de ácido nítrico.*
- *2.B.3. Producción de ácido adípico.*
- *2.B.4. Producción de caprolactama, glioxil y ácido glioxílico*
- *2.B.5. Producción de carburo*
- *2.B.6. Producción de dióxido de titanio*
- *2.B.7. Producción de ceniza de sosa*
- *2.B.8. Producción petroquímica y de negro de humo*

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

- Producción de ácido nítrico
- Producción de metanol, y
- Producción de etileno.

4.3.2 Tendencia de las emisiones de GEI

La categoría *Industria química* es la cuarta categoría emisora de GEI del sector IPPU (2,5 %). En 2020, sus emisiones de GEI contabilizaron 172 kt CO₂ eq, disminuyendo en un 69 % desde 1990 y en un 19 % desde 2018. El principal causante de la tendencia y las variaciones interanuales es la

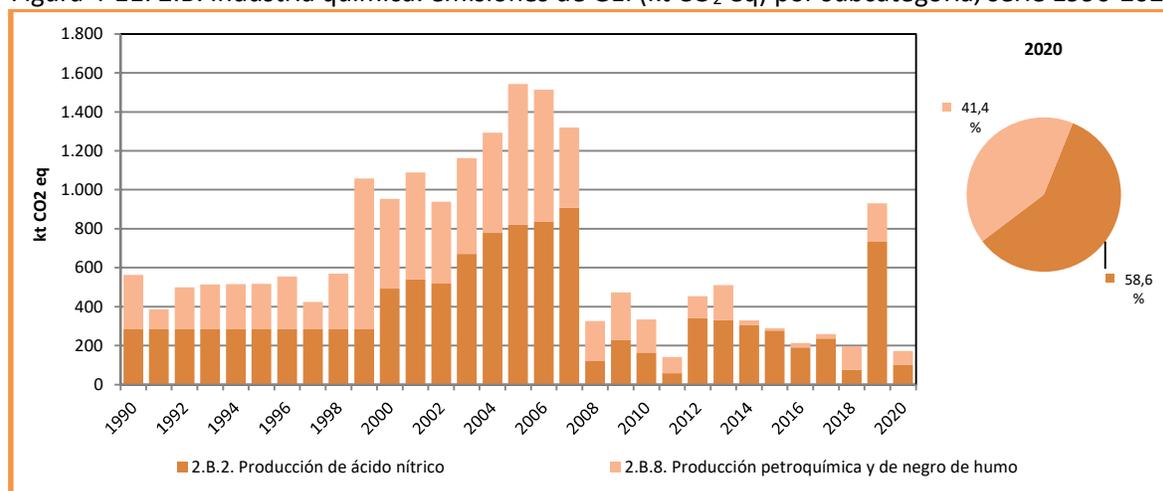
producción de metanol y de ácido nítrico. Las emisiones de GEI han disminuido desde 2006 por la fuerte caída de la producción de metanol, asociada a la disminución de la oferta de gas natural, principal insumo de la industria y a la instalación de medidas de abatimiento en la industria del ácido nítrico. La variabilidad de los últimos años en las emisiones de la industria del ácido nítrico responde a variaciones en la producción y a eficiencia de los equipos de abatimiento, junto a la instalación de nuevos equipos, por ejemplo, en 2019 se ve un incremento en las emisiones por producción de ácido nítrico. Este incremento se debe a una falla en los sistemas de control de las emisiones de la única empresa productora de ácido en el país. Lo detalles de las emisiones se ven en la Tabla 4-20 y la Figura 4-11. Respecto a las subcategorías, en 2020 la *Producción de ácido nítrico* es la de mayor relevancia con un 59 %, seguida de un 41 % de la *petroquímica y de negro de humo*.

Tabla 4-20. 2.B. Industria química: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por subcategoría, serie 1990-2020

Subcategoría	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020
2.B.2. Producción de ácido nítrico	283,6	492,2	163,0	331,1	190,8	75,5	101,0
2.B.8. Producción petroquímica y de negro de humo	279,5	460,9	171,4	180,0	22,7	121,1	71,5
Total	563,1	953,1	334,5	511,1	213,4	196,6	172,4

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

Figura 4-11. 2.B. Industria química: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por subcategoría, serie 1990-2020



Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

4.3.3 Aspectos metodológicos de la categoría

Para la estimación de las emisiones de GEI de la categoría se aplicó el método Nivel 3 para la emisión de N₂O de la subcategoría *Producción de ácido nítrico* basado en los reportes al Mecanismo de desarrollo limpio (MDL) de la empresa Enaex. Para la subcategoría *Producción petroquímica y de negro de humo*, en la subcategoría *Metanol* se utilizó Nivel 2, considerando un balance de carbono entre el uso de gas natural y la producción de metanol. Para la subcategoría *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.)³³ no existe producción nacional representativa para el resto de las subcategorías.

³³ Recuperado de http://www.asiquim.com/nwebq/guia_quimica2014-16/empreyproduc/empreypro.html

En esta categoría presenta una categoría principal, la que corresponde a la 2.B.8. *Producción petroquímica y de negro de humo*, particularmente por la *producción de metanol*. En este inventario se logró avanzar a un método de nivel 2 de estimación, considerando datos levantados por el Ministerio de Energía de Chile y la única empresa productora del país. Con esto se cumple el requisito de categoría principal en cuenta a su estimación. Por otro lado, como se menciona anteriormente, se estima la categoría 2.B.2. *Producción de ácido nítrico* con un método de nivel 3, a pesar de no ser categoría principal. En la Tabla 4-21 se observa un resumen de los métodos aplicados por subcategoría y por tipo de GEI.

Tabla 4-21. 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, T2, NO	CS, NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
2.B.1. Producción de amoníaco	NO	NO										
2.B.2. Producción de ácido nítrico					T3, T2	CS						
2.B.3. Producción de ácido adípico					NO	NO						
2.B.4. Producción de caprolactama, glioxil y ácido glioxílico					NO	NO						
2.B.5. Producción de carburo	NO	NO	NO	NO								
2.B.6. Producción de dióxido de titanio	NO	NO										
2.B.7. Producción de ceniza de sosa	NO	NO										
2.B.8. Producción petroquímica y de negro de humo	T1, 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

4.3.4 Producción de amoníaco (2.B.1.)

Esta subcategoría no ocurre en el país.

4.3.5 Producción de ácido nítrico (2.B.2.)

4.3.5.1 Descripción de la subcategoría

El ácido nítrico se emplea en la industria química para la producción de nitratos metálicos, ácido sulfúrico, ácido arsénico y ácido nitroso, entre otros. Además, el ácido nítrico es utilizado para la fabricación de explosivos, fabricación de diversos colorantes y tinturas, productos farmacéuticos, para fotograbado en imprentas, en joyería y en la industria de la ingeniería. Durante la producción de ácido nítrico (HNO₃) 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 ha mantenido presentado mayormente un crecimiento, mientras que desde 2015 hasta el 2020 la producción ha decrecido continuamente. En Chile existe una única empresa que produce ácido nítrico.

4.3.5.2 Tendencia de las emisiones de GEI

La subcategoría *Producción ácido nítrico* es la primera subcategoría emisora dentro de la categoría *Industria química* representando el 59 % de sus emisiones de GEI. En 2020, las emisiones de GEI de esta subcategoría contabilizaron 101 kt CO₂ eq, disminuyendo en un 64 % desde 1990 y aumentando en un 34 % desde 2018 (Tabla 4-20 y Figura 4-11). El principal causante de la tendencia y las variaciones es la incorporación y funcionamiento de sistemas de abatimiento de N₂O a partir de 2008 y las variaciones en la producción.

4.3.5.3 Aspectos metodológicos de la subcategoría

Para la estimación de las emisiones de N₂O de la subcategoría *Producción de ácido nítrico* se aplicó para una parte el método Nivel 3 de las *Directrices del IPCC de 2006*, basado en el monitoreo continuo de las emisiones (MCE) y en datos de producción de la industria. Este monitoreo se lleva a cabo por los proyectos MDL³⁴ que luego son certificados por la CMNUCC para generar, con las reducciones, bonos de carbono (CERs).

Por otra parte, para los años y para la fracción de producción que no cuenta con el monitoreo continuo y en que no hay abatimiento, la estimación se basó en la ecuación de Nivel 2 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:

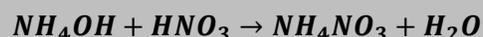
- Emisiones de N₂O: emisiones de la producción de ácido nítrico, kg de N₂O.
- EF: factor de emisión país específico, kg N₂O/toneladas de ácido nítrico producido.
- NAP: producción de ácido nítrico, toneladas.
- DF: factor de destrucción, fracción
- ASUFj: factor de utilización del sistema de reducción,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

4.3.5.3.1 Datos de actividad estadísticos y paramétricos

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. 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.

³⁴ <https://cdm.unfccc.int/Projects/projsearch.html>

Ecuación 4-7. 2.B.2. Producción de ácido nítrico: estequiométrica de la reacción para la producción de nitrato de amonio a partir de ácido nítrico



4.3.5.3.2 Factores de emisión

Enaex cuenta con dos proyectos MDL, “Panna 3” y “Panna 4”, para ambos se reportan, para períodos definidos de tiempo, toneladas de HNO₃ producido y sus emisiones de N₂O asociadas. Los registros se agrupan para consolidar emisiones anuales. Adicionalmente, en el proyecto MDL, se estima un factor de emisión histórico para utilizar como línea base. Este factor de emisión histórico es el que se utiliza para los años previos al 2008 y para la fracción de HNO₃ que se produce sin abatimiento y equivale a 8,63 kg N₂O/t HNO₃. De acuerdo con lo recomendado en las *Directrices del IPCC de 2006* el factor de emisión por defecto más alto correspondiente a plantas de alta presión (Cuadro 3.3; Capítulo 3; Volumen 3), es de 9 kg N₂O/t HNO₃, valor similar al nacional.

Utilizando la producción de HNO₃ y las emisiones de N₂O se pueden estimar factores de emisión equivalentes. En promedio equivale a 1,31 kg N₂O/t HNO₃ (sin considerar el año 2019 por la falla en el sistema de abatimiento), mientras que el valor por defecto recomendado por las *Directrices del IPCC del* (Cuadro 3.3; Capítulo 3; Volumen 3), es de 2,5 kg N₂O/t HNO₃ para plantas con proceso integrado y destrucción del gas al final del proceso.

Tabla 4-22. 2.B.2. Producción de ácido nítrico: factor de emisión equivalente (kg N₂O/t HNO₃), serie 2008-2020.

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

Nota: El valor en rojo corresponde a un factor obtenido con el sistema de abatimiento sin funcionar
Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

4.3.5.4 Incertidumbre

La incertidumbre combinada de la subcategoría es ±10,2 %. En general, no se cuenta con información nacional de la incertidumbre de los datos de actividad y los factores de emisión, por lo que consideraron las recomendadas por las *Directrices del IPCC de 2006* para datos medidos por las mismas industrias (Sección 3.3.2.2; Capítulo 3; Volumen 3). Destaca que a mayoría de la incertidumbre de asocia al factor de emisión, sin embargo, este es la incertidumbre más baja para

factores de emisión, esto considerando que la producción cuenta con sistemas de abatimiento. Un resumen de los resultados de la incertidumbre combinada se presenta en la Tabla 4-23.

Tabla 4-23. 2.B.2. Producción de ácido nítrico: incertidumbre combinada, 2020

Código IPCC	Categoría del IPCC	Gas	Incertidumbre en los datos de actividad		Incertidumbre en el factor de emisión		Incertidumbre combinada	
			(-)%	(+)%	(-)%	(+)%	(-)%	(+)%
2.B.2.	Producción de ácido nítrico	N ₂ O	2,0%	2,0%	10,0%	10,0%	10,2%	10,2%

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

Una explicación general de la estimación de la incertidumbre se encuentra en la sección 1.6. *Evaluación general de la incertidumbre* y el cuadro de cálculo, junto a los supuestos aplicados, en ANEXO 11.04.

4.3.5.5 Consistencia de la serie temporal

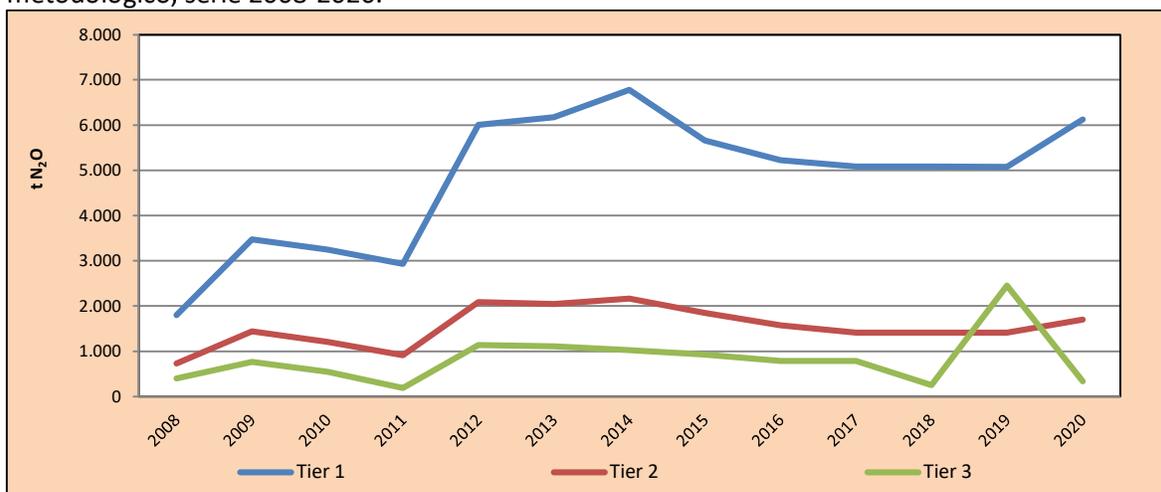
Para mantener la consistencia de la serie 1990-2020, al estimar las emisiones, tanto, de la fracción de ácido nítrico que se produce sin abatimiento, como de la fracción con abatimiento, se usó la misma fuente para el factor de emisión, vale decir los datos recopilados desde la misma empresa y sus proyectos MDL.

4.3.5.6 Procedimiento de garantía y control de la calidad y verificación

4.3.5.6.1 Verificación

Se compararon las emisiones estimadas mediante los distintos niveles, a partir de 2008. Como se aprecia en la Figura 4-12, la tendencia es similar para los Nivel 2 y Nivel 3, mientras que para el Nivel 1 la estimación es más alta debido a que no considera abatimiento. Cabe destacar los valores alcanzado por las emisiones en el año 2019, en donde el método de nivel 3 supera las emisiones de nivel 2. Esto se debe 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.

Figura 4-12. 2.B.2. Producción de ácido nítrico: comparación de emisiones de N₂O (t) por nivel metodológico, serie 2008-2020.



Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

4.3.5.7 Nuevos cálculos

No se realizaron Nuevos cálculos en esta subcategoría.

4.3.5.8 Plan de mejoramiento

No se consideraron mejoras para esta subcategoría.

4.3.6 Producción de ácido adípico (2.B.3.)

Esta subcategoría no ocurre en el país.

4.3.7 Producción de caprolactama glioxil y ácido glioxílico (2.B.4.)

Esta subcategoría no ocurre en el país.

4.3.8 Producción de carburo (2.B.5.)

Esta subcategoría no ocurre en el país.

4.3.9 Producción de dióxido de titanio (2.B.6.)

Esta subcategoría no ocurre en el país.

4.3.10 Producción de ceniza de sosa (2.B.7.)

Esta subcategoría no ocurre en el país.

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

4.3.11.1 Descripción de la subcategoría

La industria petroquímica utiliza combustibles fósiles o productos de refinerías de petróleo como alimentación a procesos. En Chile, la industria petroquímica incluye a la producción de metanol y la producción de etileno.

Entre 1990 y 2016, la producción petroquímica presenta un aumento y luego una disminución, atribuyéndose estas variaciones a la oferta de gas natural, principal insumo para la producción de metanol. Entre 2016 y 2020 vuelve a aumentar la producción de metanol por la misma causa, con un máximo en 2019, en donde se alcanzan niveles de producción similares a los máximos históricos (1997 – 2008). Con respecto al etileno, la producción se mantuvo constante hasta 2014 en que cerró la única planta productora de Chile, a cargo de ENAP (Memoria anual ENAP, 2014).

4.3.11.2 Tendencia de las emisiones de GEI

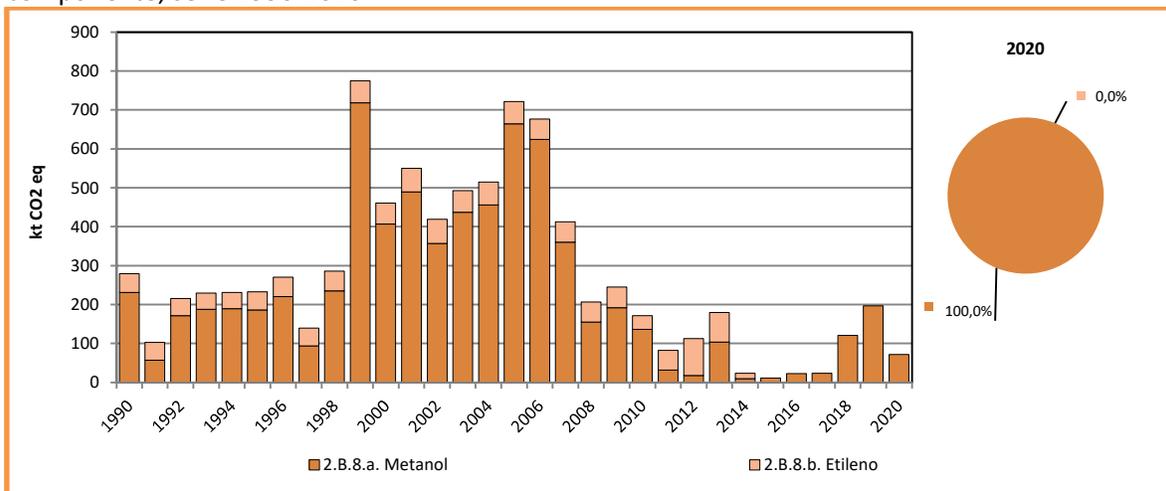
En 2020, las emisiones de GEI de esta subcategoría contabilizaron 71 kt CO₂ eq (representando el 41 % de las emisiones de GEI de la categoría), disminuyendo en un 74 % desde 1990 y en un 41 % desde 2018 (Tabla 4-20 y Figura 4-11). El principal causante de la tendencia y las variaciones interanuales es la producción de metanol, que representa el 100 % de las emisiones de la subcategoría al 2018 (Tabla 4-24 y Figura 4-13). Las variaciones interanuales observadas en la componente metanol se deben principalmente a la caída del abastecimiento de gas natural por parte de Argentina (*Reporte Anual de Methanex 2012*)³⁵ y posterior repunte a partir de 2016.

Tabla 4-24. 2.B.8. Producción petroquímica y de negro de humo: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por componente, serie 1990-2020

Componente	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020
2.B.8.a. Metanol	231,5	406,7	136,7	103,9	22,7	121,1	71,5
2.B.8.b. Etileno	48,0	54,1	34,7	76,1	NO	NO	NO
Total	279,5	460,9	171,4	180,0	22,7	121,1	71,5

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

Figura 4-13. 2.B.8. Producción petroquímica y de negro de humo: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por componente, serie 1990-2020



Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

³⁵ Recuperado de https://www.cmfchile.cl/documentos/hes/hes_2012030037842.pdf

4.3.11.3 Aspectos metodológicos de la subcategoría

Para la estimación de emisiones de la subcategoría *Producción petroquímica y de negro de humo* se aplicó el método nivel 2 y nivel 1, para las subcategorías *Metanol* y *Etileno* respectivamente, de las *Directrices del IPCC de 2006*. Estas estimaciones se basan, primero, en un balance de carbono entre el metanol producido y el gas natural utilizado en el proceso y, segundo, en la multiplicación de los datos de la actividad productiva de etileno por 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 estimación considera lo siguiente:

Ecuación 4-8. 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 Energía³⁶ (BNE), que elabora el Ministerio de Energía de Chile. Sin embargo, para la desagregación del uso del gas natural sólo se contó con algunos datos para los últimos años de la serie, por lo que la serie histórica se armó en base a un supuesto, considerando la información levantada en la mesa de trabajo formada con la única empresa productora de metanol.

Por otro lado, para la estimación de emisiones de CH₄ debido a la producción de metanol se aplicó el método de Nivel 1 de las *Directrices del IPCC de 2006*. Ante la falta de información desagregada, se consideran las emisiones en su totalidad, usando un único factor de emisión por defecto de acuerdo con las recomendaciones de las *Directrices del IPCC de 2006* (Sección 3.9.2.2.; Capítulo 3; Volumen 3). Lo anterior se representa en la ecuación siguiente:

Ecuación 4-9. 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.

³⁶ <http://energiaabierta.cl/visualizaciones/balance-de-energia/>

- 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:

Ecuación 4-10. 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 4-11. 2.B.8. Producción petroquímica y de negro de humo: estimación de emisiones de CH₄ de la producción de etileno (Nivel 1)

$$Emisiones\ de\ CH_4 = FE_{CH_4} \cdot PE$$

Fuente: Ecuaciones 3.23 y 3.24, y Sección 3.9.2.2; Capítulo 3; Volumen 3; *Directrices del IPCC de 2006*

Donde:

- Emisiones de CH₄: emisiones de CH₄ de la producción de etileno, toneladas.
- FE_{CH₄}: factor de emisión de CH₄ para la producción de etileno, toneladas de CH₄/toneladas de etileno producido.
- PE: producción de etileno, toneladas.

4.3.11.3.1 Datos de actividad estadísticos y paramétricos

Los datos de actividad de la producción de metanol y de etileno fueron obtenidos 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 fueron los siguientes:

Tabla 4-25. 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 Verdes³⁷, 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 en el proceso de producción de metanol. En el BNE se cuenta con información sobre la producción total de metanol, que proviene de una única empresa productora, y del gas consumido por esta misma. Para conocer realizar el balance de carbono se necesita conocer cuanto carbono entra al proceso, que en este caso puede tener dos fuentes, una proveniente del gas natural de entrada y dos, de una retroalimentación del carbono de salida de este u otros procesos que liberen CO₂, para este inventario se consideró el carbono para la producción de metanol viene únicamente del gas natural de entrada. Respecto del gas natural de la empresa, este tiene dos usos solamente, los que son la producción de metanol y su uso en procesos energéticos en la misma empresa.

Para asignar la cantidad de gas natural para 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. Considerando lo anterior se elaboró una serie de tiempo para los años 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 diferencia (desde el 2013) 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. La Tabla 4-26 muestra la serie de tiempo construida para la subcategoría.

Tabla 4-26. 2.B.8. Producción petroquímica y de negro de humo: datos de actividad, serie 1990-2020

Año	Metanol (Tcal)	GN para metanol (Tcal)	GN para otros procesos (Tcal)	Etileno (Tcal)
1990	4.623	7.561	840	483
1991	3.751	5.406	601	461
1992	4.547	7.124	792	438
1993	4.368	6.972	775	416

³⁷ https://vu.mma.gob.cl/manuals/impuestoverde/MANUAL_REGISTRO_DE_CALDERAS_Y_TURBINAS_MMA.pdf

Año	Metanol (Tcal)	GN para metanol (Tcal)	GN para otros procesos (Tcal)	Etileno (Tcal)
1994	4.731	7.471	830	425
1995	4.552	7.211	801	467
1996	4.617	7.493	833	502
1997	8.850	12.527	874	456
1998	9.202	13.794	1.533	507
1999	12.499	20.957	2.329	564
2000	15.761	23.644	2.627	544
2001	15.070	23.165	2.574	610
2002	15.871	23.516	2.613	628
2003	14.631	22.282	2.476	558
2004	14.572	22.307	2.479	588
2005	16.394	25.939	2.882	573
2006	17.224	26.840	2.982	532
2007	9.967	15.528	1.725	522
2008	5.888	8.852	984	514
2009	5.098	7.985	887	532
2010	5.064	7.630	848	349
2011	2.998	4.244	1.183	511
2012	1.698	2.404	993	952
2013	1.103	2.076	246	765
2014	895	1.267	825	140
2015	1.104	1.563	630	-
2016	2.136	3.024	1.291	-
2017	2.241	3.172	1.072	-
2018	3.311	5.165	1.315	-
2019	5.684	8.808	1.922	-
2020	4.547	6.566	1.496	-

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

4.3.11.3.2 Factores de emisión

Para la producción de metanol solo se utilizó un factor de emisión para CH₄, ya que el CO₂ proviene de un balance de carbono. El factor de emisión utilizado para CH₄ fue de 2,3 kg de CH₄ por tonelada de metanol (Sección 3.9.2.2.; Capítulo 3; Volumen 3; Directrices del IPCC de 2006).

Los factores de emisión para la producción de etileno dependen del tipo de proceso. Para seleccionar los factores, se consideró un proceso de escisión al vapor, siendo el etano la sustancia de alimentación, de acuerdo con lo recomendado por las *Directrices del IPCC de 2006* (Cuadro 3.11; Capítulo 3; Volumen 3) cuando no se cuenta con información adicional (Tabla 4-27).

Tabla 4-27. 2.B.8. Producción petroquímica y de negro de humo: Factores de emisión para la componente Etileno

Factor	Valor	Unidad
(*) Factor de emisión de CO ₂	0,95	t CO ₂ /t etileno
(**) Factor de emisión de CH ₄	6,00	kg CH ₄ /t etileno
(***) Factor de ajuste geográfico	110,0%	

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA con base en (*) Cuadro 3.14; Capítulo 3; Volumen 3; *Directrices del IPCC de 2006* (**) Cuadro 3.16; Capítulo 3; Volumen 3; *Directrices del IPCC de 2006* (***) Cuadro 3.15; Capítulo 3; Volumen 3; *Directrices del IPCC de 2006*.

4.3.11.4 Incertidumbre

La incertidumbre combinada de la subcategoría es de $\pm 42,4\%$. Para todas las incertidumbres se consideraron las recomendaciones de las *Directrices del IPCC de 2006* (Cuadro 3.27; Capítulo 3; Volumen 3). Destaca que tanto los datos de actividad como los factores de emisión cuentan con la misma incertidumbre. Un resumen de los resultados de la incertidumbre combinada por componente se presenta en la Tabla 4-28, la incertidumbre por la producción de etileno no se presenta, ya que no se cuenta con producción en 2020.

Tabla 4-28. 2.B.8. Producción petroquímica y de negro de humo: incertidumbre combinada, 2020

Código IPCC	Categoría del IPCC	Gas	Incertidumbre en los datos de actividad		Incertidumbre en el factor de emisión		Incertidumbre combinada	
			(-)%	(+)%	(-)%	(+)%	(-)%	(+)%
2.B.8.a.	Metanol	CH ₄	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

Una explicación general de la estimación de la incertidumbre se encuentra en la sección 1.6. *Evaluación general de la incertidumbre* y el cuadro de cálculo, junto a los supuestos aplicados, en ANEXO 11.04.

4.3.11.5 Consistencia de la serie temporal

Para mantener la consistencia de la serie 1990-2020 se usaron los mismos factores de emisión y la misma fuente de datos de actividad, tanto estadísticos como paramétricos, tal como se describe en la sección 4.3.11.3.1.

4.3.11.6 Verificación

Como proceso de verificación se realizó un balance de carbonos de acuerdo con mínimo de carbono requerido para la elaboración. Esto dio cuenta de algunas inconsistencias en la información de entrada del inventario, particularmente del BNE. Esto fue conversado con el equipo técnico del sector Energía y subsanado.

4.3.11.7 Nuevos cálculos

4.3.11.7.1 Justificaciones de los nuevos cálculos y mejoras

En esta actualización se avanzó a un método de estimación de nivel 2 para el caso de la producción de metanol. Utilizando la mejor información disponible y la información levantada en mesa de trabajo conformada con la única empresa productora de metanol en el país fue posible elaborar supuestos para la elaboración de una serie temporal consistente para este método. El avance en el método de estimación brinda información más certera sobre las emisiones ocurridas en el país y, como habitualmente sucede, trae consigo una disminución en las emisiones.

4.3.11.7.2 Implicaciones para los niveles de emisión

Al utilizar un método de nivel 2 es posible distinguir cambios sustantivos en el nivel de emisiones de esta subcategoría. La disminución de emisiones se da a lo largo de toda la serie temporal y alcanza sus máximos cuando la producción de metanol es máxima. Si bien la utilización del método de

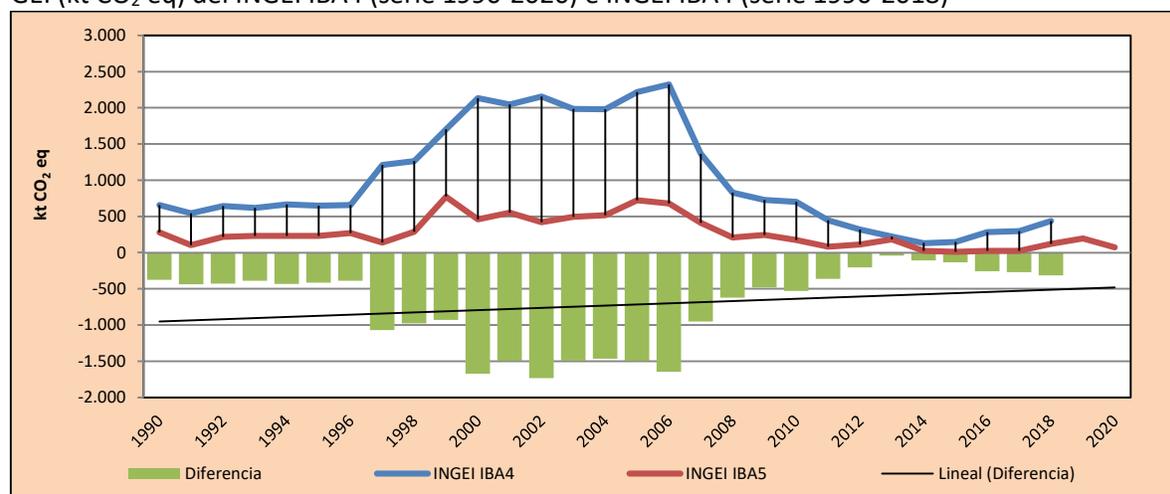
estimación de nivel 2 fue posible gracias a supuestos en la elaboración del inventario, estos fueron hechos en base a la mejor información disponible. La Tabla 4-29 y Figura 4-14 resumen los resultados de este avance en el método de estimación. Cabe destacar que las emisiones que no sean correctamente reflejadas en esta categoría sí verán reflejadas en el sector *Energía*.

Tabla 4-29. 2.B.8. Producción petroquímica y de negro de humo: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI IBA5 (serie 1990-2020) e INGEI IBA4 (serie 1990-2018)

INGEI	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020
INGEI IBA4	657,5	2.132,0	702,3	221,5	281,6	436,5	-
INGEI IBA5	279,5	460,9	171,4	180,0	22,7	121,1	71,5
Diferencia	-378,0	-1.671,1	-530,8	-41,5	-258,9	-315,4	-
Diferencia %	-135,2%	-362,6%	-309,6%	-23,1%	-1141,1%	-260,4%	-

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

Figura 4-14. 2.B.8. Producción petroquímica y de negro de humo: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI IBA4 (serie 1990-2020) e INGEI IBA4 (serie 1990-2018)



Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

4.3.11.8 Plan de mejoramiento

En respuesta al análisis propio del Equipo Técnico de IPPU y a las recomendaciones de la revisión experta del INGEI de Chile, las mejoras planificadas del sector son las siguientes:

- Buscar algún indicador que sirva para 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*.

4.3.12 Producción fluorquímica (2.B.9.)

Esta subcategoría no ocurre en el país.

4.3.13 Otros (2.B.10.)

Esta subcategoría no ocurre en el país.

4.4 Industria de los metales (2.C.)

4.4.1 Descripción de la categoría

La categoría *Industria de los metales* incluye las emisiones de GEI relacionadas que resultan de la producción de metales. Las subcategorías asociadas son las siguientes:

- 2.C.1. Producción de hierro y acero
- 2.C.2. Producción de ferroaleaciones
- 2.C.3. Producción de aluminio
- 2.C.4. Producción de magnesio
- 2.C.5. Producción de plomo
- 2.C.6. Producción de cinc

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

- Producción de hierro y acero
- Producción de ferroaleaciones
- Producción de plomo (reciclaje de baterías)

4.4.2 Tendencia de las emisiones de GEI

La categoría *Industria de los metales* es la tercera categoría emisora de GEI del sector IPPU (6 %). En 2020, sus emisiones de GEI contabilizaron 442 kt CO₂ eq, aumentando en un 2 % desde 1990 y disminuyendo en un 15 % desde 2018. El principal causante de la tendencia y las variaciones interanuales es la industria del acero. Esta presenta variabilidad debido a que la producción depende de los mercados³⁸ y además por 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 4-30 y Figura 4-15).

Respecto a las subcategorías (Figura 4-15), la *Producción de hierro y acero* es la de mayor relevancia con el 99 % de las emisiones de GEI y el resto corresponde a la *Producción de plomo*. A partir de 2002 se dejaron de producir ferroaleaciones en el país por lo que desde ese año las emisiones no ocurren.

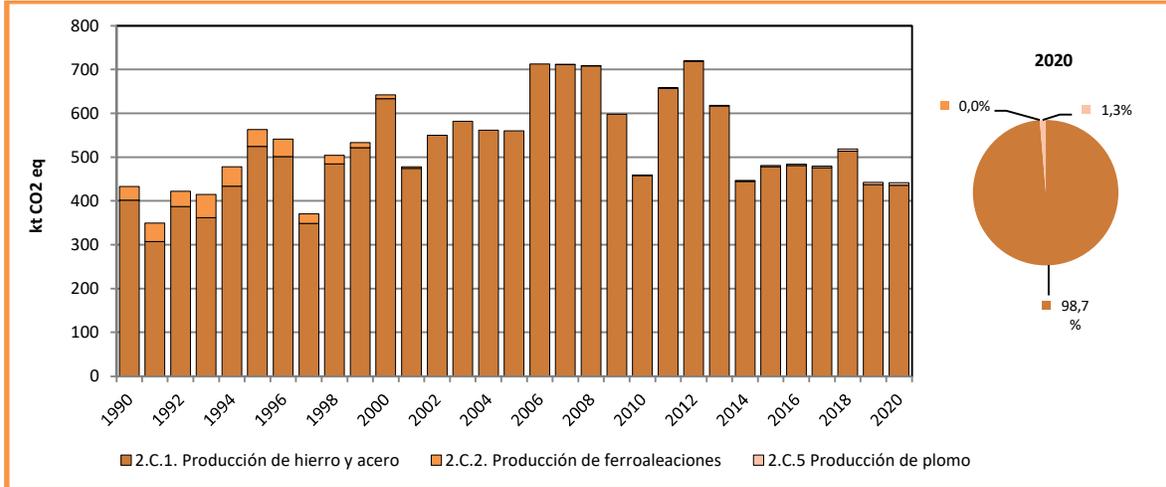
Tabla 4-30. 2.C. Industria de los metales: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por subcategoría, serie 1990-2020

Subcategoría	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020
2.C.1. Producción de hierro y acero	401,6	634,4	457,0	616,5	481,0	513,7	435,8
2.C.2. Producción de ferroaleaciones	31,7	8,5	NO	NO	NO	NO	NO
2.C.5 Producción de plomo	NO	NO	1,4	1,8	3,6	5,4	6,4
Total	433,3	641,9	459,3	618,3	484,6	519,2	442,2

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

³⁸ https://www.cochilco.cl/Mercado de Metales/Mercado internacional del hierro y el acero_VF.pdf

Figura 4-15. 2.C. Industria de los metales: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por subcategoría, serie 1990-2020



Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

4.4.3 Aspectos metodológicos de la categoría

Para la estimación de las emisiones de GEI de la categoría se utilizaron los métodos de Nivel 1 y 2, usando datos de actividades país específicos desagregados y factores de emisión por defecto de acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006*. Según lo conversado con la Asociación Chilena de Industrias metalúrgicas y metalmecánicas (ASIMET), no se registran actividades para el resto de las subcategorías. A partir de 2002, la producción de ferroatleaciones 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 ferrocromo³⁹. Adicionalmente desde 2007 se comienzan a reciclar baterías de plomo en el país, por lo que aparecen emisiones en la subcategoría *Producción de plomo*. En esta categoría no se cuenta con categorías principales, sin embargo, tanto la subcategoría 2.C.1. *Producción de hierro y acero* y 2.C.5. *Producción de plomo* son estimadas con un método nivel 2, debido a la disponibilidad de información para ambas actividades productoras. En la Tabla 4-31 se observa un resumen de los métodos aplicados por subcategoría y por tipo de GEI. Las emisiones de CH₄ de hierro y acero por la producción de coque se reportan en el sector Energía en *Hierro y acero* (1.A.2.a.).

Tabla 4-31. 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 ferroatleaciones	T1	D	NO	NO								
2.C.3. Producción de aluminio	NO	NO							NO	NO		

³⁹ [http://www.molymet.cl/en/Inversionistas/Memorias/MO MEM_2006.pdf](http://www.molymet.cl/en/Inversionistas/Memorias/MO_MEM_2006.pdf)

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.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

Para todas las subcategorías de la categoría *Industria de los metales* se utilizaron planillas Excel para llevar a cabo las estimaciones.

4.4.4 Producción de hierro y acero (2.C.1.)

4.4.4.1 Descripción de la subcategoría

El hierro es el metal más producido en tonelaje, acaparando un 95 % de la producción mundial de todos los metales. Tiene grandes aplicaciones en productos siderúrgicos, utilizándolo como elemento matriz para alojar otros elementos de aleación, tanto metálicos como no metálicos, que confieren distintas propiedades al material.

Entre 1990 y 2020, la producción de hierro en Chile se no sufrido cambios sustantivos, solo variaciones interanuales que provienen principalmente por la demanda para la producción de acero. Por su parte, la producción de acero, que se realiza mediante hornos básicos de oxígeno (BOF, por sus siglas en inglés) y hornos de acero eléctrico (EAF, por sus siglas en inglés), se mantuvo en alza hasta el 2007, en donde comienza con un periodo de inestabilidad hacia la baja. Esta situación se condice con el estancamiento y debilitamiento del consumo de acero a nivel internacional presentado desde 2013⁴⁰. Adicionalmente el terremoto ocurrido en 2010 produjo una disminución importante en la producción de acero durante ese año, la que luego se recuperó rápidamente por el posterior periodo de reconstrucción.

4.4.4.2 Tendencia de las emisiones de GEI

En 2020, las emisiones de GEI de esta subcategoría contabilizaron 436 kt CO₂ eq aumentando en un 8.5 % desde 1990 y disminuyendo en un 15 % desde 2018 (Tabla 4-30 y Figura 4-15). El principal causante de la tendencia y las variaciones interanuales son las emisiones asociadas a la producción de acero de BOF, que alcanza un 91 % de las emisiones de GEI totales de la subcategoría en 2020 (Tabla 4-32 y Figura 4-16). Es importante mencionar que el 2010 hay una disminución de las emisiones producto de las dificultades de la industria ubicadas en el sur del país luego del terremoto ocurrido en febrero de ese año, efecto que se suma a la crisis internacional. Adicionalmente desde

40

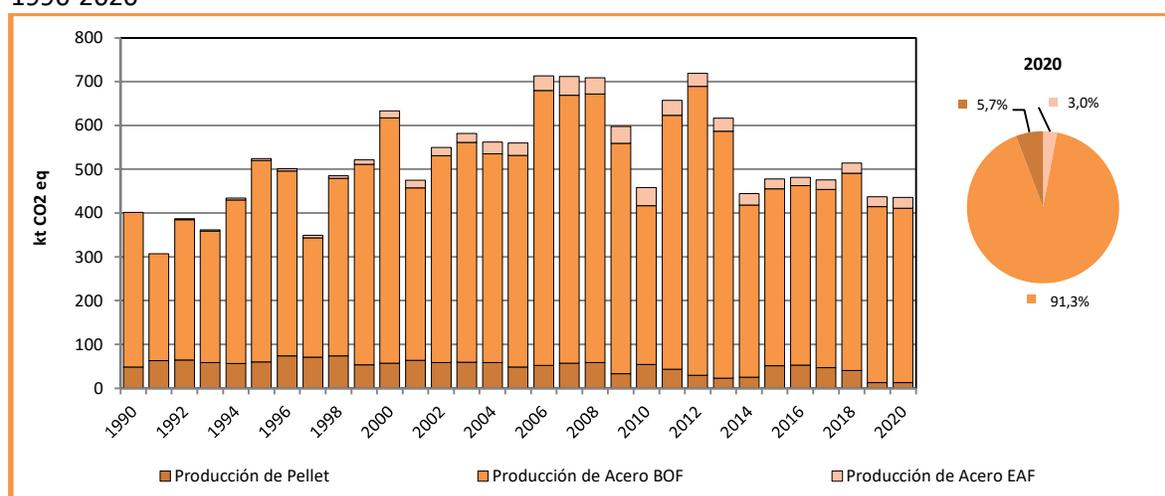
2013 se detiene la producción de aceros planos, y se enfoca únicamente en aceros largos disminuyendo significativamente la producción⁴¹.

Tabla 4-32. 2.C.1. Producción de hierro y acero: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por componente, serie 1990-2020

Componente	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020
Producción de Pellet	48,3	57,4	54,6	23,4	52,5	40,7	13,1
Producción de Acero BOF	353,3	560,0	361,8	563,1	409,7	450,4	397,8
Producción de Acero EAF	0,0	17,0	40,6	30,0	18,8	22,6	24,9
Total	401,6	633,3	457,9	616,5	481,0	513,7	435,8

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

Figura 4-16. 2.C.1. Producción de hierro y acero: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por componente, serie 1990-2020



Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

4.4.4.3 Aspectos metodológicos de la subcategoría

Para la estimación de emisiones de la subcategoría *Producción de hierro y acero* se aplicó el método Nivel 2 de las *Directrices del IPCC de 2006*, 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:

41

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)

$$E_{CO_2} = \left[PC * C_{PC} + \sum_a (COB_a * C_a) + CI * C_{CI} + L * C_L + D * C_D + CE * C_{CE} + \sum_b (O_b * C_b) + COG * C_{COG} - S * C_S - IP * C_{IP} - BG * C_{BG} \right] * \frac{44}{12}$$

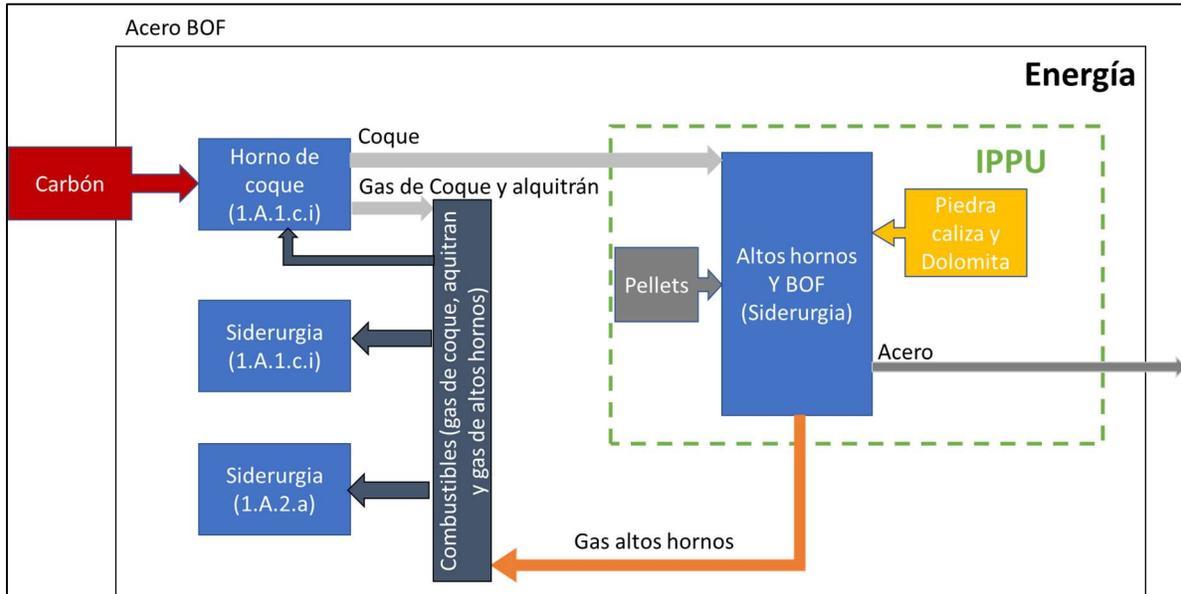
Fuente: Ecuación 4.9; Capítulo 4; Volumen 3; Directrices del IPCC de 2006

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

4.4.4.3.1 Datos de actividad estadísticos y paramétricos

Los datos de consumo y producción de hierro y acero BOF se obtuvieron por parte de la empresa Compañía de Acero del Pacífico (CAP) para toda la serie temporal. Los datos de consumo y producción de acero EAF fueron entregados por Aza, a partir de 1995. Dado que se tiene conocimiento de que la producción de acero EAF de Aza comenzó en 1992⁴², 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 11.06.

4.4.4.3.2 Factores de emisión

El método de Nivel 2 no considera factores de emisión, puesto que es un balance de masa del carbono entre las materias primas y los productos de salida.

4.4.4.4 Incertidumbre

La incertidumbre combinada de la subcategoría es de $\pm 14,1\%$. En general no se cuenta con información nacional de la incertidumbre de los datos de actividad y paramétricos, por lo que consideraron las recomendadas en las *Directrices del IPCC de 2006* (Sección 4.2.3.; Capítulo 4; Volumen 3). Para esta subcategoría se tiene que ambas fuentes de información, datos de actividad y factores de emisión, tienen la misma importancia en cuanto a la incertidumbre, sin embargo, la falta de factores específicos en el porcentaje de carbono debería incrementar la incertidumbre

⁴² Recuperado de <http://www.cochilco.cl/estudios/info-hierro.asp>

asociada a los factores de emisión. Un resumen de los resultados de la incertidumbre combinada se presenta en la Tabla 4-33.

Tabla 4-33. 2.C.1. Producción de hierro y acero: incertidumbre combinada, 2020

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%

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA con base en Cuadro 4.4; Capítulo 4; Volumen 3; *Directrices del IPCC 2006*

Una explicación general de la estimación de la incertidumbre se encuentra en la sección 1.6. *Evaluación general de la incertidumbre* y el cuadro de cálculo, junto a los supuestos aplicados, en ANEXO 11.04.

4.4.4.5 Consistencia de la serie temporal

Para mantener la consistencia de la serie 1990-2020 se usó la misma fuente de datos de actividad tanto estadísticos como paramétricos. Los datos de producción entregados por las empresas son consistentes para toda la serie salvo para 1992 al 1994 en el caso de la producción de acero EAF. El vacío de datos fue arreglado por medio de una extrapolación exponencial de los datos de producción EAF con base en los datos de 1995 a 2007.

4.4.4.6 Procedimiento de garantía y control de la calidad y verificación

4.4.4.6.1 Verificación

No se realizaron procesos de verificación.

4.4.4.7 Nuevos cálculos

4.4.4.7.1 Justificaciones de los nuevos cálculos y mejoras

Se actualizaron los datos de la serie temporal en base a la nueva información, en este caso se ajustaron los valores de carbono inyectado en el proceso de fabricación de acero EAF. Estos cambios se realizaron en los años 1992 – 2010, en donde no se cuenta con datos.

4.4.4.7.2 Implicaciones para los niveles de emisión

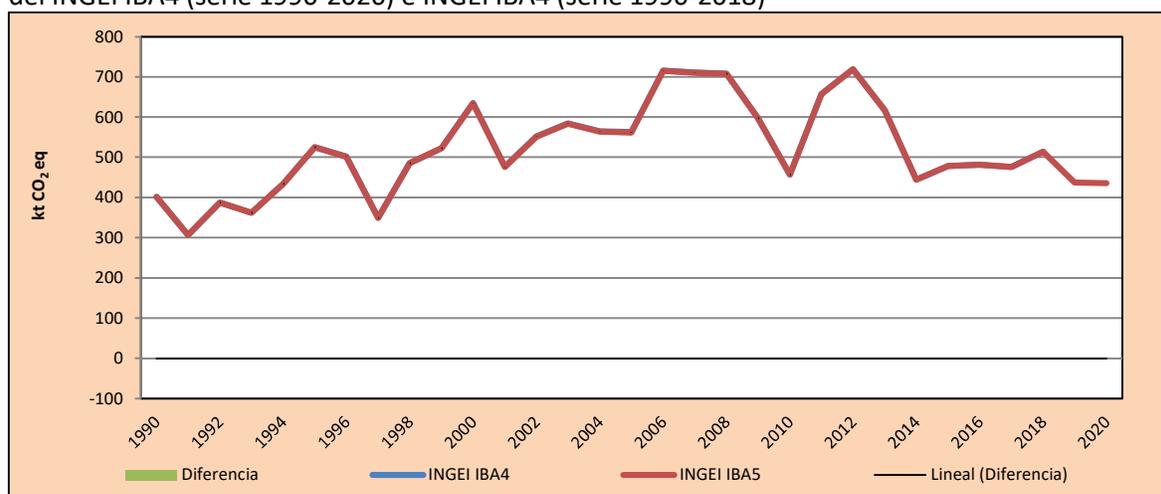
En la Tabla 4-34 y la Figura 4-18 se observa cómo variaron las emisiones de GEI de la subcategoría respecto al inventario anterior (INGEI IBA4). Como se menciona anteriormente, las emisiones cambian solo por el ajuste de los carbonos inyectados, y estos cambios solo se dan entre los años 1992 – 2010.

Tabla 4-34. 2.C.1. Producción de hierro y acero: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI IBA5 (serie 1990-2020) e INGEI IBA4 (serie 1990-2018)

INGEI	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020
INGEI IBA4	401,6	634,8	457,1	616,5	481,0	513,7	-
INGEI IBA5	401,6	634,4	457,0	616,5	481,0	513,7	435,8
Diferencia	-	-0,5	-0,1	-	-	-	-
Diferencia %	0,0%	-0,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	-

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

Figura 4-18. 2.C.1. Producción de hierro y acero: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI IBA4 (serie 1990-2020) e INGEI IBA4 (serie 1990-2018)



Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

4.4.4.8 Plan de mejoramiento

No se consideraron mejoras para esta subcategoría.

4.4.5 Producción de ferroaleaciones (2.C.2.)

4.4.5.1 Descripción de la subcategoría

En Chile se han producido cuatro tipos de ferroaleaciones que generan emisiones de GEI: ferrocromo, ferromanganeso, ferrosilicomanganeso y ferrosilicon. Sin embargo, todas se dejaron de producir, el ferrosilicon dejó de producirse en 2000, el ferrosilicomanganeso en 2001, el ferrocromo en 1998 y el ferromanganeso en 2002. Adicionalmente en Chile se produce en grandes cantidades ferromolibdeno, sin embargo, su elaboración no genera emisiones de GEI.

4.4.5.2 Aspectos metodológicos de la subcategoría

Para la estimación de emisiones de la subcategoría *Producción de ferroaleaciones* se utilizó un método de Nivel 1 de acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006*, basado en la producción de cada tipo de ferroaleación y la aplicación de un factor de emisión por defecto correspondiente. En el caso nacional, se considera la producción de ferrocromo, ferrosilicomanganeso, ferromanganeso y ferrosilicon, siendo la producción de este último única emisora de CH₄. Lo anterior queda representado por las ecuaciones siguientes:

Ecuación 4-13. 2.C.2. Producción de ferroaleaciones: estimación de emisiones de CO₂ 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 CH₄ de la producción de ferrosilicon (Nivel 1)

$$\text{Emisiones de CH}_4 = MF \cdot FE_{\text{CH}_4}$$

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.

4.4.5.2.1 Datos de actividad estadísticos y paramétricos

Las estadísticas nacionales de producción de ferroaleaciones se obtuvieron del *U.S. Geological Survey: The Mineral Industry of Chile – 1994 to 2015*⁴³ datos que detallan la producción por tipo de ferroaleación (Tabla 4-35). 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.

Tabla 4-35. 2.C.2. Producción de ferroaleaciones: datos de actividad (t), serie 1990-2020

Año	Ferrocromo (t)	Ferromanganeso (t)	Ferrosilicomanganeso (t)	Ferrosilicon 90% Si (t)
1990	1.870,0	3.590,0	985,0	4.660,0
1991	2.509,0	6.779,0	1.674,0	5.516,0
1992	2.110,0	7.460,0	1.564,0	3.830,0
1993	680,0	8.916,0	1.612,0	7.550,0
1994	1.579,0	9.646,0	995,0	5.504,0
1995	2.730,0	7.987,0	1.617,0	4.279,0
1996	2.079,0	8.498,0	1.599,0	4.650,0
1997	2.000,0	5.517,0	3.175,0	1.294,0
1998	2.000,0	3.652,0	3.921,0	1.159,0
1999	0,0	2.833,0	2.048,0	1.000,0
2000	0,0	4.011,0	1.800,0	0,0
2001	0,0	2.213,0	0,0	0,0
2002 - 2020	0,0	0,0	0,0	0,0

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA con base en USGS

⁴³ Recuperado de <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/country/sa.html#ci>

4.4.5.2.2 Factores de emisión

Los factores de emisión para el CO₂ y CH₄ dependen del tipo de ferroaleación producida. Ante la falta de factores de emisión país específico, se aplicó el factor de emisión por defecto de las *Directrices del IPCC de 2006* los que se indican en la Tabla 4-36.

Tabla 4-36. 2.C.2. Producción de ferroaleaciones: factores de emisión, por tipo de producto y tipo de GEI

Producción	Factor de emisión	Unidad
Ferrocromo	1,3	(t CO ₂ /t producción)
Ferromanganeso (1% C)	1,5	(t CO ₂ /t producción)
Ferrosilicomanganeso	1,4	(t CO ₂ /t producción)
Ferrosilicon 90% Si	4,8	(t CO ₂ /t producción)
Ferrosilicon 90% Si (*)	1,1	(kg CH ₄ /t producción)

Fuente: Cuadro 4.5; Capítulo 4; Volumen 3; *Directrices del IPCC de 2006*; (*) Cuadro 4.7; Capítulo 4; Volumen 3; *Directrices del IPCC de 2006*

4.4.5.3 Consistencia de la serie temporal

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

4.4.5.4 Procedimiento de garantía y control de la calidad y verificación

4.4.5.4.1 Verificación

Al no haber cambios en la estimación, no se realizó ningún proceso de verificación.

4.4.5.5 Nuevos cálculos

No se realizaron nuevos cálculos en esta subcategoría.

4.4.5.6 Plan de mejoramiento

En respuesta al análisis propio del Equipo Técnico de IPPU y a las recomendaciones de la revisión experta del INGEI de Chile, las mejoras planificadas del sector son las siguientes:

- Corroborar con datos de aduana empresas importadoras y su actividad.

4.4.6 Producción de aluminio (2.C.3.)

Esta subcategoría no ocurre en el país.

4.4.7 Producción de magnesio (2.C.4.)

Esta subcategoría no ocurre en el país.

4.4.8 Producción de plomo (2.C.5.)

4.4.8.1 Descripción de la subcategoría

Existen dos formas de obtener plomo, una es la producción primaria a partir de concentrados de plomo y otra es la producción secundaria a partir de plomo reciclado.

La producción secundaria de plomo refinado consiste en el procesamiento del plomo reciclado con el fin de prepararlo para su reutilización. La gran mayoría de este plomo reciclado proviene de la chatarra de plomo de las baterías ácidas. Las baterías ácidas de plomo, ya sea se trituran con molino de martillo y se introducen en el proceso de fundición con o sin 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 hornos utilizados para fundir baterías o chatarra de plomo reciclado generan diferentes niveles de emisiones de CO₂ a partir del uso de diferentes tipos y cantidades de agentes reductores. Los agentes reductores primarios son el carbón, el gas natural y el coque metalúrgico, aunque el horno de resistencia eléctrica emplea coque de petróleo.

En Chile, desde 2007 ocurre producción secundaria de plomo, centrada en una sola planta recicladora de acuerdo con información levantada en el contexto de la ley de Responsabilidad extendida al productor (REP), en que se incluyen las baterías ácidas de plomo. Su producción ha sido creciente en el tiempo y se espera que siga aumentando y se sumen nuevos actores por la ley REP.

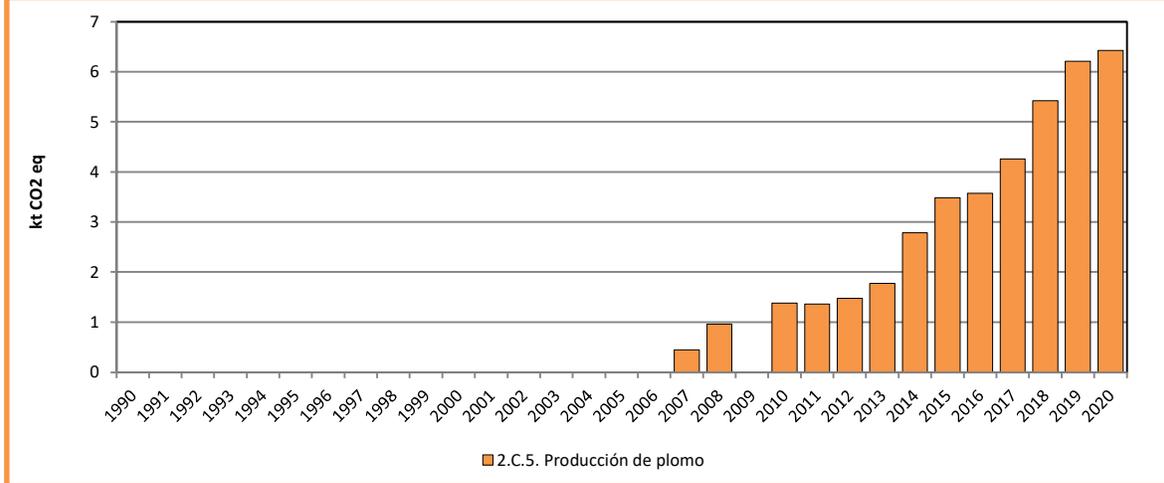
4.4.8.2 Tendencia de las emisiones de GEI

En 2020, las emisiones de GEI de esta subcategoría contabilizaron 6,4 kt CO₂ eq aumentando en un 18 % desde 2018 (Tabla 4-37 y Figura 4-19). La tendencia de las emisiones de esta subcategoría responde 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 4-37. 2.C.5. Producción de plomo: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por componente, serie 1990-2020

	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020
2.C.5. Producción de plomo	NO	NO	1,4	1,8	3,6	5,4	6,4
Total	NO	NO	1,4	1,8	3,6	5,4	6,4

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

Figura 4-19. 2.C.5. Producción de plomo: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por componente, serie 1990-2020

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

4.4.8.3 Aspectos metodológicos de la subcategoría

Para la estimación de emisiones de la subcategoría *Producción de plomo* se utilizó un método de Nivel 2 de acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006*, basado en la materia prima utilizada en el 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)

$$\text{Emisiones de CO}_2 = \left[\sum_i AR_i \cdot C_i \right] * 44/12$$

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*.

4.4.8.3.1 Datos de actividad estadísticos y paramétricos

Los datos de actividad fueron reportados directamente por la única empresa productora, entregando niveles de actividad para todas las materias primas utilizadas entre 2007 y 2020. Estas incluyen agentes reductores y neutralizantes de ácido. Por confidencialidad estos datos no serán reportados.

4.4.8.3.2 Factores de emisión

Los contenidos de carbono de los agentes reductores fueron reportados directamente por la empresa productora. Por confidencialidad estos datos no serán reportados. El contenido de carbono del neutralizador de ácido se estima teóricamente por estequiometría.

4.4.8.4 Incertidumbre

La incertidumbre combinada de la subcategoría es de $\pm 18\%$. En general, no se cuenta con información nacional de la incertidumbre de los datos de actividad y los factores de emisión, por lo que consideraron las recomendadas por las *Directrices del IPCC de 2006* (Table 4.23; Capítulo 5; Volumen 3). En este caso la mayor incertidumbre se asocia a los factores de emisión, sin embargo, ambas incertidumbres son similares. Un resumen de los resultados de la incertidumbre combinada se presenta en la Tabla 4-38.

Tabla 4-38. 2.C.5. Uso de lubricantes: resumen de la incertidumbre combinada, 2020

Código IPCC	Categoría del IPCC	Gas	Incertidumbre en los datos de actividad		Incertidumbre en el factor de emisión		Incertidumbre combinada	
			(-)%	(+)%	(-)%	(+)%	(-)%	(+)%
2.C.5.	Producción de plomo	CO ₂	10,0%	10,0%	15,0%	15,0%	18,0%	18,0%

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

Una explicación general de la estimación de la incertidumbre se encuentra en la sección 1.6. *Evaluación general de la incertidumbre* y el cuadro de cálculo, junto a los supuestos aplicados, en ANEXO 11.04.

4.4.8.5 Consistencia de la serie temporal

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

4.4.8.6 Procedimiento de garantía y control de la calidad y verificación

4.4.8.6.1 Verificación

No se realizaron procesos de verificación.

4.4.8.7 Nuevos cálculos

No se realizaron nuevos cálculos en esta categoría.

4.4.8.8 Plan de mejoramiento

En respuesta al análisis propio del Equipo Técnico de IPPU y a las recomendaciones de la revisión experta del INGEI de Chile, las mejoras planificadas del sector son las siguientes:

- Verificar la existencia de nuevas empresas que reciclen baterías.

4.4.9 Producción de cinc (2.C.6.)

Esta subcategoría no ocurre en el país.

4.4.10 Otros (2.C.7.)

Esta subcategoría no ocurre en el país.

4.5 Uso de productos no energéticos de combustibles y de solventes (2.D.)

4.5.1 Descripción de la categoría

La categoría *Uso de productos no energéticos de combustible y de solventes* incluye las emisiones de GEI generadas por los primeros usos de los combustibles fósiles como productos con fines primarios, excepto: i) la combustión con fines energéticos, y ii) el uso como sustancia de alimentación a procesos o como agente reductor. Las subcategorías asociadas son las siguientes:

- 2.D.1. *Uso de lubricantes.*
- 2.D.2. *Uso de cera de parafina.*
- 2.D.3. *Uso de solventes.*

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

- Lubricantes, y
- Ceras.

4.5.2 Tendencia de las emisiones de GEI

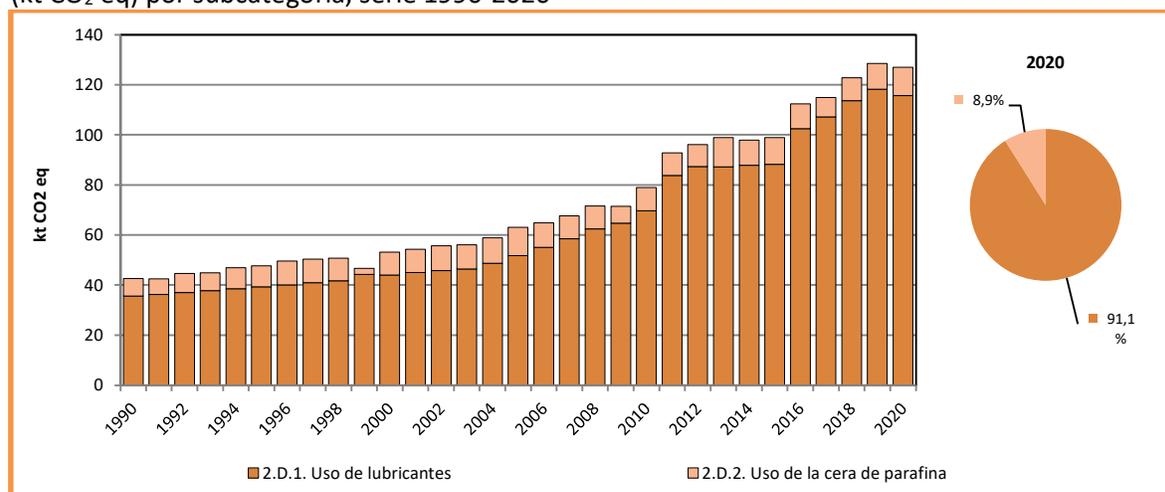
La categoría *Uso de productos no energéticos de combustible* es la menor categoría emisora de GEI del sector IPPU (1,8 %). En 2020, sus emisiones de GEI contabilizaron 127 kt CO₂ eq, incrementándose en un 198 % desde 1990 y en un 3,4 % desde 2018. El principal causante de la tendencia y las variaciones interanuales es la demanda de lubricantes y, por consiguiente, la importación y producción de este (Tabla 4-39 y Figura 4-20). Respecto a las subcategorías, el *Uso de lubricantes* es la de mayor relevancia con un 91 %, mientras que *Uso de la cera de parafina* aporta el 9 % restante.

Tabla 4-39. 2.D. Uso de productos no energéticos de combustible y solvente: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por subcategoría, serie 1990-2020

Subcategoría	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020
2.D.1. Uso de lubricantes	35,5	44,0	69,6	87,2	102,4	113,6	115,6
2.D.2. Uso de la cera de parafina	7,1	9,1	9,3	11,7	10,0	9,2	11,3
Total	42,6	53,2	78,9	98,9	112,4	122,7	127,0

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

Figura 4-20. 2.D. Uso de productos no energéticos de combustible y solvente: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por subcategoría, serie 1990-2020



Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

4.5.3 Aspectos metodológicos de la categoría

Para la estimación de las emisiones de GEI de la categoría se aplicó el método Nivel 1 para todas las subcategorías, usando datos de actividades país específicos desagregados y factores de emisión por defecto de acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006*. Esta categoría representa un bajo porcentaje de las emisiones nacionales, por lo que 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 CO₂DM y de GEI indirecto relevantes para esta subcategoría. En la Tabla 4-40 se observa un resumen de los métodos aplicados por subcategoría y por tipo de GEI.

Tabla 4-40. 2.D. Uso de productos no energéticos de combustible y solvente: métodos aplicados por subcategoría.

Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero	CO ₂		CH ₄		N ₂ O		HFC		PFC		SF ₆	
	Método aplicado	Factor de emisión	Método aplicado	Factor de emisión	Método aplicado	Factor de emisión	Método aplicado	Factor de emisión	Método aplicado	Factor de emisión	Método aplicado	Factor de emisión
2.D. Productos no energéticos de combustibles y uso de solventes	T1	D										
2.D.1. Uso de lubricantes	T1	D										
2.D.2. Uso de la cera de parafina	T1	D										
2.D.3. Uso de solventes												
2.D.4. Otros (especificar)												

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

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

4.5.4 Uso de lubricantes (2.D.1.)

4.5.4.1 Descripción de la subcategoría

Los lubricantes se producen en las refinerías, por separación del petróleo crudo, o en las plantas petroquímicas. El principal uso de los lubricantes es en motores utilizados en transporte y en

aplicaciones industriales. El consumo de lubricantes en Chile, entre 1990 y 2020, ha sido creciente debido al incremento del parque vehicular.

4.5.4.2 Tendencia de las emisiones de GEI

La subcategoría *Uso de lubricantes* es la principal subcategoría emisora dentro de la categoría *Uso de productos no energéticos de combustible y solventes*, representando el 91 % de sus emisiones de GEI. En 2020, las emisiones de GEI de esta subcategoría contabilizaron 116 kt CO₂ eq incrementándose en un 225 % desde 1990 y en un 1,8 % desde 2018 (Tabla 4-39 y Figura 4-20). El principal causante de la tendencia y las variaciones interanuales es la demanda de lubricantes que en parte está relacionada con el crecimiento del parque vehicular.

4.5.4.3 Aspectos metodológicos de la subcategoría

Para la estimación de emisiones de la subcategoría *Uso de lubricantes* se utilizó un método de Nivel 1 de acuerdo con las de las *Directrices del IPCC de 2006*, basado en aplicar un factor de emisión para el CO₂ a los datos de la cantidad de lubricantes que se consumen en el país. El factor de emisión está referido a un factor de oxidación durante el uso (ODU, del inglés *Oxidised During Use*) y el contenido de carbono de los lubricantes. 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.

4.5.4.3.1 Datos de actividad estadísticos y paramétricos

Los datos de actividad del consumo de lubricantes provienen de un balance entre la producción, las importaciones y exportaciones. El balance para el consumo es el siguiente:

Ecuación 4-17. 2.D.1. Uso de lubricantes: balance de masa para estimar consumo de lubricantes

$$Consumo = Producción + Importación - Exportación$$

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

Los datos de producción se obtienen de un estudio realizado por el consorcio de aceites en el contexto de la ley de Responsabilidad Extendida al Productor (REP), que proporciona datos de producción entre 2011 y 2015. A partir de estos se estima el consumo con las importaciones y exportaciones para estos años. Finalmente, el consumo se extrapola utilizando como proxy el parque vehicular (Tabla 4-41). 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 por COVID-19, en donde las cuarentenas hacen dispensable el uso de vehículos y por consiguiente el pago de su permiso de circulación.

Tabla 4-41. 2.D.1. Uso de lubricantes: datos de actividad (TJ), serie 1990-2020

Año	Producción (TJ)	Imp-Exp (TJ)	Número de vehículos	Consumo (TJ)
1990	2.252	171	1.684.214	2.423
1991	1.900	1.810	1.717.508	2.471
1992	1.548	972	1.751.738	2.521
1993	2.552	19	1.786.921	2.571
1994	2.462	161	1.823.075	2.623
1995	2.211	466	1.860.218	2.677
1996	2.272	459	1.898.369	2.732
1997	2.140	648	1.937.549	2.788
1998	2.137	708	1.977.778	2.846
1999	3.005	15	2.098.848	3.020
2000	2.887	2.444	2.086.003	3.002
2001	2.769	4.817	2.130.547	3.066
2002	2.533	591	2.171.472	3.125
2003	2.172	996	2.201.996	3.168
2004	1.797	1.520	2.304.640	3.316
2005	1.701	1.826	2.450.901	3.527
2006	2.475	1.275	2.606.247	3.750
2007	2.601	1.383	2.768.543	3.984
2008	2.639	1.613	2.955.295	4.252
2009	2.941	1.474	3.068.201	4.415
2010	3.273	1.475	3.299.432	4.748
2011	3.861	1.851	3.571.218	5.712
2012	3.969	1.989	3.885.581	5.959
2013	4.043	1.902	4.168.980	5.945
2014	4.192	1.800	4.468.450	5.992
2015	3.960	2.056	4.647.062	6.016
2016	5.002	1.982	4.853.413	6.984
2017	5.295	2.015	5.079.718	7.309
2018	5.420	2.325	5.382.604	7.745
2019	4.959	3.099	5.599.733	8.057
2020	5.854	2.030	5.479.286	7.884

Nota: valores en rojo representan valores estimados.

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA con base en INE

4.5.4.3.2 Factores de emisión

El factor de emisión de CO₂ se compone de un factor de contenido de carbono específico multiplicado por el factor ODU. Para esta subcategoría se utilizaron factores por defecto, de acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006*. Los valores usados se muestran en la Tabla 4-42.

Tabla 4-42. 2.D.1. Uso de lubricantes: factores de emisión

Dato	Valor
Contenido de carbono (t C/TJ) (*)	20,0
Factor ODU (**)	0,2

Fuente: (*) Cuadro 1.3; Capítulo 1; Volumen 2; Directrices del IPCC de 2006 (**) Cuadro 5.2; Capítulo 5; Volumen 3 de las Directrices del IPCC de 2006

4.5.4.4 Incertidumbre

La incertidumbre combinada de la subcategoría es de $\pm 53,9\%$. En general, no se cuenta con información nacional de la incertidumbre de los datos de actividad y los factores de emisión, por lo que consideraron las recomendadas por las *Directrices del IPCC de 2006* (Sección 5.2.3; Capítulo 5; Volumen 3). En esta subcategoría se asocia la mayoría de la incertidumbre a los factores de emisión, al estar usando factores por defectos la variabilidad de los contenidos de carbono podría ser muy alta. Un resumen de los resultados de la incertidumbre combinada se presenta en la Tabla 4-43.

Tabla 4-43. 2.D.1. Uso de lubricantes: resumen de la incertidumbre combinada, 2020

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%

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

Una explicación general de la estimación de la incertidumbre se encuentra en la sección 1.6. *Evaluación general de la incertidumbre* y el cuadro de cálculo, junto a los supuestos aplicados, en ANEXO 11.04.

4.5.4.5 Consistencia de la serie temporal

Para mantener la consistencia de la serie 1990-2020 se usaron los mismos factores de emisión y para los datos de actividad se utilizó el mismo proxy para extrapolar toda la serie tanto hacia atrás como hacia adelante como se describe en la sección supra 4.5.4.3.

4.5.4.6 Procedimiento de garantía y control de la calidad y verificación

4.5.4.6.1 Verificación

Se verificó el consumo estimado de uso de lubricantes con los datos de importación y exportación restándolos para obtener una producción nacional estimada. El resultado muestra una producción estable para la serie solo desde el 2002 al 2020 ya que los datos anteriores de Aduana tienen un cambio metodológico y presentan datos 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.

4.5.4.7 Nuevos cálculos

No se realizaron Nuevos cálculos en esta subcategoría.

4.5.4.8 Plan de mejoramiento

En respuesta al análisis propio del Equipo Técnico de IPPU y a las recomendaciones de la revisión experta del INGEI de Chile, las mejoras planificadas del sector son las siguientes:

- Revisión de datos de aduana para los años 1990-2001 para mejorar la verificación.
- Coordinación con la oficina de economía circular para el levantamiento de datos, en base a la Ley REP

4.5.5 Uso de la cera de parafina (2.D.2.)

4.5.5.1 Descripción de la subcategoría

Las ceras de parafina se utilizan en aplicaciones tales como velas, cajas corrugadas, revestimientos de papel, encolados de placas, producción de alimentos, betunes de brillo, tensoactivos (como los utilizados en los detergentes), entre otros usos.

Entre 1990 y 2020, el consumo se sustenta principalmente en las importaciones, ya que la producción, de acuerdo con la información entregada por el INE, es bastante menor que las importaciones que, de acuerdo con este inventario, representan cerca del 1 % del consumo nacional.

4.5.5.2 Tendencia de las emisiones de GEI

En 2020, las emisiones de GEI de esta subcategoría contabilizaron 11 kt CO₂ eq (representando el 9 % de la categoría), incrementándose en un 60 % desde 1990 y en un 24 % desde 2018 (Tabla 4-39 y Figura 4-20). El principal causante de la tendencia y las variaciones interanuales es la demanda de cera y, por consiguiente, las importaciones de esta.

4.5.5.3 Aspectos metodológicos de la subcategoría

Para la estimación de emisiones de la subcategoría *Uso de cera de parafina* se utilizó un método de Nivel 1 de acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006*. 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 4-18. 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.

4.5.5.3.1 Datos de actividad estadísticos y paramétricos

Los datos de actividad del consumo de cera provienen de un balance entre la producción, las importaciones y exportaciones. El balance para el consumo es 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 consistentes, con datos variables, esto solo representa cambios en la producción nacional que, como se menciona anteriormente es cerca al 1 % 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 4-44.

Tabla 4-44. 2.D.2. Uso de la cera de parafina: datos de actividad (TJ), serie 1990-2020

Año	Producción (TJ)	Importación (TJ)	Exportación (TJ)	Consumo (TJ)
1990	0,29	482,14	-	483
1991	0,36	424,67	1,11	425
1992	0,45	524,99	1,65	524
1993	0,57	490,23	2,16	489
1994	0,71	578,97	5,66	574
1995	0,88	574,05	4,51	570
1996	0,74	652,09	5,50	647
1997	1,01	650,96	9,35	643
1998	1,08	621,56	13,76	609
1999	3,77	181,76	21,41	164
2000	2,69	629,96	14,06	622
2001	3,36	634,64	5,42	636
2002	4,19	686,70	20,61	673
2003	5,24	684,64	36,02	655
2004	6,55	720,67	30,11	697
2005	8,18	797,23	29,10	775
2006	10,22	699,60	31,61	674
2007	9,13	643,68	23,62	629
2008	8,32	643,70	22,48	628
2009	7,51	475,54	24,30	458
2010	6,70	660,81	35,51	632
2011	5,89	636,57	28,14	615
2012	5,08	600,19	10,20	596
2013	4,27	805,10	12,18	799
2014	3,47	685,21	6,17	682
2015	2,66	735,97	8,15	730
2016	2,66	683,99	5,61	681
2017	2,66	534,39	7,92	529

Año	Producción (TJ)	Importación (TJ)	Exportación (TJ)	Consumo (TJ)
2018	2,66	624,86	3,54	624
2019	2,66	707,37	21,05	706
2020	2,66	773,32	23,92	772

Nota: Los valores en rojo corresponde a valores obtenidos del INE
Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

4.5.5.3.2 Factores de emisión

El factor de emisión de CO₂ se compone de un factor de contenido de carbono específico multiplicado por el factor ODU. Para esta subcategoría se utilizaron factores por defecto, de acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006*. Los valores usados se muestran en la Tabla 4-45.

Tabla 4-45. 2.D.2. Uso de la cera de parafina: factores de emisión

Dato	Valor
Contenido de carbono (t C/TJ) (*)	20,0
Factor ODU (**)	0,2

Fuente: (*) Cuadro 1.3; Capítulo 1; Volumen 2; Directrices del IPCC 2006 (**) Sección 5.3.2.2.; Capítulo 5; Volumen 3; Directrices del IPCC de 2006.

4.5.5.4 Incertidumbre

La incertidumbre combinada de la subcategoría es de $\pm 102\%$. En general no se cuenta con información nacional de la incertidumbre de los datos de actividad y los factores de emisión, por lo que consideraron las recomendadas por las *Directrices del IPCC de 2006* (Sección 5.3.3.; Capítulo 5; Volumen 3). Al igual que para el uso de lubricantes, la mayor parte de la incertidumbre se asocia a los factores de emisión que, en este caso son los porcentajes de carbono. Estos al ser considerados por defectos podrían presentar una gran variabilidad. Un resumen de los resultados de la incertidumbre combinada se presenta en la Tabla 4-46.

Tabla 4-46. 2.D.2. Uso de la cera de parafina: resumen de la incertidumbre combinada, 2020

Código IPCC	Categoría del IPCC	Gas	Incertidumbre en los datos de actividad		Incertidumbre en el factor de emisión		Incertidumbre combinada	
			(-)%	(+)%	(-)%	(+)%	(-)%	(+)%
2.D.2.	Uso de la cera de parafina	CO ₂	20,0%	20,0%	100,0%	100,0%	102,0%	102,0%

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

Una explicación general de la estimación de la incertidumbre se encuentra en la sección 1.6. *Evaluación general de la incertidumbre* y el cuadro de cálculo, junto a los supuestos aplicados, en ANEXO 11.04.

4.5.5.5 Consistencia de la serie temporal

Para mantener la consistencia de la serie 1990-2020 se usaron los mismos factores de emisión y la misma fuente de datos de actividad, tanto estadísticos como paramétricos. Los datos de actividad debieron ser tratados dado que la información de INE contiene vacío de datos. El tratamiento de los datos se explica en la sección 4.5.5.3.1. *supra*.

4.5.5.6 Procedimiento de garantía y control de la calidad y verificación

4.5.5.6.1 Verificación

Se verificó la coherencia de la serie. La producción de cera muestra un comportamiento no tendencial, debido a la diferencia de empresas que reportan sus datos al INE para cada año.

4.5.5.7 Nuevos cálculos

Se realizó una actualización de la producción nacional de ceras de parafina, en base a los datos recolectados para algunos años. Este nuevo cálculo se tradujo en un cambio muy pequeño (menor al 2 %) en las emisiones, por lo que no se presenta aquí en el informe.

4.5.5.8 Plan de mejoramiento

En respuesta al análisis propio del Equipo Técnico de IPPU y a las recomendaciones de la revisión experta del INGEI de Chile, las mejoras planificadas del sector son las siguientes:

- Conformación de mesas de trabajo con el INE para mejorar los datos de producción de cera de parafina.

4.5.6 Uso de solventes (4.D.3.)

De acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006*, esta subcategoría debe considerarse aparte y constituye una fuente importante de COVDM. No se consideran emisiones de GEI.

4.5.7 Otros (4.D.4.)

Esta subcategoría no ocurre en el país.

4.6 Industria electrónica (2.E.)

Esta categoría no ocurre en el país.

4.7 Uso de productos sustitutos de las sustancias que agotan la capa de ozono (2.F.)

4.7.1 Descripción de la categoría

La categoría *Uso de productos sustitutos de las sustancias que agotan la capa de ozono* incluye las emisiones de los gases fluorados HFC y, en una medida muy limitada, los PFC que sirven como alternativas a las sustancias que agotan la capa de ozono (SAO). Las subcategorías incluidas son:

- *2.F.1. Refrigeración y aire acondicionado.*
- *2.F.2. Agentes espumantes.*
- *2.F.3. Protección contra incendios.*
- *2.F.4. Aerosoles.*
- *2.F.5. Solventes.*

En el contexto nacional, se comenzaron a utilizar gases fluorados a principios de los 90 en aplicaciones de refrigeración, pero tomaron mayor fuerza a partir de 2000 e incorporaron otras aplicaciones. La categoría incluye las emisiones de los usos y aplicaciones siguientes:

- Refrigeración y aire acondicionado.
- Agentes espumantes.
- Protección contra incendios.
- Aerosoles.
- Solventes.

Con respecto al inventario anterior, se presentan mejoras en cuanto a la desagregación de Refrigeración y aire acondicionado por usuario. Esta mejora ha sido posible gracias al trabajo coordinado entre el SNICHILE y la unidad de Ozono de la Oficina de Cambio Climático del MMA.

En cuanto a las emisiones relacionadas con el uso de PFC, estas se agregaron al inventario en base a datos de aduana de importación y exportación, pero son bastante reducidas y esporádicas en el tiempo.

4.7.2 Tendencia de las emisiones de GEI

La categoría *Uso de productos sustitutos de las sustancias que agotan la capa de ozono* es la principal categoría emisora de GEI del sector IPPU (63 %). En 2020, sus emisiones de GEI contabilizaron 4.390 kt CO₂ eq, incrementándose en un 2.952 % desde 2000 y en un 15 % desde 2018. El principal causante de la tendencia y las variaciones interanuales es el consumo de HFC como refrigerante en equipos de refrigeración y aire acondicionado. Las emisiones se generan por fugas del gas HFC que se producen por el uso de estos equipos. Estas fugas dependen de la capacidad instalada o banco que crece cada año lo que provoca una emisión de forma exponencial (Tabla 4-47 y Figura 4-21).

Respecto a las subcategorías, en 2020, la *Refrigeración y aire acondicionado* es la de mayor relevancia con un 92,8 % de las emisiones totales, segunda *Aerosoles* con un 3,9 %, tercero *Protección contra incendios* con un 2,3 %, cuarto *Agentes espumantes* con un 0,8 y finalmente *Solventes* con un 0,2 %.

Tabla 4-47. 2.F. Uso de productos sustitutos que las sustancias que agotan la capa de ozono: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por subcategoría, serie 1990-2020

Subcategoría	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020
2.F.1. Refrigeración y aire acondicionado	0,0	139,6	1.129,1	1.890,4	2.733,5	3.602,7	4.073,7
2.F.2. Agentes espumantes	NO	NO	57,5	40,1	92,2	66,8	35,2
2.F.3. Protección contra incendios	NO	1,6	18,2	50,3	84,4	70,3	99,7
2.F.4. Aerosoles	NO	NO	38,4	51,5	62,8	61,0	173,4
2.F.5. Solventes	NO	2,7	2,5	16,1	16,8	23,3	8,3
2.F.6. Otras aplicaciones (especificar)	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Total	0,0	143,8	1.245,7	2.048,4	2.989,7	3.824,0	4.390,4

NO = No ocurre

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

Figura 4-21. 2.F. Uso de productos sustitutos que las sustancias que agotan la capa de ozono: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por subcategoría, serie 1990-2020



Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

4.7.3 Aspectos metodológicos de la categoría

En cuanto a los aspectos metodológicos, se aplicó el método de Nivel 2a para la subcategoría 2.F.1 Refrigeración y aire acondicionado, que consiste en la utilización de factores de emisión por defecto, de acuerdo con las Directrices del IPCC de 2006, pero desagregado por tipo de usuario. Esta subcategoría es la mayor emisora del sector y a su vez una categoría principal. La estimación de emisiones se realizó con un método nivel 2 para cumplir con los requerimientos. 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 4-48).

Tabla 4-48. 2.F. Uso de productos sustitutos de las sustancias que agotan la capa de ozono: métodos aplicados por subcategoría

Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero	CO ₂		CH ₄		N ₂ O		HFC		PFC		SF ₆	
	Método aplicado	Factor de emisión	Método aplicado	Factor de emisión	Método aplicado	Factor de emisión	Método aplicado	Factor de emisión	Método aplicado	Factor de emisión	Método aplicado	Factor de emisión
2.F. Uso de productos sustitutos de las sustancias que agotan la capa de ozono							T2a, T1	D	T1, NO	D, NO		
2.F.1. Refrigeración y aire acondicionado							T2a	D	T1	D		
2.F.2. Agentes espumantes							T2a	D				
2.F.3. Protección contra incendios							T1	D	NO	NO		
2.F.4. Aerosoles							T1	D				
2.F.5. Solventes							T1	D	T1	D		
2.F.6. Otras aplicaciones (especificar)							T1	D	NO	NO		

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

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

El cálculo de las emisiones para toda la categoría se realizó a través de las planillas Excel de elaboración propia, excepto por 2.F.2 *Agentes espumantes* en la que se utilizó las planillas Excel elaboradas por el IPCC.

Es importante mencionar que los datos de actividad necesarios para estimar las emisiones de todas las subcategorías presentadas en esta categoría fueron obtenidos de las bases de datos del Servicio de Aduanas y la estimación y desagregación a partir del informe “Elaboración de Inventario Nacional individualizado de Hidrofluorocarbonos (HFC)” (en adelante se le llamara en este informe “estudio DICTUC 2019”) solicitado por la Unidad de Ozono del MMA, en el marco de la generación de información para el análisis de los impactos que tendrá la enmienda de Kigali en el país. Para esta actualización del inventario se contó con el apoyo directo de la Unidad de Ozono del Ministerio, quienes procesaron la información para los años 2019 y 2020.

4.7.4 Refrigeración y aire acondicionado (2.F.1.)

4.7.4.1 Descripción de la subcategoría

Los sistemas de refrigeración y aire acondicionado se clasifican de acuerdo con los usuarios dentro de los que se pueden encontrar

- Refrigeración comercial: utilizan sistemas para el almacenamiento y exhibición de alimentos y bebidas en supermercados, tiendas, restaurantes y hoteles.
- Refrigeración doméstica: refrigeradores, congeladores y equipos mixtos.
- Refrigeración industrial: refrigeración de comida y bebidas, agroindustria, pesca, farmacéuticas, petroquímicas, aeropuertos y sistemas de calefacción.
- Transporte refrigerado: camiones, remolques, contenedores y refrigeración sobre barcos
- Aire acondicionado fijo: sistemas *Split* pequeños, aires acondicionados de gran tamaño, enfriadores de agua, bombas de calor. Estos se utilizan en una diversidad de espacios como centros comerciales, oficinas y áreas de atención al cliente, entre otras.
- Aire acondicionado móvil: sistemas de aire en los medios de transporte terrestres.

Todas estas aplicaciones almacenan el gas refrigerante por lo que las emisiones ocurren por fugas durante su uso, y luego en mantenciones los equipos se vuelven a llenar. También ocurren emisiones al final de la vida útil de los equipos en que generalmente el refrigerante remanente es liberado a la atmósfera.

El uso de compuestos fluorados para refrigeración y aire acondicionado es abastecido en un 100 % por importaciones, ya que dichos compuestos no se producen en Chile. A partir del 1990 comenzaron a importarse estos productos en Chile, y su importación ha crecido considerablemente en el tiempo. Las exportaciones, por el contrario, son insignificantes.

Los HFC son un grupo de gases que se utilizan como sustancias puras o como mezclas, y dependiendo del uso se pueden identificar las principales sustancias utilizadas, un resumen sobre las sustancias que se usan actualmente se puede observar en la Tabla 4-49.

Tabla 4-49. 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 4-50. 2.F.1. Refrigeración y aire acondicionado: Composición de las principales mezclas utilizadas en Chile que contienen HFC.

Mezcla	HFC-125	HFC-134a	HFC-143a	HFC-32
R-404A	44%	4%	52%	-
R-407C	25%	52%	-	23%
R-410A	50%	-	-	50%
R-507A	50%	-	50%	-

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA, elaborado en base a estudio DICTUC 2019

4.7.4.2 Tendencia de las emisiones de GEI

La subcategoría *Refrigeración y aire acondicionado* es la principal subcategoría emisora dentro de la categoría *Uso de productos sustitutos de las sustancias que agotan la capa de ozono*, representando el 95 % de sus emisiones de GEI. En 2020, las emisiones de GEI de esta subcategoría contabilizaron 4.074 kt CO₂ eq, incrementándose en un 2.820 % desde 2000 y en un 13 % desde 2018 (Tabla 4-47 y Figura 4-21).

Respecto de las aplicaciones específicas, *Refrigeración industrial* fue la principal fuente emisora en 2020 representando un 49 % de la subcategoría. Le sigue *Aire acondicionado móvil* con 19 %, luego *Refrigeración comercial* con 15 %, *Aire acondicionado fijo* con 13 %, y en menor medida *Refrigeración doméstica* (3 %) y *Transporte refrigerado* (0,8 %) (Tabla 4-51 y Figura 4-22). Esta proporción se ha mantenido en el tiempo, sin embargo, se observa un estancamiento en los últimos años en *Refrigeración comercial* mientras que *refrigeración industrial*, *aire acondicionado móvil* y *fijo* se han acelerado. Esto por un lado tiene relación con una disminución en las nuevas superficies de supermercados construidas, y por el otro con un aumento en la utilización de R507A para aplicaciones industriales de la agroindustria y un aumento del parque vehicular con aire acondicionado. De todas maneras, otra variable que influye fuertemente es el precio de los HFC en comparación con otras alternativas de refrigerantes, sus capacidades técnicas y la obligatoriedad de dejar de utilizar paulatinamente el HCFC por la implementación del protocolo de Montreal.

Tabla 4-51. 2.F.1. Refrigeración y aire acondicionado: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por subcategoría, serie 1990-2020

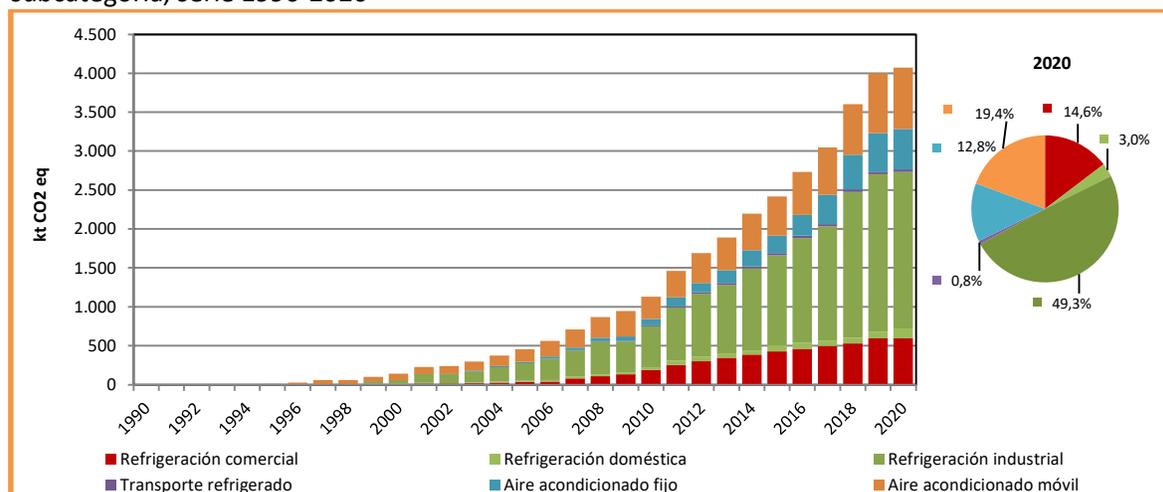
Subcategoría	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020
Refrigeración comercial	0,0	9,3	189,1	345,6	459,1	530,1	596,6
Refrigeración doméstica	NO	8,5	33,2	49,6	78,4	74,8	123,4
Refrigeración industrial	NO	40,2	528,5	887,5	1.344,6	1.868,2	2.009,9
Transporte refrigerado	NO	0,2	13,0	22,9	33,3	33,3	33,7
Aire acondicionado fijo	NO	0,5	81,2	162,5	265,6	446,5	521,7
Aire acondicionado móvil	NO	80,9	284,0	422,3	552,5	649,8	788,4
Total	0,0	139,6	1.129,1	1.890,4	2.733,5	3.602,7	4.073,7

Nota: Valores en 0 representan valores inferiores a 0,1

NO = No ocurre

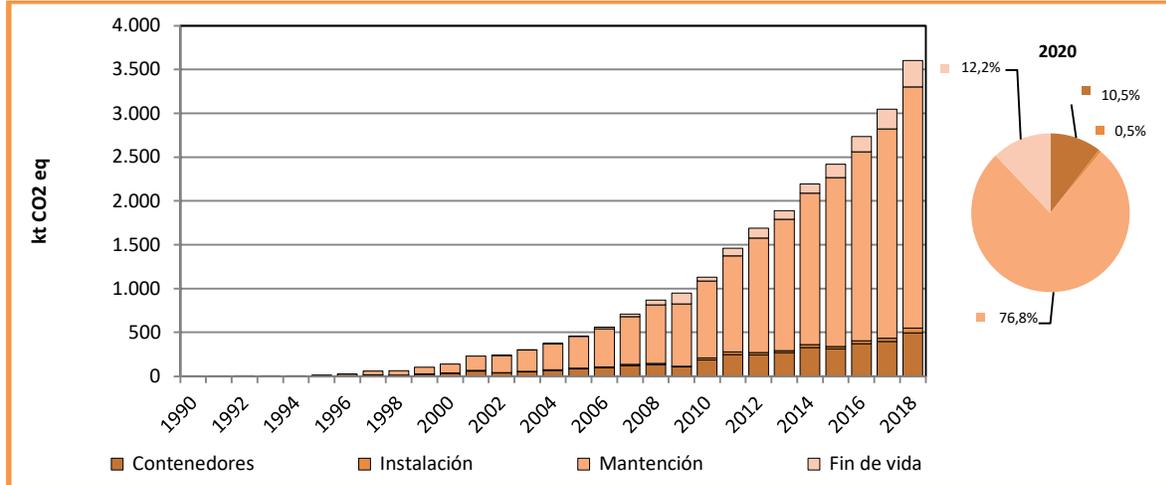
Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

Figura 4-22. 2.F.1. Refrigeración y aire acondicionado: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por subcategoría, serie 1990-2020



Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

Dentro de las emisiones por tipo emisión se observa que la principal, en 2020, es por *mantención* (resultado de fugas por malos sellos, fallas o roturas) con un 77 %. Le siguen con un 12 % las emisiones por fin de *vida útil*, luego las emisiones por *contenedores* con un 10,5 % y finalmente las emisiones por *instalación*, que alcanzan el 0,5 % de las emisiones totales de la subcategoría. (Figura 4-23).

Figura 4-23. 2.F.1. Refrigeración y aire acondicionado: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por tipo de emisión, serie 1990-2020

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

4.7.4.3 Aspectos metodológicos de la subcategoría

Para la estimación de emisiones de HFC de la subcategoría *Refrigeración y aire acondicionado* se utilizó un método de Nivel 2a de las *Directrices del IPCC de 2006*, que se basa en el conocimiento de la existencia de equipos de refrigeración y aire acondicionado independientemente de su antigüedad. Luego se define una carga y vida útil de equipo por subaplicación y se consideran las emisiones a lo largo de toda la vida de los equipos. Para lograr coherencia se utilizan los datos de consumo anual por tipo de refrigerante y se deriva que cantidad se utiliza para equipos nuevos y que cantidad se utiliza para mantenimiento del banco existente para cada subaplicación.

Las emisiones con el Nivel 2a se estiman para cada año, cada sustancia o mezcla y cada subaplicación. La estimación considera lo siguiente:

Ecuación 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.

$$E_{fin\ de\ vida\ útil,t} = M_{t-d} * \frac{p}{100} * \left(1 - \frac{\eta_{rec,d}}{100}\right)$$

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

4.7.4.3.1 Datos de actividad estadísticos y paramétricos

Los datos de actividad de los gases fluorados usados para refrigeración son elaborados a partir de la información de importación y exportación proporcionados por Aduanas que a su vez fue revisada y refinada en el estudio “Elaboración de Inventario Nacional de Hidrofluorocarbonos (HFC)”⁴⁴ solicitado por el MMA y ejecutado por DICTUC en 2017. Adicionalmente se utiliza información de las distintas subaplicaciones para desagregar los consumos de HFC y estimar los bancos. Esta información fue levantada por el estudio “Elaboración de Inventario individualizado Nacional de Hidrofluorocarbonos (HFC)” también solicitados por el MMA y ejecutado por DICTUC el 2019, que a la vez actualiza al 2018, los datos de Aduanas del estudio anterior y agregó los datos entre 1990 y 1999.

A continuación, se detallan los pasos llevados a cabo para obtener los datos de actividad requeridos de acuerdo con la metodología, los que para cada subaplicación son, el HFC en equipos nuevos por año, el banco de HFC en equipos cada año, el consumo de sustancias para mantenimiento del banco y carga de equipos nuevos y el HFC en equipos que cumplen su vida útil. Mayor detalle sobre estas estimaciones se pueden encontrar en los estudios mencionados de MMA 2017 y 2019.

Primero se clasifican los datos de aduana de importación y exportación por sustancia a granel (puras y mezclas) por año y también los equipos que entran al país con HFC los que incluyen refrigeradores, automóviles y equipos de aire acondicionado. Estos datos de actividad se pueden encontrar en el Anexo 11.06. 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 4-25. 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 11.06.:

⁴⁴ <https://www.greenlab.uc.cl/wp-content/uploads/2017/08/HFC-Informe%20Final.pdf>

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.
- 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 4-52. Adicionalmente de acuerdo con el estudio de ATS “ELABORACIÓN DE UN INVENTARIO NACIONAL INDIVIDUALIZADO DE HFC Y SUS ALTERNATIVAS, EN LOS SECTORES DE AIRE ACONDICIONADO MÓVIL, TRANSPORTE REFRIGERADO Y SUPERMERCADOS” junio de 2020, se consideran 0,33 kg refrigerante/m² de la superficie refrigerada; y un 0,2416 m² de la superficie refrigerada/m² superficie construida. Adicionalmente se considera que anualmente un 4,9 % de la superficie existente cambian su sistema de refrigeración. Por último, se considera la siguiente proporción por tipo de refrigerante en base a entrevistas con expertos (Tabla 4-53).

Tabla 4-52. 2.F.1. Refrigeración y aire acondicionado: Nueva superficie construida de supermercados (m²) de acuerdo con datos del INE, serie 2003 - 2020

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

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

Tabla 4-53. 2.F.1. Refrigeración y aire acondicionado: Proporción por tipo de refrigerante para nueva superficie con refrigeración comercial.

Período	No HFC	R-404A	R-507A
<2004	100%		
2004-2006	81%	9%	
2007-2009	22%	68%	10%
2010- 2013	8%	11%	81%
2014-2016		4%	96%
>2016	2%*		98%

(*) Nuevas tecnologías basadas en hidrocarburos.

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

Refrigeración doméstica: Se considera la importación menos la exportación de refrigeradores como equipos entrantes al banco con datos de Aduana desde 1991. Luego se clasifican por tipo de acuerdo con su capacidad y en base a fichas técnicas se asigna una cantidad y tipo de refrigerante por litro de capacidad del equipo. Adicionalmente se levantaron datos de producción nacional entre 2008 y 2015 que utiliza HFC134a. Se relacionó lo utilizado en la producción local con el HFC134a importado a granel, observándose una tendencia a la disminución con un 7% en 2015 y un 25% en 2008. Para extrapolar se mantuvo el porcentaje de 2015 para los años 2016 a 2020 y del 2008 para 1991 a 2007.

Refrigeración industrial: De acuerdo a entrevistas a expertos del sector y la revisión de estudios como “*Introduction of zero or low global warming potential refrigerants in food processing and exports (fruits and vegetables) in Chile (Project CTCN/UNIDO 120444)*” (Chilealimentos, 2017), se obtiene que las principales sustancias utilizadas corresponden a amoníaco, R-22, y en menor proporción refrigerantes HFC como el R-507A y R-404a, y en una fracción menor HFC134a. Sin embargo, no se logró levantar información del sector para estimar el tamaño del banco. Para estimar el banco entrante cada año se realizó un balance de masa para R-507A, R-404A y HFC134a. Esto se realizó ya que se conocen los bancos de sus otros usos y se consideran factores de emisión por defecto para estimar lo utilizado en mantención. Luego para estimar en esta subaplicación cuánto corresponde a nuevo banco y cuánto a mantención se hizo una optimización, usando el factor de emisión por defecto.

Transporte refrigerado: Estimado en base a datos de importación y exportación de equipos de este tipo de aduana (código arancelario 8418.6920). Estos equipos no entran con carga por lo que no se consideran en la estimación de cantidad de sustancia entrante. En base a información técnica se caracteriza el tipo de refrigerante y la carga promedio por equipo (Tabla 4-54).

Tabla 4-54 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 de partida arancelaria 84.18

Aire acondicionado fijo: Se consideraron los equipos de aire acondicionado importados y los sistemas de climatización instalados in situ.

- Para los equipos de aire acondicionado se consideraron los datos de aduana de importación y exportación de las partidas arancelarias 8415.10XX, 8415.81XX y 8415.82XX. En base a fichas técnicas se asignó la cantidad y tipo de refrigerante por litro de capacidad del equipo.
- Los sistemas de climatización incluyen hospitales, hoteles, oficinas y centros comerciales. De acuerdo con lo expresado por expertos del sector las principales sustancias utilizadas son R-410A, R-407C y HFC-134a. Los dos primeros se utilizan solo en climatización por lo que se hace un balance de masa considerando el uso a granel para mantención de los equipos con una tasa de fuga por defecto y el resto para instalación de sistemas. En el caso del HFC-134a se hace una estimación del banco al 2020 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 – 2018). Para los años 2019 y 2020 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 (86.01 a 87.05), utilizando como referencia la información disponible en el estudio de ATS Energía (ATS Energía S.A., 2020), 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 4-26. 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 + recambio⁴⁵ y exportaciones + destrucción + emisiones) en el año t , medido en [kg]

vu : Vida útil del producto, medido en [años]

⁴⁵ 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.

La vida útil es un parámetro clave para estimar los bancos. En la Tabla 4-55 se resume la vida útil media considerada para cada uno de los bancos según subaplicación, y su comparación con el rango presentado en el Cuadro 7.9; Capítulo 7; Volumen 3; de las *Directrices del IPCC de 2006*. Los valores utilizados se seleccionaron de acuerdo con entrevistas con actores del mercado de cada subaplicación. Por otra parte, en Chile no existen sistemas de destrucción de sustancias HFC.

Tabla 4-55 2.F.1. Refrigeración y aire acondicionado: Vida útil media en equipos o productos que forman banco, por subaplicación

Aplicación	Sub-aplicación	Vida útil considerada	Rango Vida útil según (IPCC, 2006)
Refrigeración	Doméstica	15	12 - 20
	Comercial	Equipos: 12 Instalaciones: 12	Equipos: 10 – 15 Instalaciones: 7-15
	Industrial	20	15 - 30
	Transporte	10	6 - 10
Aire Acondicionado	Estacionario	15	10 - 20
	Móvil	12	9 - 16

Fuente: (GreenLab-Dictuc, 2017)

Los PFC se clasificaron en las distintas subaplicaciones de acuerdo con lo indicado en la encuesta “SURVEY ODS ON ODS ALTERNATIVES (HFCs and others)” del 2017 de la Unidad de Ozono del MMA. El PFC-218 a granel se consideró como solvente; mientras que el Isceon 89 que contiene PFC-218, el R-508 que contiene PFC-116 y el PFC-14 se incluyeron en refrigeración industrial. Todos presentan entradas por aduana de bajo volumen y esporádicas, por lo que se consideró que se utilizaron como pruebas, cargándose a equipos existentes y liberándose a la atmósfera por pérdidas en la etapa de operación.

4.7.4.3.2 Factores de emisión

Para los factores de emisión se seleccionaron factores dentro del rango recomendado por las *Directrices del IPCC de 2006* (Sección 7.5.2.1.; Capítulo 7; Volumen 3), pero considerando información levantada nacionalmente de las distintas subaplicaciones en el estudio “Elaboración de Inventario individualizado Nacional de Hidrofluorocarbonos (HFC)” de DICTUC del 2019.

Por una parte, la falta de normativa obligatoria respecto de la forma de instalación y mantención hacen presumir que las emisiones del sector comercial tanto para climatización como para refrigeración están en la parte alta del rango presentado por el IPCC. Para aire acondicionado móvil se considera también un valor alto ya que en Chile las emisiones no ocurrirían sólo por fallas, sino que sería una práctica común el cambio del refrigerante cada cierto tiempo.

La refrigeración industrial se supone una tasa de 20%, considerando las tasas de mantención derivables del estudio desarrollado por Chile Alimentos (2017).

Respecto a los equipos de climatización, se supone una tasa de 4% para equipos unitarios y de 6% para sistemas centralizados finalizado *in-situ*. Estos valores se encuentran dentro del rango propuesto por el IPCC, y en la parte alta de los valores propuestos por el TEAP. Estos basados en la falta de regulación que fuerce una instalación y/o mantención que reduzca las emisiones por fugas.

Para las subaplicaciones sin información se utilizó el valor más alto del rango de siguiendo la lógica de lo que ocurre en las otras subaplicaciones. Este criterio se aplicó además al factor de emisión de instalación para todas las subaplicaciones. Un resumen de los factores de emisión seleccionados se observa en la Tabla 4-56.

Tabla 4-56. 2.F.1. Refrigeración y aire acondicionado: Resumen de los factores de emisión según subaplicación tipo banco

Aplicación	Sub-aplicación	Factor de Emisión Anual	Factor de Emisión instalación
Refrigeración	Doméstica	0,5%	1%
	Comercial	Equipos: 15% Instalaciones: 35%	Equipos: 3% Instalaciones: 3%
	Industrial	20%	3%
	Transporte	50%	1%
Aire Acondicionado	Estacionario	Equipos unitarios: 4% Instalaciones: 6%	1%
	Móvil	20%	0,5%

Fuente: Elaboración propia en base a lo establecido por (IPCC, 2006; TEAP; UNEP, 2014, MMA 2019)

Adicionalmente para la emisión relacionada con el manejo de contenedores de refrigerantes se consideró un factor de emisión de 10%, de acuerdo con lo recomendado en las *Directrices del IPCC de 2006* (página 7.49, Sección 7.5.2.1.; Capítulo 7; Volumen 3).

Finalmente se destaca que la recuperación al final de la vida útil de los equipos se considera nula.

4.7.4.4 Incertidumbre

La incertidumbre para esta subcategoría se estimó para todas las subaplicaciones de manera agrupada ya que todas utilizan la misma fuente de factores de emisión y comparten la principal fuente de datos de actividad. Adicionalmente la estimación de algunas subaplicaciones dependen de la estimación de las otras.

La incertidumbre combinada de la subcategoría es de -53,1 % + 50 %. En general, no se cuenta con información nacional de la incertidumbre de los datos de actividad y los factores de emisión por lo que consideraron las recomendadas por las *Directrices del IPCC de 2006* (Sección 2.3.2.; Capítulo 2; Volumen 3 y cuadro 7.9; Capítulo 7; Volumen 3). Un resumen de los resultados de la incertidumbre combinada se presenta en la Tabla 4-57.

Tabla 4-57. 2.F.1. Refrigeración y aire acondicionado: resumen de la incertidumbre combinada, 2020

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%	36,6%	17,9%	62,0%	53,1%	50,0%

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

Una explicación general de la estimación de la incertidumbre se encuentra en la sección 1.6. *Evaluación general de la incertidumbre* y el cuadro de cálculo, junto a los supuestos aplicados, en ANEXO 11.04.

4.7.4.5 Consistencia de la serie temporal

Para mantener la consistencia de la serie 1990-2020 se usaron los mismos factores de emisión y la misma fuente de datos de actividad, tanto estadísticos como paramétricos. Se debieron aplicar algunas correcciones a los datos de actividad las que se describen en la sección 4.7.4.3.1. *supra*.

4.7.4.6 Procedimiento de garantía y control de la calidad y verificación

4.7.4.6.1 Verificación

No se realizó ninguna verificación.

4.7.4.7 Nuevos cálculos

4.7.4.7.1 Justificaciones de los nuevos cálculos y mejoras

Como mejora en la estimación de emisiones se consideró otro criterio para la estimación del consumo de HFC por parte del transporte refrigerado. En este caso se consultó a empresas relacionadas con esta actividad en donde se señaló que el factor de emisión por carga inicial alcanzaba el 9%, a diferencia del rango propuesto por las guías, el que va desde 15 a 50%. En este inventario se consideró el rango inferior del IPCC, es decir 15%, tomando en cuenta lo señalado por los expertos consultados. En el inventario anterior se consideró un factor de 50%.

4.7.4.7.2 Implicaciones para los niveles de emisión

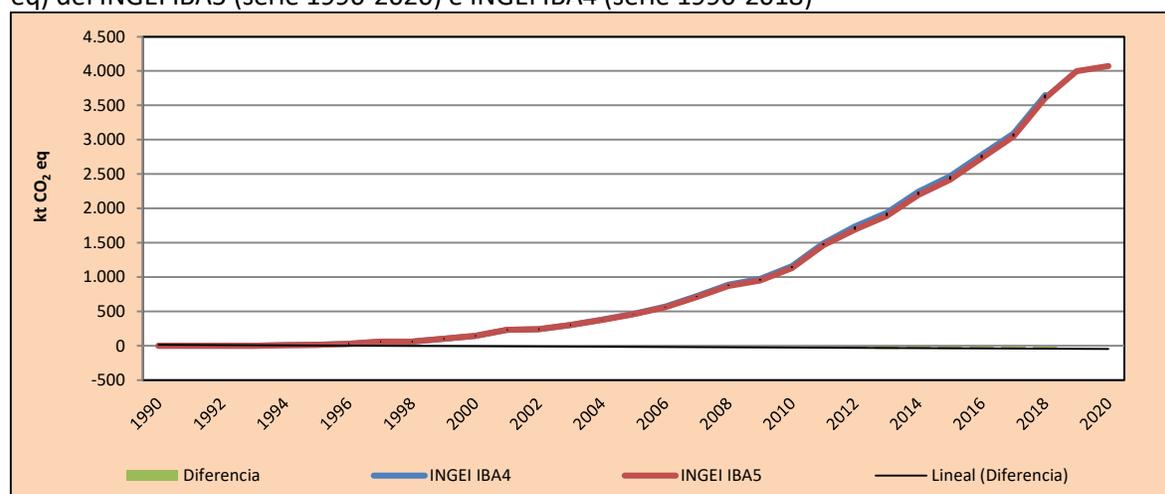
En la Tabla 4-58 y Figura 4-24 se observa cómo variaron las emisiones de GEI de la subcategoría respecto al inventario anterior (INGEI IBA4). El cambio en los factores de emisión generó una baja en las emisiones de la subcategoría que, si bien es pequeña, se ajusta más a la realidad del país.

Tabla 4-58. 2.F.1. Refrigeración y aire acondicionado: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI 5IBA (serie 1990-2020) e INGEI 4IBA (serie 1990-2018)

INGEI	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020
INGEI IBA4	0,0	140,0	1.154,3	1.936,6	2.777,7	3.652,1	-
INGEI IBA5	0,0	139,6	1.129,1	1.890,4	2.733,5	3.602,7	4.073,7
Diferencia	0,0	-0,5	-25,2	-46,2	-44,2	-49,4	-
Diferencia %	0%	-0,3%	-2,2%	-2,4%	-1,6%	-1,4%	-

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

Figura 4-24. 2.F.1. Refrigeración y aire acondicionado: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI IBA5 (serie 1990-2020) e INGEI IBA4 (serie 1990-2018)



Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

4.7.4.8 Plan de mejoramiento

En respuesta al análisis propio del Equipo Técnico de IPPU y a las recomendaciones de la revisión experta del INGEI de Chile, las mejoras planificadas del sector son las siguientes:

- Ajustar banco restando las 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.
- Buscar como mejorar información sobre bancos y sobre factores de emisión con información país específico, con la Unidad de Ozono del Ministerio del Medio Ambiente.

4.7.5 Agentes espumantes (2.F.2.)

4.7.5.1 Descripción de la subcategoría

Los HFC se están empleando cada vez más para reemplazar los CFC y HCFC en las espumas y, en particular, en las aplicaciones de aislantes. Los compuestos que se están usando incluyen HFC-245fa, HFC-365mfc, HFC-227ea, HFC-134a y HFC-152a.

A nivel nacional los HFC son utilizados para la fabricación de espumas rígidas de poliuretano. El primer gas utilizado es el HFC 134a, mientras que a partir de 2007 se utilizó HFC-365mfc y la mezcla HFC-365mfc/HFC-227ea. El uso de estas sustancias sería como alternativas al uso de HCFC-141b, el cual es el agente espumante que tradicionalmente se ha utilizado en el país.

4.7.5.2 Tendencia de las emisiones de GEI

En 2020, las emisiones de GEI de esta subcategoría contabilizaron 35 kt CO₂ eq (representando un 0,8 % de las emisiones de GEI de la categoría), disminuyendo un 12 % desde 2013 (Tabla 4-47 y Figura 4-21). El principal causante de la tendencia y las variaciones interanuales es la importación de polioles con HFC-365mfc y HFC-227ea.

4.7.5.3 Aspectos metodológicos de la subcategoría

Para la estimación de emisiones de la subcategoría *Agentes espumantes* se utilizó el método de Nivel 2a de las *Directrices del IPCC de 2006*, 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 4-27. 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.

4.7.5.3.1 Datos de actividad estadísticos y paramétricos

Los datos de actividad de los gases fluorados usados para refrigeración son elaborados a partir de la información de importación y exportación proporcionados por Aduanas que a su vez fue revisada y refinada en el estudio "Elaboración de Inventario Nacional Individualizado de Hidrofluorocarbonos (HFC)" del 2019. Para los años 2019 – 2020 el levantamiento de información se realizó con la ayuda de la Unidad de Ozono. El balance final utilizado en la estimación responde a la siguiente ecuación:

Ecuación 4-28. 2.F.2. Agentes espumantes: balance de masa para la estimación de consumo de HFC

$$Consumo = Importación - Exportación$$

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

Se obtuvieron los siguientes consumos:

Tabla 4-59. 2.F.2. Agentes espumantes: consumo neto de gases fluorados (kg de HFC), serie 2003 - 2020.

Año	HFC-134a	HFC-227ea	HFC-365mfc	HFC227ea poliol	HFC365mfc poliol
2003	41	NO	NO	NO	NO
2004	19.440	NO	NO	NO	NO
2005	56.700	NO	NO	NO	NO
2006	38.184	NO	NO	NO	NO
2007	11.340	1	22	954	13.221
2008	NO	NO	975	6.820	94.507
2009	NO	NO	960	8.624	119.499
2010	NO	NO	960	26.825	371.714
2011	NO	NO	1.920	10.049	139.247
2012	NO	NO	NO	25.006	346.508
2013	NO	NO	40.320	12.033	166.746
2014	NO	NO	19.200	18.736	259.622
2015	NO	1.344	94.656	15.220	210.907
2016	NO	672	125.568	29.674	411.202
2017	NO	2.268	31.092	26.738	370.511
2018	NO	638	8.482	19.323	267.764
2019	NO	1.210	16.070	3.180	42.250
2020	NO	NO	NO	2.614	34.733

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

Para desagregar entre subaplicaciones se utilizó un estudio solicitado por la Unidad de Ozono del MMA en el contexto de la fase 2 del “Plan de Gestión para la Eliminación de HCFC en Chile” en que se estimaron los usos de agentes espumantes para datos entre 2012 y 2014. Se consideró la misma proporción para toda la serie, un 39,1 % de los agentes espumantes se utilizan como spray para poliuretano y el 60,9 % restante como panel discontinuo de poliuretano.

Para la vida útil de se consideró el valor por defecto, de 50 años para ambas subaplicaciones. Sin embargo, como los HFC en agentes espumantes se comenzaron a utilizar en 2003, aún no ocurren emisiones por desmantelamiento.

4.7.5.3.2 Factores de emisión

Se utilizaron factores de emisión por defecto para cada subaplicación de acuerdo con lo recomendado por las *Directrices del IPCC de 2006* (Cuadro 7.7, Sección 7.4.2.2.; Capítulo 7; Volumen 3).

Tabla 4-60. 2.F.2. Agentes espumantes: Factores de emisión por subaplicación

Subaplicación	Pérdidas en el primer año (%)	Pérdidas anuales del banco (%)
panel discontinuo de poliuretano.	12	0,5
spray para poliuretano	15	1,5

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA en base a *Directrices del IPCC de 2006* (Cuadro 7.7, Sección 7.4.2.2.; Capítulo 7; Volumen 3)

4.7.5.4 Incertidumbre

La incertidumbre combinada de la subcategoría es de -87,7 % y +187,1 %. En general, no se cuenta con información nacional de la incertidumbre de los datos de actividad y los factores de emisión. Para los datos de actividad se optó por una incertidumbre del 50 %, ante la ausencia de mejor información por parte de Aduanas, al igual que para la subcategoría Refrigeración y aire acondicionado. Para los factores de emisión tampoco se contaba con valores por defecto por lo que se utilizaron los valores por defecto de la subcategoría Protección contra incendios combinada con la incertidumbre del fin de vida útil. Un resumen de los resultados de la incertidumbre combinada se presenta en la Tabla 4-61.

Tabla 4-61. 2.F.2. Agentes espumantes: resumen de la incertidumbre combinada, 2020

Código IPCC	Categoría del IPCC	Gas	Incertidumbre en los datos de actividad		Incertidumbre en el factor de emisión		Incertidumbre combinada	
			(-)%	(+)%	(-)%	(+)%	(-)%	(+)%
2.F.2.	Agentes espumantes	HFC	50,0%	50,0%	72,1%	180,3%	87,7%	187,1%

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

Una explicación general de la estimación de la incertidumbre se encuentra en la sección 1.6. *Evaluación general de la incertidumbre* y el cuadro de cálculo, junto a los supuestos aplicados, en ANEXO 11.04.

4.7.5.5 Consistencia de la serie temporal

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

4.7.5.6 Procedimiento de garantía y control de la calidad y verificación

4.7.5.6.1 Verificación

No se realizaron mayores actividades para la verificación de las emisiones.

4.7.5.7 Nuevos cálculos

No se realizaron nuevos cálculos en esta subcategoría.

4.7.5.8 Plan de mejoramiento

No se esperan mejoras para esta subcategoría

4.7.6 Protección contra incendios (2.F.3.)

4.7.6.1 Descripción de la subcategoría

Hay dos tipos generales de equipos contra incendios que usan los HFC y PFC para reemplazar parcialmente los halones: los equipos portátiles (de chorro corriente) y los equipos fijos (de anegación). Los HFC y PFC se utilizan como principal sustituto de los halones en los equipos de anegación. Sin embargo, el uso de estos gases en la protección contra incendios no es masivo debido a sus costos.

El uso de compuestos fluorados para protección contra incendios de Chile es abastecido en un 100 % por importaciones, ya que dichos compuestos no se producen en Chile. La principal aplicación de los HFC en productos de extinción del fuego es en la protección de servidores y sistemas electrónicos. En el rubro de la minería los sistemas de extinción de incendio por anegamiento son exigidos por protocolos de seguridad. Por otro lado, y debido al costo de la inversión, en otros rubros con menor riesgo se emplean sistemas de detección de humo. Los productos que contienen HFC en su composición son Ecaro-25 y FM-200, utilizados en sistema de extinción de incendios en servidores y sistemas electrónicos por medio de anegamiento.

4.7.6.2 Tendencia de las emisiones de GEI

En 2020, las emisiones de GEI de esta subcategoría contabilizaron 100 kt CO₂ eq (representando un 2,3 % de las emisiones de GEI de la categoría), incrementándose en un 6.298 % desde 2000 y en un 42 % desde 2018 (Tabla 4-47 y Figura 4-21). El principal causante de la tendencia y las variaciones interanuales son las importaciones que se ven afectadas por el mercado.

4.7.6.3 Aspectos metodológicos de la subcategoría

Para la estimación de emisiones de la subcategoría *Protección contra incendios* se utilizó el método de Nivel 1 de las *Directrices del IPCC de 2006*, basado en la multiplicación del consumo neto por aplicación por el factor de emisión correspondiente, de acuerdo con la lógica de emisiones reales. Adicionalmente se incluye un factor debido a las emisiones de los bancos de gases, que intenta dar cuenta del retardo entre el consumo y las emisiones. Lo anterior queda representado por la ecuación siguiente:

Ecuación 4-29. 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.

4.7.6.3.1 Datos de actividad estadísticos y paramétricos

Los datos de actividad de los gases fluorados usados para extinción de fuego son elaborados a partir de la información de importación y exportación proporcionados por Aduanas que a su vez fue revisada y refinada en el estudio “Elaboración de Inventario Nacional Individualizado de Hidrofluorocarbonos (HFC)” del 2019. El balance para el consumo es el siguiente:

Ecuación 4-30. 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 debieron aplicar algunas correcciones a los consumos (importación – exportación) al encontrarse que, para algunos años, la exportación de ciertos gases superaba a la importación. Este hecho parece no seguir el mercado nacional, dado que no se produce ningún tipo de HFC en el país. Para corregir los datos al estimar el banco entrante se consideró el consumo del año *t*, promediando con el año siguiente y el año anterior. Los datos de consumo utilizados se encuentran en la siguiente tabla.

Tabla 4-62. 2.F.3. Protección contra incendios: Datos de actividad, consumo de HFC (kg) por año serie 1997-2020.

Año	HFC-125	HFC-227ea	HFC-23	HFC-236fa
1997	-	599	-	-
1998	-	2.905	-	-
1999	-	3.892	-	-
2000	-	7.731	-	-
2001	-	10.804	-	-
2002	-	12.342	-	81
2003	-	7.431	-	-
2004	896	6.758	-	-
2005	(344)	8.636	-	-
2006	1.292	11.984	-	-
2007	3.676	11.736	-	-
2008	3.712	14.814	-	-
2009	6.029	21.649	-	-
2010	2.367	22.335	-	-
2011	3.273	46.970	-	-
2012	3.030	42.780	-	-
2013	1.100	20.115	-	-
2014	4.414	28.356	-	27
2015	6.075	35.616	99	-
2016	6.004	50.292	-	-

Año	HFC-125	HFC-227ea	HFC-23	HFC-236fa
2017	2.208	31.659	-	-
2018	885	31.278	-	-
2019	2.983	39.111	278	-
2020	4.288	41.086	651	-

(): Los valores entre paréntesis corresponden a exportaciones que no fueron consideradas.

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

4.7.6.3.2 Factores de emisión

Los factores de emisión considerados son 3,2 % para anegación y 4 % para extintores de acuerdo con lo recomendado por las *Directrices del IPCC de 2006* (Sección 7.6.2.2.; Capítulo 7; Volumen 3), y a lo levantado en el estudio “Elaboración de Inventario Nacional Individualizado de Hidrofluorocarbonos (HFC)” del 2019.

Para la vida útil se consideró para la extinción de incendios por medio de sistemas de anegación 15 años de acuerdo con el valor por defecto recomendado por las *Directrices del IPCC de 2006* (Sección 7.6.2.2.; Capítulo 7; Volumen 3), mientras que para los extintores se considera una vida útil media de 5 años basado en el tiempo de expiración típico de este tipo de productos.

Adicionalmente se asume que no existe destrucción de los gases al final de la vida útil.

4.7.6.4 Incertidumbre

La incertidumbre combinada de la subcategoría es de -78,1 % y +111,8 %. En general, no se cuenta con información nacional de la incertidumbre de los datos de actividad y los factores de emisión. Para los datos de actividad se optó por una incertidumbre del ± 50 %, ante la ausencia de mejor información por parte de Aduanas, al igual que para la subcategoría *Refrigeración y aire acondicionado*. En el caso del factor de emisión, se decidió por una incertidumbre del -60 % y +100 %, de acuerdo con lo recomendado por las *Directrices del IPCC de 2006* (Sección 7.6.2.2.; Capítulo 7; Volumen 3). Un resumen de los resultados de la incertidumbre combinada se presenta en la Tabla 4-63.

Tabla 4-63. 2.F.3. Protección contra incendios: resumen de la incertidumbre combinada, 2020

Código IPCC	Categoría del IPCC	Gas	Incertidumbre en los datos de actividad		Incertidumbre en el factor de emisión		Incertidumbre combinada	
			(-)%	(+)%	(-)%	(+)%	(-)%	(+)%
2.F.3.	Protección contra incendios	HFC	50,0%	50,0%	60,0%	100,0%	78,1%	111,8%

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

Una explicación general de la estimación de la incertidumbre se encuentra en la sección 1.6. *Evaluación general de la incertidumbre* y el cuadro de cálculo, junto a los supuestos aplicados, en ANEXO 11.04.

4.7.6.5 Consistencia de la serie temporal

Para mantener la consistencia de la serie 1990-2020 se usaron los mismos factores de emisión y la misma fuente de datos de actividad, tanto estadísticos como paramétricos. Se debieron aplicar algunas correcciones a los datos de actividad las que se describen en la sección 4.7.6.3.1. *supra*.

4.7.6.6 Procedimiento de garantía y control de la calidad y verificación

4.7.6.6.1 Verificación

No se realizaron mayores actividades para la verificación de las emisiones.

4.7.6.7 Nuevos cálculos

4.7.6.7.1 Justificaciones de los nuevos cálculos y mejoras

Se ajustaron los valores de consumo considerando solo el promedio para los valores en que el consumo superaba a las importaciones. A diferencia del inventario anterior, este arreglo solo se aplica al año 2005, en donde sucede lo anterior.

4.7.6.7.2 Implicaciones para los niveles de emisión

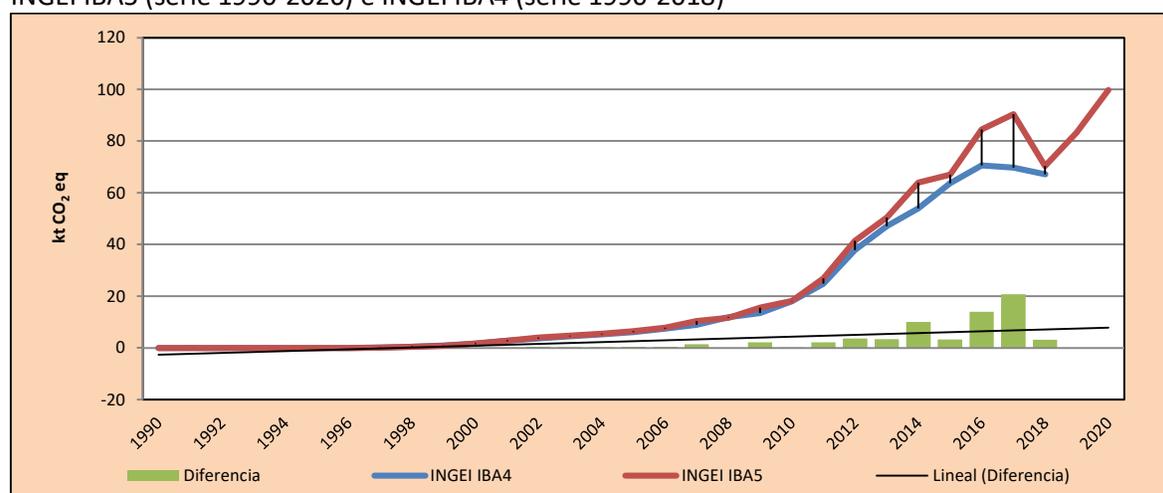
Los nuevos cálculos realizados conllevan un cambio en las emisiones de toda la serie, con un incremento de estas. En la Tabla 4-64 y la Figura 4-25 se puede ver un resumen de los cambios y la serie completa respectivamente. Los cambios tienen su máximo en 2019, bordeando las 20 kt de CO₂ eq.

Tabla 4-64. 2.F.3. Protección contra incendios: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI IBA5 (serie 1990-2020) e INGEI IBA4 (serie 1990-2018)

INGEI	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020
INGEI IBA4	-	1,7	18,0	47,0	70,5	67,1	-
INGEI IBA5	-	1,6	18,2	50,3	84,4	70,3	99,7
Diferencia	-	-0,1	0,1	3,3	13,9	3,1	-
Diferencia %	0,0%	0,0%	0,6%	6,6%	16,4%	4,4%	-

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

Figura 4-25. 2.F.3. Protección contra incendios: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI IBA5 (serie 1990-2020) e INGEI IBA4 (serie 1990-2018)



Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

4.7.6.8 Plan de mejoramiento

No se esperan mejoras en la subcategoría

4.7.7 Aerosoles (2.F.4.)

4.7.7.1 Descripción de la subcategoría

En el sector de los aerosoles los HFC son utilizados como propelentes en diferentes subaplicaciones:

- Higiene Personal: productos para el pelo, desodorantes, cremas de afeitarse, etc.
- Doméstico: productos de limpieza, pinturas en *spray*, productos de comida, desodorante ambiental, insecticidas y repelentes.
- Industrial: aerosoles lubricantes, *sprays* de limpieza, bocinas de seguridad.
- Aerosoles de uso médico tales como inhaladores dosificados (MDI), aerosoles nasales y de uso tópico.

El uso de compuestos fluorados para aerosoles en Chile es abastecido en un 100 % por importaciones, ya que dichos compuestos no se producen en Chile. En los últimos años se ha masificado el uso de hidrocarburos debido su bajo costo, pero en aplicaciones médicas donde se requieren sustancias no tóxicas se emplean los HFC-134a y HFC-227ea.

4.7.7.2 Tendencia de las emisiones de GEI

En 2020, las emisiones de GEI de esta subcategoría contabilizaron 173 kt CO₂ eq (representando el 3,9 % de las emisiones de GEI de la categoría), aumentando en un 184 % desde 2018 (Tabla 4-47 y Figura 4-21). El principal causante de la tendencia es el uso para MDI y el uso de HFC-134a como reemplazo de otras sustancias.

4.7.7.3 Aspectos metodológicos de la subcategoría

Para la estimación de emisiones de la subcategoría *Aerosoles* se aplicó el método Nivel 1 de las *Directrices del IPCC de 2006* 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 4-31. 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.

4.7.7.3.1 Datos de actividad estadísticos y paramétricos

Los datos de actividad de los gases fluorados usados para los aerosoles son elaborados a partir de la información de importación y exportación proporcionados por Aduanas. Según lo informado por la Unidad de Ozono del MMA, en el país no existe producción ni destrucción de gases fluorados. El balance para el consumo es el siguiente:

Ecuación 4-32. 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 debieron aplicar algunas correcciones a los datos de actividad al encontrarse que, para algunos años, la exportación de ciertos gases superaba a la importación. Este hecho parece no seguir el mercado nacional, dado que no se produce ningún tipo de HFC en el país. Para corregir los datos se optó por no considerar estas exportaciones, que a su vez son valores de alrededor de los 100 kg de HFC. Los resultados se encuentran en la siguiente tabla.

Tabla 4-65. 2.F.4. Aerosoles: consumo neto de gases fluorados (kg de HFC), serie 2001 - 2020.

Año	HFC134a	HFC227ea
2001	(41)	-
2002	(522)	-
2003	(588)	-
2004	(115)	-
2005	(533)	-
2006	(278)	-
2007	(280)	-
2008	21.139	200
2009	24.295	-
2010	25.656	1.676
2011	26.043	1.382
2012	34.350	90
2013	34.123	1.499
2014	29.027	1.206
2015	15.456	1.040
2016	37.262	14.541
2017	38.336	2.654
2018	38.060	1.288
2019	80.449	11.796
2020	111.247	10.784

(): Los valores entre paréntesis corresponden a exportaciones que no fueron consideradas.

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

4.7.7.3.2 Factores de emisión

El factor de emisión usado corresponde a 0,5 fracción de la sustancia química emitida, para todas las sustancias, de acuerdo con el factor por defecto de las *Directrices del IPCC de 2006* (Sección 7.3.2.2.; Capítulo 7; Volumen 3).

4.7.7.4 Incertidumbre

La incertidumbre combinada de la subcategoría es de -94,9 % +316,2 %. En general, no se cuenta con información nacional de la incertidumbre de los datos de actividad y los factores de emisión. Para los datos de actividad se optó por una incertidumbre del -30 % y +300 %, ante la ausencia de mejor información por parte de Aduanas, de acuerdo con el punto 7.3.3. Evaluación de incertidumbre, del volumen 3 de las *Directrices del IPCC 2006*. En el caso del factor de emisión, se decidió por una incertidumbre del -90 % y +100 %, 7.2.3. Evaluación de incertidumbre, del volumen 3 de las *Directrices del IPCC 2006*. Un resumen de los resultados de la incertidumbre combinada se presenta en la Tabla 4-66.

Tabla 4-66. 2.F.4. Aerosoles: resumen de la incertidumbre combinada, 2020

Código IPCC	Categoría del IPCC	Gas	Incertidumbre en los datos de actividad		Incertidumbre en el factor de emisión		Incertidumbre combinada	
			(-)%	(+)%	(-)%	(+)%	(-)%	(+)%
2.F.4.	Aerosoles	HFC	30,0%	300,0%	90,0%	100,0%	94,9%	316,2%

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

Una explicación general de la estimación de la incertidumbre se encuentra en la sección 1.6. *Evaluación general de la incertidumbre* y el cuadro de cálculo, junto a los supuestos aplicados, en ANEXO 11.04.

4.7.7.5 Consistencia de la serie temporal

Para mantener la consistencia de la serie 1990-2020 se usaron los mismos factores de emisión y la misma fuente de datos de actividad, tanto estadísticos como paramétricos. Se debieron aplicar algunas correcciones a los datos de actividad las que se describen en la sección 3.7.7.3.1. *supra*.

4.7.7.6 Procedimiento de garantía y control de la calidad y verificación

4.7.7.6.1 Verificación

No se realizaron mayores actividades para la verificación de las emisiones.

4.7.7.7 Nuevos cálculos

4.7.7.7.1 Justificaciones de los nuevos cálculos y mejoras

Para este inventario se actualizó el factor corrector utilizado para obtener la cantidad de propelente por embace. En el inventario anterior se había considerado que cada contenedor tenía un peso neto de propelente de 3,5 gramos. Este valor se actualizó por 10 gramos por embace, tomando en cuenta la información levantada por la Unidad de Ozono en las recomendaciones de la EPA. Este supuesto tiene como consecuencia un aumento del uso de propelentes en el país.

4.7.7.7.2 Implicaciones para los niveles de emisión

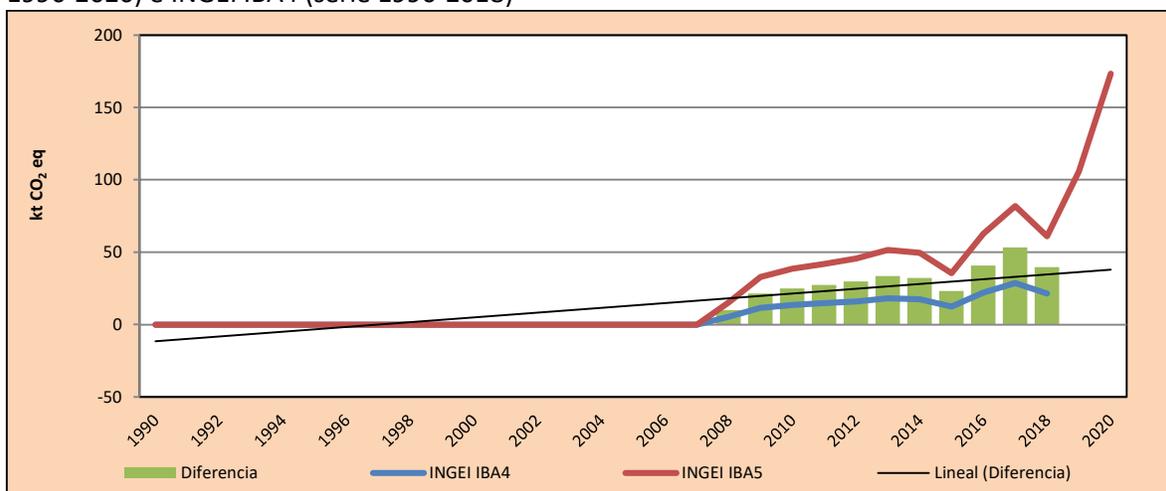
En la Tabla 4-67 y la Figura 4-26 se observa cómo variaron las emisiones de GEI de la subcategoría respecto al inventario anterior (INGEI IBA4). El cambio de factor de peso de propelentes por embace generó un aumento en las emisiones que se relaciona directamente con el uso de este, en otras palabras, hubo un aumento en toda la serie de tiempo.

Tabla 4-67. 2.F.4. Aerosoles: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI IBA5 (serie 1990-2020) e INGEI IBA4 (serie 1990-2018)

INGEI	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020
INGEI IBA4	-	-	13,4	18,0	22,0	21,3	-
INGEI IBA5	-	-	38,4	51,5	62,8	61,0	173,4
Diferencia	-	-	25,0	33,5	40,8	39,6	-
Diferencia %	0,0%	0,0%	65,0%	65,0%	65,0%	65,0%	-

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

Figura 4-26. 2.F.4. Aerosoles: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI IBA5 (serie 1990-2020) e INGEI IBA4 (serie 1990-2018)



Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

4.7.7.8 Plan de mejoramiento

No se consideran mejoras para esta subcategoría.

4.7.8 Solventes (2.F.5.)

4.7.8.1 Descripción de la subcategoría

Los HFC se emplean hoy en aplicaciones de solventes en un grado mucho menor que el uso del CFC-113 anterior a su retiro de la circulación y aún se utilizan PFC en raras ocasiones. Los usos de los HFC y/o PFC como solventes se producen en las cuatro principales áreas siguientes:

- Limpieza de precisión;
- Limpieza en la electrónica;
- Limpieza de metales;
- Aplicaciones de deposición.

El uso de compuestos fluorados para solventes en Chile con fines de limpieza de contactos eléctricos es abastecido en un 100 % por importaciones, ya que dichos compuestos no se producen en Chile. A partir de 2006 comenzaron a importarse estos productos a Chile de manera. Las exportaciones, por el contrario, no son significativas.

4.7.8.2 Tendencia de las emisiones de GEI

En 2020, las emisiones de GEI de esta subcategoría contabilizaron 8,3 kt CO₂ eq (representando el 0,2 % de las emisiones de GEI de la categoría), disminuyendo en un 64 % desde 2018 (Tabla 4-47 y Figura 4-21). El principal causante de la tendencia es el consumo variable de HFC-134a.

4.7.8.3 Aspectos metodológicos de la subcategoría

Para la estimación de emisiones de la subcategoría *Solventes* se aplicó el método Nivel 1 de las *Directrices del IPCC de 2006* 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 4-33. 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.

4.7.8.3.1 Datos de actividad estadísticos y paramétricos

Los datos de actividad de los gases fluorados usados para los solventes son elaborados a partir de la información de importación y exportación proporcionados por Aduanas. Según lo informado por la Unidad de Ozono del MMA, en el país no existe producción ni destrucción de gases fluorados. El balance para el consumo es el siguiente:

Ecuación 4-34. 2.F.5.Solventes: balance de masa para la estimación de consumo de HFC y PFC

$$Consumo = Importación - Exportación$$

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 4-68. 2.F.5.Solventes: consumo neto de gases fluorados (kg de HFC), serie 1998 - 2020.

Año	HFC134a	HFC152a	HFC227ea	HFC245fa	HFC365mfc	HFC43-10mee	PFC-218
1998	269	-	-	-	-	-	-
1999	1.606	-	-	-	-	-	-
2000	2.151	-	-	-	-	39	-
2001	2.253	-	-	-	-	-	-
2002	1.564	441	-	301	301	-	-
2003	585	-	-	5	5	-	-
2004	809	145	-	-	-	-	-

Año	HFC134a	HFC152a	HFC227ea	HFC245fa	HFC365mfc	HFC43-10mee	PFC-218
2005	695	-	10	180	180	-	-
2006	1.126	-	-	238	277	-	-
2007	284	468	-	158	245	-	-
2008	549	11	-	247	376	-	-
2009	379	-	-	54	56	-	-
2010	2.358	-	-	465	746	-	-
2011	3.842	226	-	768	882	-	-
2012	8.896	13	-	906	906	-	-
2013	11.886	-	-	428	428	-	-
2014	9.587	6	-	241	354	-	4
2015	11.940	-	-	900	931	-	6
2016	10.160	4	-	-	145	-	10
2017	13.995	23	-	379	411	10	17
2018	17.239	38	-	480	538	-	10
2019	10.191	10	-	483	483	-	5
2020	597	-	-	99	99	-	3

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

4.7.8.3.2 Factores de emisión

El factor de emisión usado corresponde a 0,5 fracción de la sustancia química emitida, para todas las sustancias, de acuerdo con el factor por defecto de las *Directrices del IPCC de 2006* (Sección 7.2.2.2.; Capítulo 7; Volumen 3).

4.7.8.4 Incertidumbre

La incertidumbre combinada de la subcategoría es de -94,9 % +316,2 %. En general, no se cuenta con información nacional de la incertidumbre de los datos de actividad y los factores de emisión. Para los datos de actividad se optó por una incertidumbre del -30 % y +300 %, ante la ausencia de mejor información por parte de Aduanas, de acuerdo con el punto 7.3.3. Evaluación de incertidumbre, del volumen 3 de las *Directrices del IPCC 2006*. En el caso del factor de emisión, se decidió por una incertidumbre del -90,0 % y +100,0 % de acuerdo con 7.2.3. Evaluación de incertidumbre, del volumen 3 de las *Directrices del IPCC de 2006*. Un resumen de los resultados de la incertidumbre combinada se presenta en la Tabla 4-69.

Tabla 4-69. 2.F.5. Solventes: resumen de la incertidumbre combinada, 2020

Código IPCC	Categoría del IPCC	Gas	Incertidumbre en los datos de actividad		Incertidumbre en el factor de emisión		Incertidumbre combinada	
			(-)%	(+)%	(-)%	(+)%	(-)%	(+)%
2.F.5.	Solventes	HFC	30,0%	300,0%	90,0%	100,0%	94,9%	316,2%

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

Una explicación general de la estimación de la incertidumbre se encuentra en la sección 1.6. *Evaluación general de la incertidumbre* y el cuadro de cálculo, junto a los supuestos aplicados, en ANEXO 11.04.

4.7.8.5 Consistencia de la serie temporal

Para mantener la consistencia de la serie 1990-2020 se usaron los mismos factores de emisión y la misma fuente de datos de actividad, tanto estadísticos como paramétricos. Se debieron aplicar algunas correcciones a los datos de actividad las que se describen en la sección 4.7.8.3.1. *supra*.

4.7.8.6 Procedimiento de garantía y control de la calidad y verificación

4.7.8.6.1 Verificación

No se realizaron mayores actividades para la verificación de las emisiones.

4.7.8.7 Nuevos cálculos

No se realizaron nuevos cálculos en esta subcategoría.

4.7.8.8 Plan de mejoramiento

No se consideraron mejoras para esta subcategoría.

4.7.9 Otras aplicaciones (2.F.6.)

No ocurre en el país.

4.8 Manufactura y utilización de otros productos (2.G.)

4.8.1 Descripción de la categoría

La categoría *Manufactura y utilización de otros productos* incluye las emisiones del uso de SF₆, PFC y N₂O en diferentes aplicaciones que se basan en las diferentes propiedades físicas de estas sustancias, como la elevada constante dieléctrica del SF₆, la estabilidad de los PFC y los efectos anestésicos del N₂O. Las subcategorías incluidas son:

- 2.G.1. Equipos eléctricos.
- 2.G.2. SF₆ y PFC de otros usos de productos.
- 2.G.3. N₂O de usos de productos.

En el contexto nacional se registra la actividad relacionada con equipos eléctricos y con el uso de N₂O en diferentes actividades.

4.8.2 Tendencia de las emisiones de GEI

La categoría *Manufactura y utilización de otros productos* es la quinta categoría emisora de GEI del sector IPPU representando el 3,6 % de las emisiones del sector. En 2020, sus emisiones de GEI contabilizaron 249 kt CO₂ eq, incrementándose en un 1.349 % desde 1990 y en un 119 % desde 2020. El principal causante de la tendencia y las variaciones interanuales es la creciente instalación de interruptores de alta tensión y subestaciones eléctricas, y la mantención de estas, también cabe

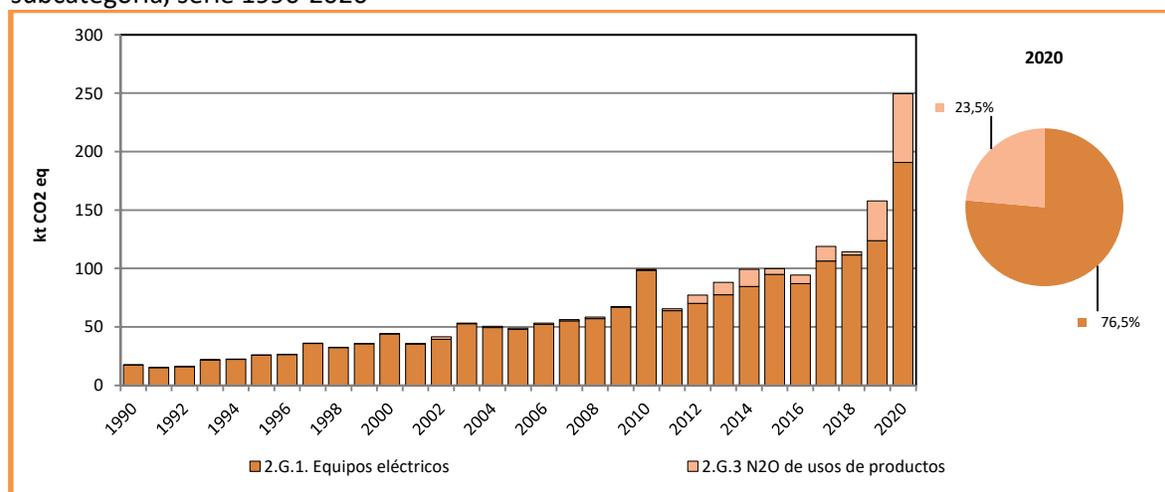
destacar el creciente uso de N₂O en los últimos años de la serie. A lo largo de la serie, las emisiones de esta categoría corresponden casi en su totalidad a las emisiones de la subcategoría *Equipos eléctricos*, sin embargo, en los últimos años el uso de N₂O incrementa de forma sustancial, llegando a tener un 23,5 % de las emisiones en 2020, el restante corresponde a la otra categoría en cuestión (Tabla 4-70 y Figura 4-27).

Tabla 4-70. 2.G. Manufactura y utilización de otros productos: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por subcategoría, serie 1990-2020

Subcategoría	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020
2.G.1. Equipos eléctricos	17,2	43,8	98,3	77,3	86,8	111,5	190,8
2.G.3 N ₂ O de usos de productos	0,1	0,4	1,0	10,7	7,4	2,7	58,7
Total	17,2	44,2	99,3	88,0	94,3	114,2	249,5

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

Figura 4-27. 2.G. Manufactura y utilización de otros productos: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por subcategoría, serie 1990-2020



Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

4.8.3 Aspectos metodológicos de la categoría

Para la estimación de las emisiones de GEI de la categoría se aplicó el método Nivel 1. La subcategoría *SF₆* y *PFC de otros usos de productos* no ocurre en el país, 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 4-71 se observa un resumen de los métodos aplicados por subcategoría y por tipo de GEI.

Tabla 4-71. 2.G. Manufactura y utilización de otros productos: aspectos metodológicos.

Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero	CO ₂		CH ₄		N ₂ O		HFC		PFC		SF ₆	
	Método aplicado	Factor de emisión	Método aplicado	Factor de emisión	Método aplicado	Factor de emisión	Método aplicado	Factor de emisión	Método aplicado	Factor de emisión	Método aplicado	Factor de emisión
2.G. Manufactura y utilización de otros productos					T1, NA, NE	D, NA, NE			NA, NO	NA, NO	T1, NA, NO	D, NA, NO
2.G.1. Equipos eléctricos									NO	NO	T1	D
2.G.2. SF ₆ y PFC de otros usos de productos									NA, NO	NA, NO	NA, NO	NA, NO
2.G.3. N ₂ O de usos de productos					T1, NA, NE	D, NA, NE						
2.G.4. Otros (especificar)												

T1 = Nivel 1; T2 = Nivel 2; T3 = Nivel 3; C = Información confidencial; CS = País específico; D = Por defecto; IE = Incluida en otro lugar; NA = No aplica; NE = No estimada; NO = No ocurre
Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

El cálculo de las emisiones para las subcategorías en las que se aplicó el método Nivel 1 se realizó a través de planillas Excel basadas en las de las *Directrices del IPCC de 2006*.

4.8.4 Equipos eléctricos (2.G.1.)

4.8.4.1 Descripción de la subcategoría

El hexafluoruro de azufre (SF₆) se emplea como aislante eléctrico y para interrumpir la corriente en los equipos utilizados en la transmisión y distribución de electricidad. Las emisiones se producen en cada etapa del ciclo de vida útil de los equipos, incluida la fabricación, la instalación, el uso, el mantenimiento y la eliminación. La mayor parte del SF₆ utilizado en los equipos eléctricos se emplea en conmutadores y subestaciones con aislación de gas (GIS, del inglés, Gas-Insulated Substations) y en los disyuntores a gas (GCB, del inglés, Gas Circuit Breakers), aunque parte del SF₆ se emplea en líneas de alta tensión con aislación de gas (GIL, del inglés, Gas-Insulated Lines), en transformadores para aparatos de medida externos con aislación de gas y en otros equipos.

En Chile a partir de la década de 1980 se han construido varios proyectos que emplean GIS, principalmente como patios de alta tensión de centrales térmicas e hidráulicas, subestaciones en zonas urbanas y subestaciones de alimentación eléctrica a proyectos mineros. 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.

4.8.4.2 Tendencia de las emisiones de GEI

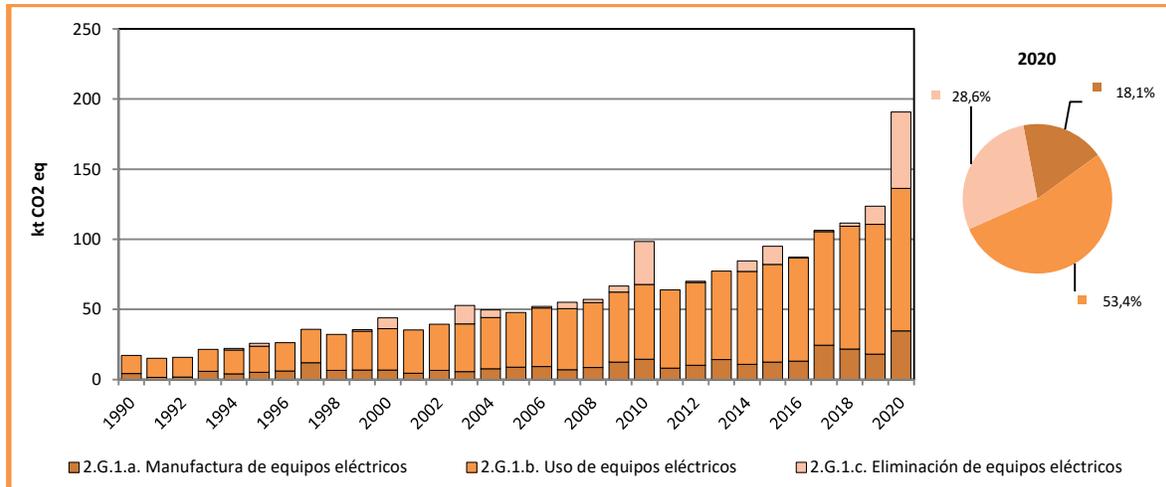
La subcategoría *Equipos eléctricos* es la principal subcategoría emisora estimada dentro de la categoría *Manufactura y utilización de otros productos* (representando un 53% de la categoría). En 2020, las emisiones de GEI de contabilizaron 102 kt CO₂ eq, incrementándose en un 680 % desde 1990 y en un 16 % desde 2018 (Tabla 4-72 y Figura 4-28). Si bien históricamente la subcategoría anterior ha dominado la serie, en los últimos años la eliminación de equipos ha tomado relevancia, debido al fin de vida útil de algunos equipos.

Tabla 4-72. 2.G.1. Equipos eléctricos: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por componente, serie 1990-2020

Componente	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020
2.G.1.a. Manufactura de equipos eléctricos	4,1	6,6	14,3	14,1	13,0	21,7	34,5
2.G.1.b. Uso de equipos eléctricos	13,1	29,6	53,5	63,2	73,7	87,6	101,8
2.G.1.c. Eliminación de equipos eléctricos	0,0	7,6	30,5	0,0	0,1	2,2	54,5
Total	17,2	43,8	98,3	77,3	86,8	111,5	190,8

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

Figura 4-28. 2.G.1. Equipos eléctricos: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por componente, serie 1990-2020



Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

4.8.4.3 Aspectos metodológicos de la subcategoría

Para la estimación de emisiones de la subcategoría *Equipos eléctricos* se utilizó un método de Nivel 1 de acuerdo con las *Directrices del IPCC 2006*, 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:

- $E_{Manufactura} = Factor\ Emisión_{Manufactura} \cdot Total\ SF_6\ consumido\ Manufactura,$
- $E_{Instalación} = Factor\ Emisión_{Instalación} \cdot Capacidad\ total\ de\ equipo\ nuevo\ llenado\ en\ sitio\ (y\ no\ en\ la\ fabrica),$
- $E_{Uso} = Factor\ Emisión_{Uso} \cdot Capacidad\ total\ de\ equipos\ instalados,\ y$
- $E_{Disposición} = Fracción\ SF_6\ remanente \cdot Capacidad\ total\ equipos\ retirados.$

Es importante mencionar que en el caso nacional no existe manufactura de estos equipos.

4.8.4.3.1 Datos de actividad estadísticos y paramétricos

Los datos de actividad recopilados para la estimación de emisiones corresponden a la capacidad de SF₆ en nuevos equipos instalados, SF₆ presente en los equipos en uso de acuerdo con la capacidad

nominal y, la capacidad de los equipos retirados. Los datos se obtuvieron para toda la serie temporal, distinguiendo entre equipos interruptores de alta tensión y baja tensión y subestaciones eléctricas encapsuladas (GIS). Los datos fueron estimados a partir de información reportada por el coordinador eléctrico general, lo que se complementó con el estudio “Revisión de la tecnología y valorización de proyectos de instalación y operación de subestaciones GIS” de 2013 solicitado por la Comisión nacional de energía (Tabla 4-73 y Tabla 4-74). 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 kV⁴⁶.

Tabla 4-73. 2.G.1. Equipos eléctricos: datos de actividad de equipos eléctricos HV (kg) para las diferentes etapas del ciclo de vida, serie 1990-2020

Año	Capacidad instalada (kg)	Sistemas en operación (kg)	Remanente en equipos retirados (kg)
1990	2.100	21.950	-
1991	750	22.700	-
1992	900	23.600	-
1993	2.900	26.500	-
1994	2.050	28.500	50
1995	2.650	31.050	100
1996	3.100	34.150	-
1997	6.100	40.250	-
1998	3.250	43.500	-
1999	3.400	46.850	50
2000	3.400	49.900	350
2001	2.200	52.100	-
2002	3.350	55.450	-
2003	2.800	57.650	600
2004	3.950	61.350	250
2005	4.450	65.800	-
2006	4.700	70.450	50
2007	3.500	73.750	200
2008	4.400	78.050	100
2009	6.350	84.200	200
2010	7.350	90.150	1.400
2011	4.100	94.250	-
2012	5.150	99.350	50
2013	7.250	106.600	-
2014	5.500	111.750	350
2015	6.300	117.450	600
2016	6.700	124.150	-
2017	12.500	136.600	50
2018	11.150	147.650	100
2019	9.200	156.250	600
2020	17.700	171.450	2.500

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

⁴⁶ http://studiecd.dk/cahiers_techniques/SF6_properties.pdf

Tabla 4-74. 2.G.1. Equipos eléctricos: datos de actividad de equipos eléctricos MV (kg) para las diferentes etapas del ciclo de vida, serie 1990-2020

Año	Capacidad instalada (kg)	Sistemas en operación (kg)	Remanente en equipos retirados (kg)
1990	26	173	-
1991	46	219	-
1992	4	223	-
1993	44	266	-
1994	17	284	-
1995	18	302	-
1996	8	310	-
1997	17	326	-
1998	14	340	-
1999	18	358	-
2000	19	377	-
2001	11	389	-
2002	10	398	-
2003	19	418	-
2004	4	421	1
2005	22	443	-
2006	12	455	-
2007	11	461	5
2008	1	461	1
2009	26	485	2
2010	34	510	9
2011	8	518	-
2012	34	551	1
2013	22	573	-
2014	18	591	-
2015	26	617	-
2016	40	650	7
2017	33	683	1
2018	57	740	-
2019	57	797	-
2020	108	887	18

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

4.8.4.3.2 Factores de emisión

Los factores de emisión de SF₆ para la instalación, uso y disposición de equipos eléctricos dependen del tipo de equipo y la región. De acuerdo con datos de Aduana la mayor parte de los equipos instalados son de Europa por lo que se consideraron los valores por defecto correspondientes de las *Directrices del IPCC de 2006*. Los factores de emisión se presentan en la Tabla 4-75.

Tabla 4-75. 2.G.1. Equipos eléctricos: factores de emisión (fracción) para cada etapa, por tipo de equipo.

Etapa	equipos HV (*)	equipos MV (**)
Instalación	0,085	0,070
Uso	0,026	0,002
Disposición	0,950	0,930

Fuente: (*) Cuadro 8.3; Capítulo 8, Volumen 3; Directrices del IPCC de 2006 (**) Cuadro 8.4; Capítulo 8; Volumen 3; Directrices del IPCC de 2006

4.8.4.4 Incertidumbre

La incertidumbre combinada de la subcategoría es de -36,1 % +50 %. En general, no se cuenta con información nacional de la incertidumbre de los datos de actividad y los factores de emisión, por lo que consideraron las recomendadas por las *Directrices del IPCC de 2006* (Cuadro 8.5; Capítulo 8; Volumen 3). Un resumen de los resultados de la incertidumbre combinada se presenta en la Tabla 4-76.

Tabla 4-76. 2.G.1. Equipos eléctricos: resumen de la incertidumbre combinada, 2020

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%

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

Una explicación general de la estimación de la incertidumbre se encuentra en la sección 1.7. *Evaluación general de la incertidumbre* y el cuadro de cálculo, junto a los supuestos aplicados, en ANEXO 11.04.

4.8.4.5 Consistencia de la serie temporal

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

4.8.4.6 Procedimiento de garantía y control de la calidad y verificación

4.8.4.6.1 Verificación

En esta actualización del inventario no se realizó un proceso de verificación, sin embargo, se tiene en consideración el proceso llevado en el inventario anterior. Esta verificación consideró los datos de importación y exportación de aduanas, en donde se realizó un balance con lo requerido según la capacidad instalada en el país. Este balance arroja una gran diferencia entre ambos métodos de estimación, por lo que es necesario confirmar a que se deben estas diferencias con empresas del rubro. En esta ocasión solo se consultó con el proveedor de información, el Coordinador Eléctrico Nacional⁴⁷, pero no se pudo clarificar esta diferencia.

4.8.4.7 Nuevos cálculos

4.8.4.7.1 Justificaciones de los nuevos cálculos y mejoras

Se actualizaron algunos criterios en el tratamiento de la base de datos, lo que implicó un cambio en el uso total de SF₆. Estos cambios fueron realizados para dar consistencia a la serie, sin embargo, no resultaron en un cambio importante en las emisiones.

⁴⁷ <https://www.coordinador.cl/>

4.8.4.7.2 Implicaciones para los niveles de emisión

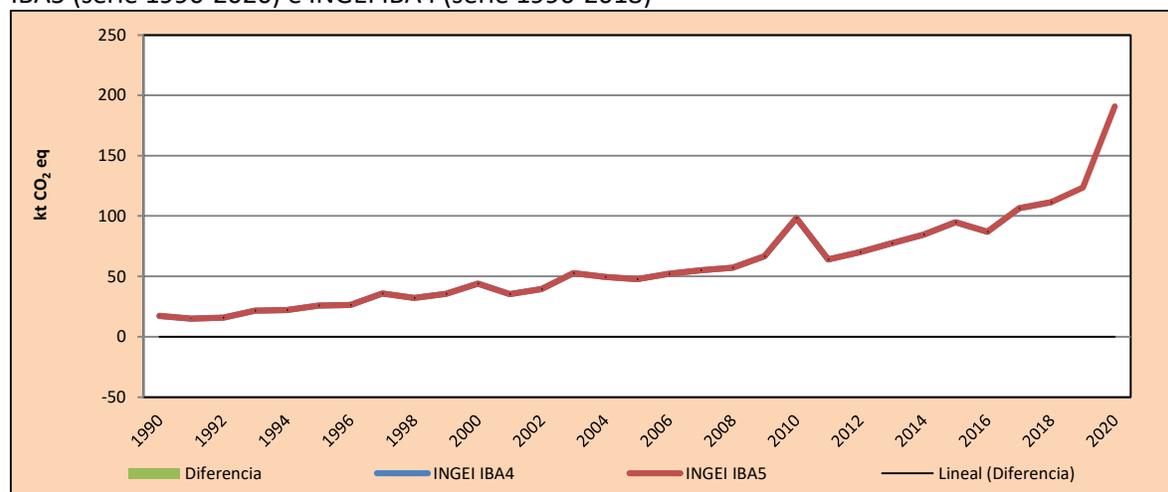
En la Tabla 4-77 y la Figura 4-29 se observa cómo variaron las emisiones de GEI de la subcategoría respecto al inventario anterior (INGEI IBA4). Los cambios generaron un aumento en las emisiones, pero como se menciona anteriormente, estos son muy pequeños.

Tabla 4-77. 2.G.1. Equipos eléctricos: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI IBA5 (serie 1990-2020) e INGEI IBA4 (serie 1990-2018)

INGEI	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020
INGEI IBA4	17,1	43,8	98,3	77,3	86,8	111,4	-
INGEI IBA5	17,2	43,8	98,3	77,3	86,8	111,5	190,8
Diferencia	0,03	0,01	0,03	0,01	0,03	0,06	-
Diferencia %	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,00	-

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

Figura 4-29. 2.G.1. Equipos eléctricos: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI IBA5 (serie 1990-2020) e INGEI IBA4 (serie 1990-2018)



Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

4.8.4.8 Plan de mejoramiento

Según el trabajo realizado por el equipo sectorial de IPPU, se tienen las siguientes mejoras en consideración:

- Verificar otros posibles usos de SF₆ en el país, considerando el balance realizado en el inventario anterior.

4.8.5 SF₆ y PFC de otros usos de productos (2.G.2.)

Esta subcategoría no ocurre en el país.

4.8.6 N₂O de otros usos de productos (2.G.3.)

4.8.6.1 Descripción de la subcategoría

Las emisiones por evaporación de óxido nitroso (N₂O) pueden producirse a partir de varios tipos de uso de los productos, incluidos:

- Las aplicaciones médicas (uso de anestésicos, analgésicos y usos veterinarios);
- Los usos como propulsor en los productos de aerosol, principalmente en la industria alimenticia (crema batida en latas a presión, etc.);
- Los agentes oxidantes utilizados, junto al a
- La producción de azida sódica, que se usa para inflar las bolsas de aire de los automóviles (airbag);
- El uso como oxidante de combustible en las carreras automovilísticas; y
- Los agentes oxidantes en los sopletes empleados en joyería y otros usos.

De acuerdo con la información recopilada por el equipo técnico, se contabilizan las diferentes actividades anteriores en una sola categoría, siendo esta 2.G.3.c.

4.8.6.2 Tendencia de las emisiones de GEI

En 2020, las emisiones de GEI de esta subcategoría contabilizaron 59 kt CO₂ eq, lo que representa el 23,5 % de las emisiones de GEI de la categoría. Este máximo histórico se traduce en un aumento de las emisiones en un 104.018 % desde 1990 y un 2.091 % desde 2018 disminuyendo en un 37 % desde 2016 (Tabla 4-70 y Figura 4-27). Esta tendencia al alza se debe al incremento exponencial de las importaciones de N₂O y por consecuencia su uso. No se encontraron exportaciones de N₂O.

4.8.6.3 Aspectos metodológicos de la subcategoría

Para la estimación de emisiones de la subcategoría *Aplicaciones médicas* se aplicó el método Nivel 1 de las *Directrices del IPCC de 2006* 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

4.8.6.3.1 Datos de actividad estadísticos y paramétricos

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 – 2020, 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 2.G.3.c. *Otros*, que presenta usos varios de N₂O. La Tabla 4-78 muestra la serie de datos construida.

Tabla 4-78. 2.G.3.c. Otros: datos de actividad, consumo de N₂O para la serie 1990 – 2020.

Año	Uso de N ₂ O (kg)
1990	189
1991	231
1992	283
1993	346
1994	423
1995	517
1996	632
1997	773
1998	946
1999	1.156
2000	1.414
2001	1.729
2002	7.260
2003	1.501
2004	3.670
2005	3.787
2006	4.003
2007	4.445
2008	4.330
2009	1.858
2010	3.300
2011	4.913
2012	23.662
2013	35.952
2014	48.927
2015	16.432
2016	24.990
2017	41.818
2018	8.992
2019	114.390
2020	197.026

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

4.8.6.3.2 Factores de emisión

No se utiliza factor de emisión

4.8.6.4 Incertidumbre

La incertidumbre combinada de la subcategoría es de +-100 % y se atribuye netamente a los datos de actividad. La incertidumbre considera las recomendaciones de *Directrices del IPCC de 2006* (numeral 8.43.1; del Capítulo 8; Volumen 3). La Tabla 4-79 muestra un resumen para la incertidumbre de la subcategoría en 2020.

Tabla 4-79. 2.G.3.c. Otros: resumen de la incertidumbre combinada, 2020

Código IPCC	Categoría del IPCC	Gas	Incertidumbre en los datos de actividad		Incertidumbre en el factor de emisión		Incertidumbre combinada	
			(-)%	(+)%	(-)%	(+)%	(-)%	(+)%
2.G.3.c	Otros	N ₂ O	100,0%	100,0%	0,0%	0,0%	100,0%	100,0%

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

Una explicación general de la estimación de la incertidumbre se encuentra en la sección 1.7. *Evaluación general de la incertidumbre* y el cuadro de cálculo, junto a los supuestos aplicados, en ANEXO 11.04.

4.8.6.5 Consistencia de la serie temporal

Para mantener la consistencia de la serie 1990-2018 se la misma fuente de datos de actividad, tanto estadísticos como paramétricos.

4.8.6.6 Procedimiento de garantía y control de la calidad y verificación

4.8.6.6.1 Verificación

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.

4.8.6.7 Nuevos cálculos

4.8.6.7.1 Justificaciones de los nuevos cálculos y mejoras

Para esta actualización se consideraron otras fuentes de información, con una serie histórica más completa. En este caso la serie de datos disponibles de aduanas considera la serie 2002 – 2020, por lo que se decidió utilizar esta por sobre la anterior que solo contaba con datos del 2012 al 2018, además, solo contabilizaba los datos sobre usos médicos. Esta nueva base de datos no permite separar por tipo de uso, pero debería considerar todos los usos a nivel nacional.

4.8.6.7.2 Implicaciones para los niveles de emisión

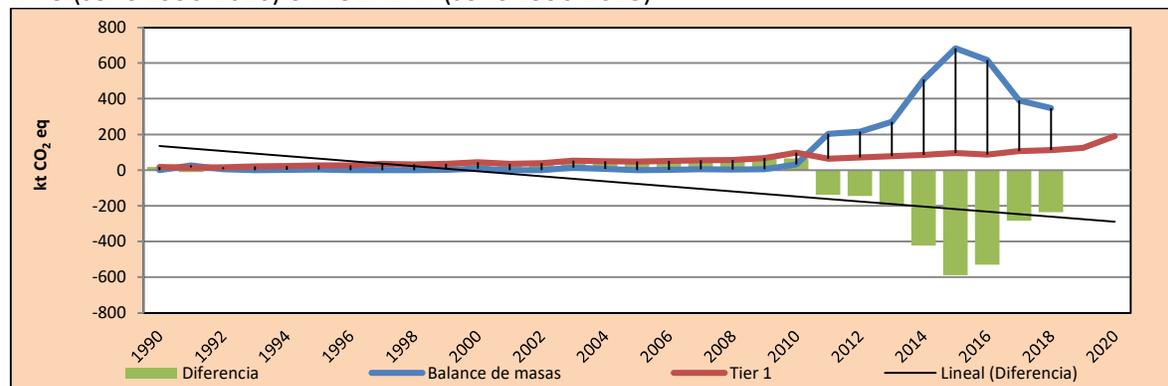
En la Tabla 4-80 y la Figura 4-30 se observa cómo variaron las emisiones de GEI de la subcategoría respecto al inventario anterior (INGEI IBA4). La nueva serie de tiempo genera una baja en las emisiones en los primeros años de la serie, para luego aumentar sustancialmente, llegando a tener diferencias máximas cercanas a las 14 kt de CO₂ eq en el 2014.

Tabla 4-80. 2.G.1. Equipos eléctricos: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI IBA5 (serie 1990-2020) e INGEI IBA4 (serie 1990-2018)

INGEI	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020
INGEI IBA4	0,6	0,6	0,6	0,4	0,4	0,2	-
INGEI IBA5	0,1	0,4	1,0	10,7	7,4	2,7	58,7
Diferencia	-0,58	-0,22	0,34	10,29	7,06	2,43	-
Diferencia %	0,0%	0,0%	35,0%	96,0%	94,8%	90,8%	-

Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

Figura 4-30. 2.G.1. Equipos eléctricos: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI IBA5 (serie 1990-2020) e INGEI IBA4 (serie 1990-2018)



Fuente: Equipo Técnico de IPPU del MMA

4.8.6.8 Plan de mejoramiento

Según la información levantada por el equipo técnico, se considera que las siguientes mejoras deberían realizarse:

- Verificar producción de N₂O en el país.
- Verificar la disponibilidad de información para los años pre-2002.

4.8.7 Otros (2.G.4.)

Esta subcategoría no ocurre en el país.

4.9 Otros (2.H.)

Esta categoría no aplica dada las circunstancias nacionales.

5 SECTOR AGRICULTURA (3)

5.1 Panorama general

5.1.1 Introducción

El sector Agricultura incluye las emisiones y absorciones de GEI asociadas a las actividades agropecuarias de las tierras gestionadas en las que ha habido intervención humana y donde se han aplicado prácticas para la realización de actividades de producción, ecológicas o sociales. Este conjunto de actividades incluye:

- Las emisiones de CH₄ producidas por la fermentación entérica en el ganado;
- Las emisiones de CH₄ y N₂O de los sistemas de gestión del estiércol;
- Las emisiones de CO₂ relacionados con la utilización de fertilizantes inorgánicos;
- Las emisiones de CO₂ producido por el drenaje de suelos orgánicos gestionados;
- Las emisiones directas e indirectas de N₂O de los suelos gestionados;
- Las emisiones de CO₂ relacionadas con la aplicación de cal y urea en tierras gestionadas
- Las emisiones de CH₄ del cultivo del arroz;
- Las emisiones de CO₂ por quemas de residuos agrícolas

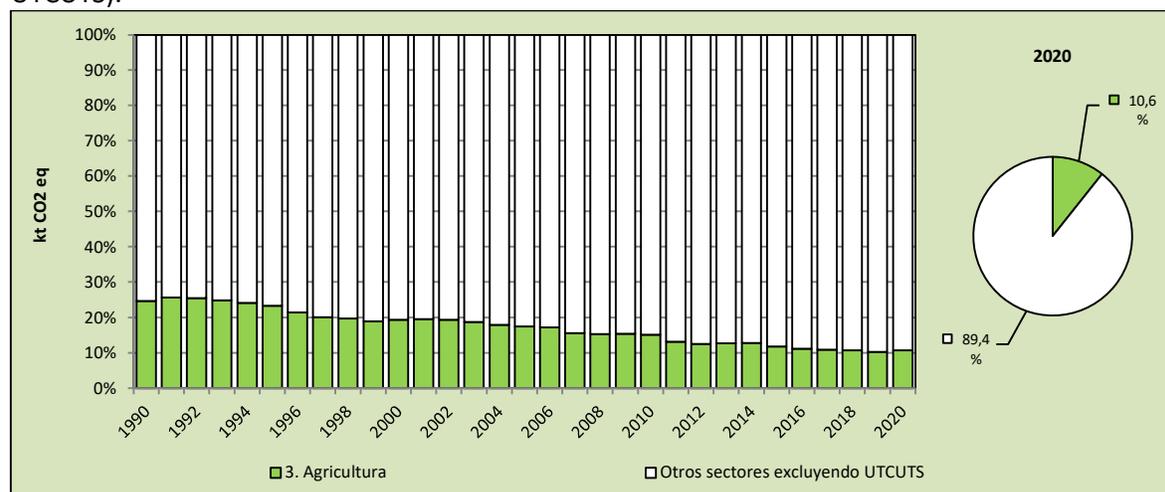
Dada la particular variación longitudinal de las características edafoclimáticas del país, las emisiones totales nacionales se estiman como la suma de las emisiones regionales del sector agropecuario.

Chile se encuentra organizado en 16 regiones políticas, incluyendo la Región Metropolitana. En este informe se incluye la actualización de la serie de tiempo 1990-2020, considerando la división política de la Región del Biobío y la creación de la nueva región de Ñuble, que entró en vigor el 1 de enero de 2018.

5.1.2 Tendencia de las emisiones de GEI

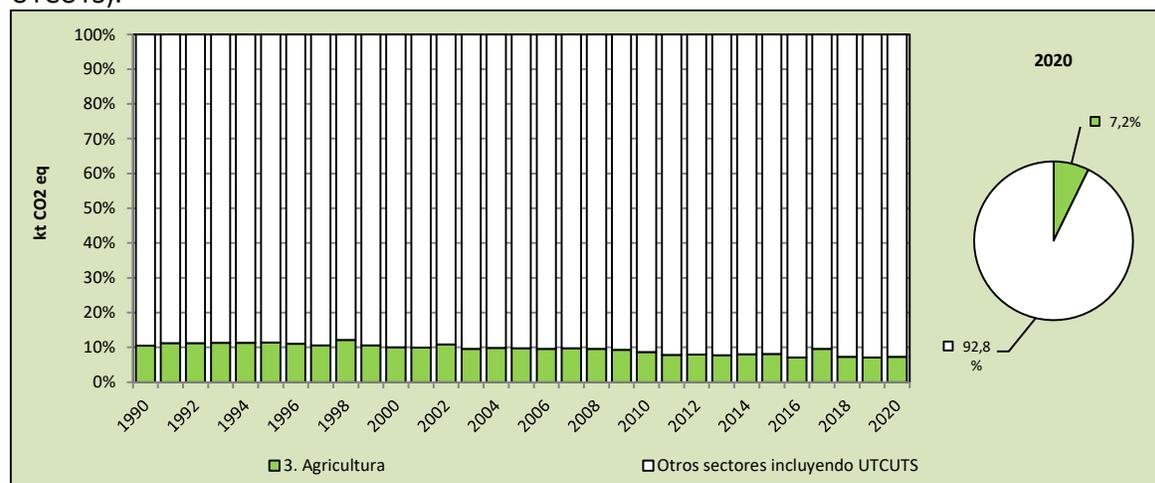
El sector Agricultura representó el 10,6 % de las emisiones de GEI totales (Figura 5-1) y el 7,2 % del balance de GEI del país (Figura 5-2) para el 2020.

Figura 5-1. Sector Agricultura: participación del sector en las emisiones de GEI totales (excluyendo UTCUTS).



Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

Figura 5-2. Sector Agricultura: participación del sector en las emisiones de GEI totales (incluyendo UTCUTS).



Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

En 2020, las emisiones de GEI del sector contabilizaron 11.237,7 kt CO₂ eq, disminuyendo en un 6,4 % desde 1990 y disminuyendo en 3,6 % desde 2018 (Tabla 5-1 y Figura 5-3). Esto se debe principalmente a la reducción de la población respecto del año 1990, de ganado bovino, en las categorías otros bovinos (-34 %, que incluye ganado bovino de carne, vaquillas y terneros) y ovino (-51 %). 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).

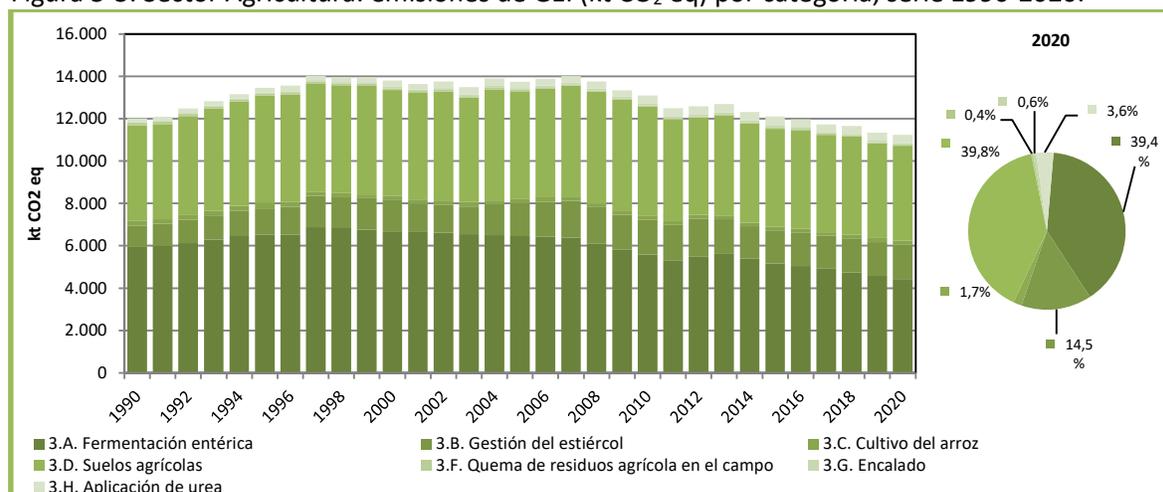
Según los datos estimados, el 39,8 % de las emisiones de GEI corresponden a la categoría *Suelos agrícolas*, le siguen con 39,4 % la categoría de *Fermentación Entérica*, 14,5 % por *Gestión del estiércol*, 3,6 % por *Aplicación de Urea*, 1,7 % de *Cultivo de Arroz*, 0,6 % por *Encalado* y 0,4 % correspondiente a *Quema de residuos agrícolas en el campo*. En comparación al año 1990, durante el año 2020 la mayor reducción se ha producido en la categoría quema de residuos agrícolas en el campo (-60,8 %), debido a la regulación de éstas a través de la legislación vigente que faculta a CONAF (Corporación Nacional Forestal) para establecer medidas de utilización del fuego en forma segura y sólo como quema controlada en el territorio nacional desde el año 2016 (CONAF, 2021). En segundo lugar, se ubica la categoría fermentación entérica (-25,6 %), éste último asociado a la reducción de la masa ganadera bovina (principalmente bovinos de carne) y ovina. El mayor aumento en emisiones respecto al año 1990, se observó en las categorías aplicación de urea (+133,6 %), seguido por encalado (+119,4 %), y en tercer lugar por gestión del estiércol (+62,2 %), esta última categoría aumentó principalmente por el incremento en la población de aves (+130%) y cerdos (+209%).

Tabla 5-1. Sector Agricultura: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por categoría, serie 1990-2020.

Categoría	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020
3.A. Fermentación entérica	5.950,1	6.690,2	5.579,3	5.621,7	5.042,1	4.751,6	4.426,1
3.B. Gestión del estiércol	1.003,5	1.493,9	1.638,6	1.631,0	1.568,7	1.567,6	1.627,5
3.C. Cultivo del arroz	237,5	187,8	178,7	153,0	193,4	215,2	192,4
3.D. Suelos agrícolas	4.497,0	4.982,2	5.179,0	4.730,7	4.661,9	4.620,2	4.475,2
3.F. Quema de residuos agrícola en el campo	116,5	78,0	44,7	49,2	57,8	56,6	45,7
3.G. Encalado	30,8	63,6	92,9	108,9	88,4	75,1	67,6
3.H. Aplicación de urea	172,6	302,9	377,2	400,4	357,0	365,7	403,3
Total	12.008,1	13.798,6	13.090,5	12.695,0	11.969,4	11.651,8	11.237,7

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

Figura 5-3. Sector Agricultura: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por categoría, serie 1990-2020.



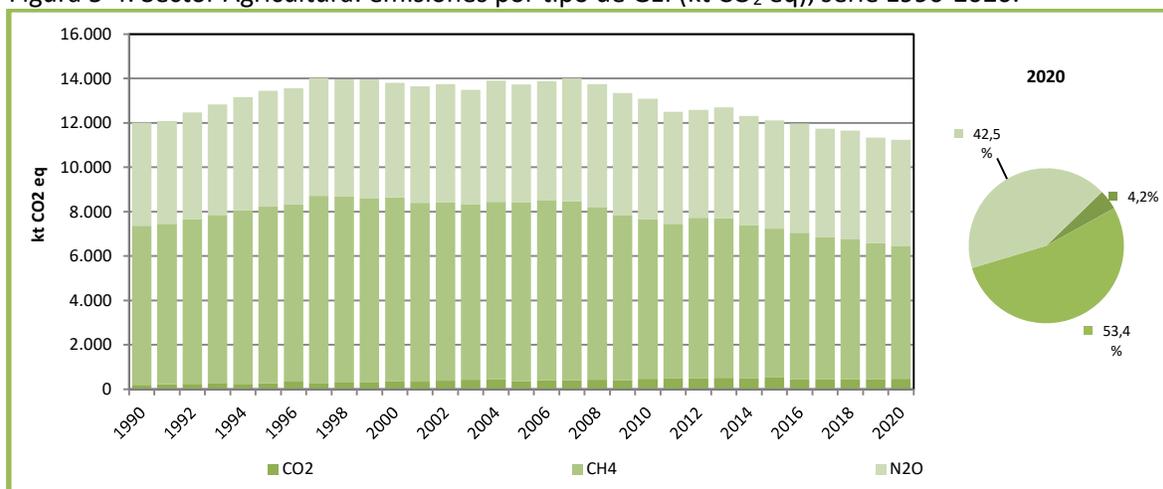
Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

En 2020, el principal GEI emitido por el sector fue el CH₄, representando un 53,4 % del sector. Lo sigue el N₂O con un 42,5 % y el CO₂ con un 4,2 % (Tabla 5-2 y Figura 5-4). Esta importancia relativa de los distintos gases da cuenta de las principales fuentes de generación, en donde el sector pecuario, por la fermentación entérica se ha mantenido como la principal fuente en el período evaluado.

Tabla 5-2. Sector Agricultura: emisiones por tipo de GEI (kt CO₂ eq), serie 1990-2020.

GEI	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020
CO ₂	203,4	366,5	470,1	509,3	445,4	440,8	470,8
CH ₄	7.169,4	8.277,7	7.197,5	7.199,5	6.599,3	6.313,7	5.996,0
N ₂ O	4.635,2	5.154,4	5.422,9	4.986,2	4.924,8	4.897,4	4.770,9
Total	12.008,1	13.798,6	13.090,5	12.695,0	11.969,4	11.651,8	11.237,7

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

Figura 5-4. Sector Agricultura: emisiones por tipo de GEI (kt CO₂ eq), serie 1990-2020.

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

5.1.3 Aspectos metodológicos generales del sector

Para todas las categorías consideradas en el sector se utilizaron las metodologías propuestas por las *Directrices del IPCC de 2006*. Se aplicó el método Nivel 2 para las emisiones de CH₄ de la subcategoría *Ganado bovino* de la categoría *Fermentación entérica* usando factores de emisión país específico; al igual que para las emisiones de CH₄ y N₂O de la subcategoría *Ganado bovino* y *Porcinos* de la categoría *Gestión del estiércol*; en todas las otras especies de ambas categorías se aplicó un método Nivel 1. Para todas las subcategorías de la categoría *Suelos agrícolas* se aplicó método Nivel 1, excepto para las regiones de Ñuble, Biobío, La Araucanía, Los Ríos y Los Lagos en la subcategoría *Fertilizantes Inorgánicos* en que se empleó factores de emisión país específico. En el caso de las categorías *Encalado*, *Cultivo de arroz*, *Aplicación de urea* y *Quema de residuos agrícolas* se aplicó un método Nivel 1. Para mayor detalle de la información, se sugiere revisar las secciones específicas de cada categoría y subcategoría. En la Tabla 5-3 se observa un resumen de los métodos aplicados por categoría y por tipo de GEI.

Tabla 5-3. Sector Agricultura: métodos aplicados por categoría.

Código IPCC	Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero	CO ₂		CH ₄		N ₂ O	
		Método aplicado	Factor de emisión	Método aplicado	Factor de emisión	Método aplicado	Factor de emisión
3.	Agricultura	T1, NO, NA	D, NO, NA	T1, T2, NO, NA	CS, D, NO, NA, NE	T1, T2, NO, NA, NE	CS, D, NO, NA, NE
3.A.	Fermentación entérica			T1, T2, NO	CS, D, NO		
3.B.	Gestión del estiércol			T1, T2, NO	CS, D, NO	T1, T2, NO	CS, D, NO
3.C.	Cultivo del arroz			T1, NE, NO	D, NE, NO		
3.D.	Suelos agrícolas					T1, T2, NE	D, CS, NE
3.E.	Quema prescrita de sabanas	NO	NO				
3.F.	Quema de residuos agrícola en el campo			T1	D	T1	D
3.G.	Encalado	T1	D				
3.H.	Aplicación de urea	T1	D				
3.I.	Otros fertilizantes que contienen carbono	NO	NO				
3.J.	Otros (Fertilizantes inorgánicos - arrozales inundados)	NA	NA	NA	NA	NA	NA

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

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

5.1.4 Datos de actividad del sector

En el sector Agricultura los principales datos de actividad son la población de las especies animales (número de cabezas), y la cantidad de fertilizante aplicado a los suelos (toneladas). Esta información proviene principalmente de los Censos Agropecuarios y Forestales 1997 y 2007, encuestas sectoriales (rubros), información aportada por la empresa privada y anuarios estadísticos elaborados por las mismas instituciones que forman parte del Equipo Técnico de Agricultura (ODEPA). Mayor detalle de las fuentes de datos de actividad será presentado en cada sección específica. Los Censos Agropecuarios y Forestales del país se realizan cada 10 años, siendo el último publicado el 2007 y debiendo haberse realizado uno el 2017, que fue postergado para el segundo semestre de 2021, el cual a la fecha aún no tiene datos publicados oficialmente.

5.2 Fermentación entérica (3.A.)

5.2.1 Descripción de la categoría

Esta categoría incluye las emisiones de CH₄ generadas por la fermentación entérica que se produce en los sistemas digestivos de los animales. La categoría está conformada por las subcategorías siguientes:

- 3.A.1. Ganado bovino,
- 3.A.2. Ovinos,
- 3.A.3. Porcinos y
- 3.A.4. Otras especies.

En el contexto nacional, estas subcategorías incluyen diversas especies animales agrupadas en los siguientes componentes:

- Ganado bovino (incluye vacas lecheras, vacas carne, vaquillas, adultos carne, jóvenes carne y terneros);

- Ovinos (ovejas);
- Caprinos (cabras);
- Camélidos (incluye como población única a llamas y alpacas);
- Equinos (caballos);
- Mulas y asnos;
- Porcinos (cerdos desagregados en verracos, marranas y juveniles);
- Aves de corral (incluye como población única a gallinas ponedoras y de carne, patos, pavos y otras aves de corral); y
- Ciervos y Jabalíes.

5.2.2 Tendencia de las emisiones de GEI

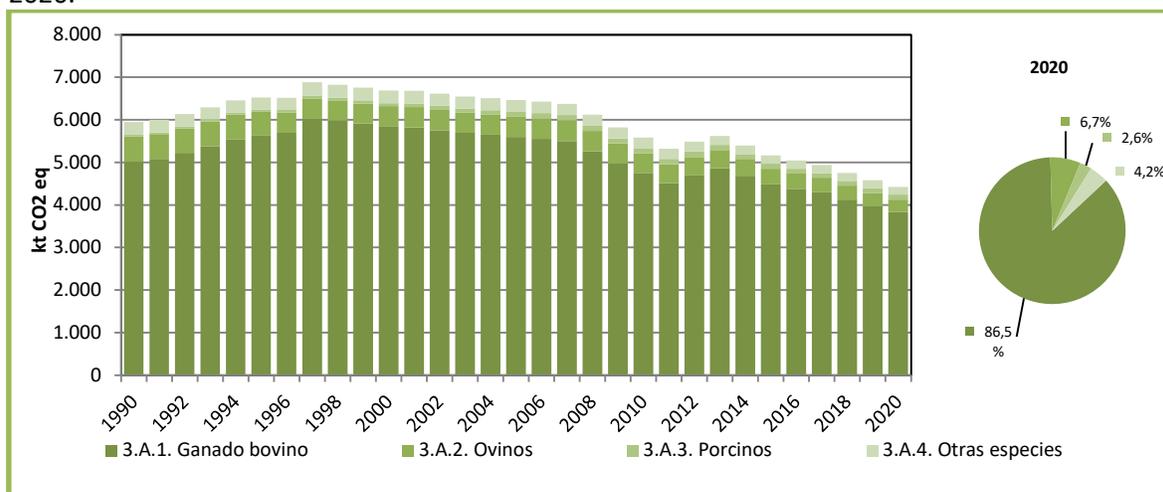
La categoría *Fermentación entérica* es la segunda categoría en importancia emisora de GEI del sector *Agricultura*, representando el 39,4 % de las emisiones de GEI del sector. En 2020, sus emisiones de GEI contabilizaron 4.426,1 kt CO₂ eq, disminuyendo en un 25,6 % desde 1990 y en un 6,8 % desde 2018. El principal causante de la tendencia y las variaciones interanuales es la baja en las poblaciones de ganado bovino (principalmente de carne), y ovino, que representan el 86,5 % y 6,7 % de emisiones en esta categoría para el 2020, respectivamente. Estas reducciones dicen relación con las disminuciones de la rentabilidad de los negocios de producción de carne por importación de este tipo de producto (ODEPA, 2013; Rojas, 2019; Ortega *et al.*, 2020), y por una reducción del precio de venta de 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. 3.A. Fermentación entérica: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por subcategoría, serie 1990-2020.

Componente	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020
3.A.1. Ganado bovino	5.015,0	5.849,7	4.752,6	4.864,7	4.377,8	4.124,5	3.830,3
3.A.2. Ovinos	598,7	472,4	453,7	425,3	356,1	325,3	294,5
3.A.3. Porcinos	37,8	70,1	116,4	119,3	114,6	112,6	116,7
3.A.4.b. Caprinos	109,6	92,3	101,3	70,8	65,0	68,5	72,0
3.A.4.c. Equinos	156,4	174,0	131,6	118,9	106,1	97,7	89,2
3.A.4.d. Mulas y asnos	8,9	7,2	5,1	4,5	3,9	3,5	3,2
3.A.4.f. Camélidos	23,0	22,2	13,2	12,5	12,6	13,3	13,9
3.A.4.g. Otros (ciervos y jabalíes)	0,7	2,3	5,4	5,6	5,9	6,1	6,3
Total	5.950,1	6.690,2	5.579,3	5.621,7	5.042,1	4.751,6	4.426,1

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

Figura 5-5. 3.A. Fermentación entérica: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por subcategoría, serie 1990-2020.



Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

5.2.3 Aspectos metodológicos de la categoría

Para la estimación de las emisiones de GEI de la categoría *Fermentación entérica* se emplearon las *Directrices del IPCC de 2006*. Se aplicó el método Nivel 2 para las emisiones de CH₄ de la subcategoría *Ganado bovino*, usando factores de emisión país específico, y un método Nivel 1 en todas las otras especies (Tabla 5-5).

Tabla 5-5. 3.A. Fermentación entérica: métodos aplicados por subcategoría

Código IPCC	Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero	CO ₂		CH ₄		N ₂ O	
		Método aplicado	Factor de emisión	Método Aplicado	Factor de emisión	Método aplicado	Factor de emisión
3.A.	Fermentación entérica			T1, T2, NO, NE	CS, D, NO, NE		
3.A.1.	Bovinos			T2	CS		
3.A.2.	Ovinos			T1	D		
3.A.3.	Porcinos			T1	D		
3.A.4.a.	Búfalos			NO	NO		
3.A.4.b.	Caprinos			T1	D		
3.A.4.c.	Equinos			T1	D		
3.A.4.d.	Mulas y asnos			T1	D		
3.A.4.e.	Aves de corral			NE	NE		
3.A.4.f.	Camélidos (llamas y alpacas)			T1	D		
3.A.4.g.i.	Ciervos			T1	D		
3.A.4.g.ii.	Jabalíes			T1	D		

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

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI

5.2.4 Datos de actividad de la categoría

Las categorías *Fermentación entérica* y *Gestión del estiércol* se encuentran interrelacionadas, de manera que parte de los datos de actividad estadísticos y paramétricos empleados en las estimaciones de GEI es común para ambas. Asimismo, la categoría de *Gestión del estiércol* genera información (Nitrógeno excretado) que es empleada en las subcategorías *Emisiones directas e indirectas de los suelos agrícolas* de la categoría *Suelos agrícolas*.

Las poblaciones de las especies animales, en cabezas-año, fueron obtenidos de los *Censos Agropecuarios y Forestales 1997 y 2007*, de las estadísticas anuales y bienales publicadas por la Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA), del Instituto Nacional de Estadística (INE) y la Asociación de Productores de Cerdo (ASPROCER), en el caso de la existencia de porcinos hasta año 2018. En cuanto a la información de existencia de porcinos aportada por ASPROCER, para los años 2019 y 2020, no hubo información al respecto, obteniéndose esta información de encuestas parciales publicadas por ODEPA.

Para las especies animales que no contaban con información detallada entre los años intercensales 1996/1997 y 2006/2007, se realizaron interpolaciones entre ambos censos para cada especie animal a excepción de los porcinos, que cuenta con información anual entregada por la empresa privada hasta año 2018. Para los años anteriores al 1997 se efectuaron extrapolaciones. Para los años posteriores al 2007, se usaron proyecciones entre las encuestas bienales realizados por ODEPA. Para porcinos para los años 2019 y 2020, se utilizaron encuestas de ODEPA. En el caso del ganado bovino, se contó con la información de las encuestas de 2009, 2011, 2013, 2015, 2017 y 2019. Para el ganado ovino y caprino se contó con los datos de las encuestas realizadas en 2010, 2013, 2015 y 2017. Para aves de corral se obtuvo información, para 2010, 2011, 2012, 2013, 2014 y 2015 (Tabla 5-6 y Figura 5-6).

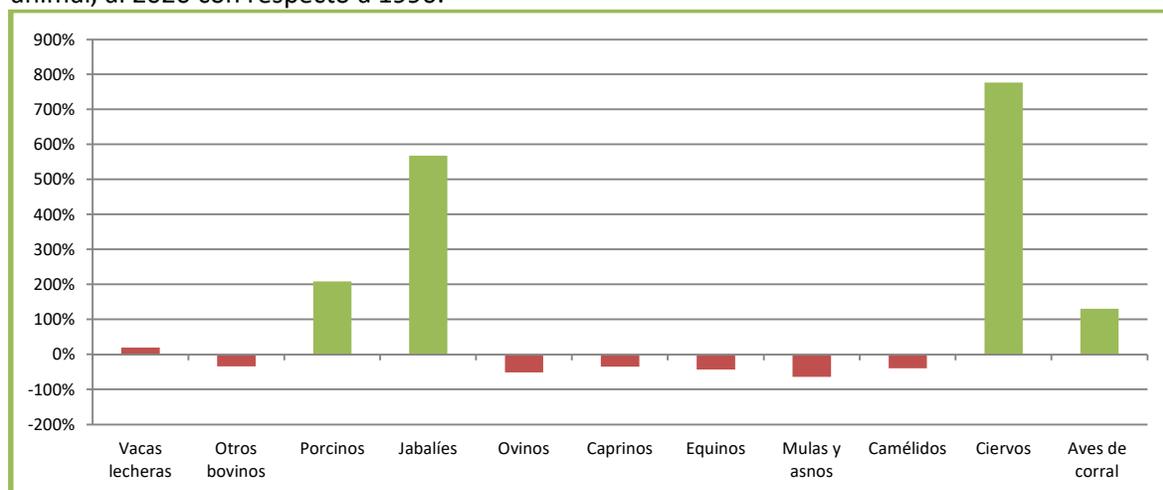
Se debe considerar que la población de vacas lecheras (vacas ordeña) incluye a las vacas lecheras en producción y vacas secas. En el ANEXO 11.07 se entrega mayor detalle de la definición por componente animal para bovinos.

Tabla 5-6. Sector Agricultura: datos de actividad de la población animal (cabezas año⁻¹) por componente animal, serie 1990-2020.

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	0	4.789.389	876.590	347.516	35.749	115.169	1.399	31.568.107
1991	491.475	3.034.092	1.078.438	0	4.676.536	856.820	342.763	35.095	116.524	1.506	33.022.161
1992	511.357	3.102.564	1.139.053	0	4.613.567	837.050	337.064	34.441	117.879	1.614	34.476.215
1993	529.896	3.205.523	1.202.692	0	4.626.705	817.280	340.647	33.787	119.234	1.722	35.930.269
1994	547.567	3.298.912	1.302.825	0	4.597.913	797.510	352.255	33.133	120.589	1.829	37.384.323
1995	558.076	3.331.527	1.357.804	0	4.488.233	777.739	338.649	32.480	121.944	1.937	38.838.377
1996	571.356	3.370.796	1.499.067	0	3.834.603	757.969	350.853	31.826	123.299	2.044	40.292.431
1997	617.612	3.521.441	1.722.407	0	3.710.459	738.199	415.036	31.172	124.654	2.152	41.746.485
1998	604.474	3.499.644	1.737.144	626	3.733.303	738.268	405.606	30.344	120.133	2.928	42.787.158
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	5.924	3.835.747	762.809	311.310	22.059	74.922	10.090	51.613.281
2009	458.511	2.976.726	3.098.423	5.594	3.732.598	786.730	301.881	21.230	70.401	10.266	51.073.349
2010	444.650	2.813.356	3.103.207	5.263	3.629.450	810.652	292.451	20.402	65.880	10.441	50.533.417
2011	430.790	2.649.985	3.212.654	4.932	3.553.858	729.311	283.022	19.573	61.359	10.616	50.907.438
2012	465.229	2.735.330	3.552.883	4.601	3.478.266	647.970	273.592	18.745	56.838	10.791	50.735.732
2013	499.667	2.820.675	3.181.492	4.271	3.402.673	566.630	264.162	17.916	62.629	10.967	53.300.914
2014	462.377	2.703.528	2.950.607	3.940	3.187.420	536.419	254.733	17.088	61.545	11.142	51.405.359
2015	425.087	2.586.380	3.077.966	3.609	2.972.167	506.208	245.303	16.281	61.607	11.317	55.172.071
2016	453.925	2.469.085	3.055.752	3.493	2.848.983	520.210	235.874	15.563	63.197	11.507	58.681.726
2017	482.763	2.351.790	2.949.592	3.587	2.725.799	534.211	226.444	14.845	64.787	11.696	62.191.382
2018	516.861	2.221.510	3.003.769	3.738	2.602.615	548.213	217.014	14.145	66.377	11.886	65.701.037
2019	550.959	2.091.229	3.057.947	3.958	2.479.431	562.214	207.585	13.454	67.967	12.077	69.210.693
2020	586.954	1.963.098	3.112.125	4.177	2.356.247	576.216	198.155	12.899	69.557	12.267	72.720.348

Fuente: Elaboración del Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI con datos de ODEPA.

Figura 5-6. Sector Agricultura: variación porcentual de la población animal (%) por componente animal, al 2020 con respecto a 1990.



Fuente: Elaboración del Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

5.2.5 Ganado bovino (3.A.1.)

5.2.5.1 Descripción de la subcategoría

Esta subcategoría incluye emisiones de CH₄, el cual se produce como subproducto de los procesos digestivos en bovinos.

En el contexto nacional, se incluyen en el INGEI de Chile diversas especies animales agrupadas en los siguientes componentes:

- Vacas lecheras y
- Otros bovinos (vacas carne, vaquillas, adultos carne, jóvenes carne y terneros).

5.2.5.2 Tendencia de las emisiones de GEI

En 2020, las emisiones de GEI de esta subcategoría contabilizaron 3.830,3 kt CO₂ eq (representando el 86,5 % de las emisiones de GEI de la categoría), disminuyendo en un 23,6 % desde 1990 y en un 7,1 % desde 2018 (Tabla 5-7 y Figura 5-7). La principal causa en la tendencia y las variaciones interanuales es la baja en la población de la categoría otros bovinos que se viene observando desde 2007 hacia adelante.

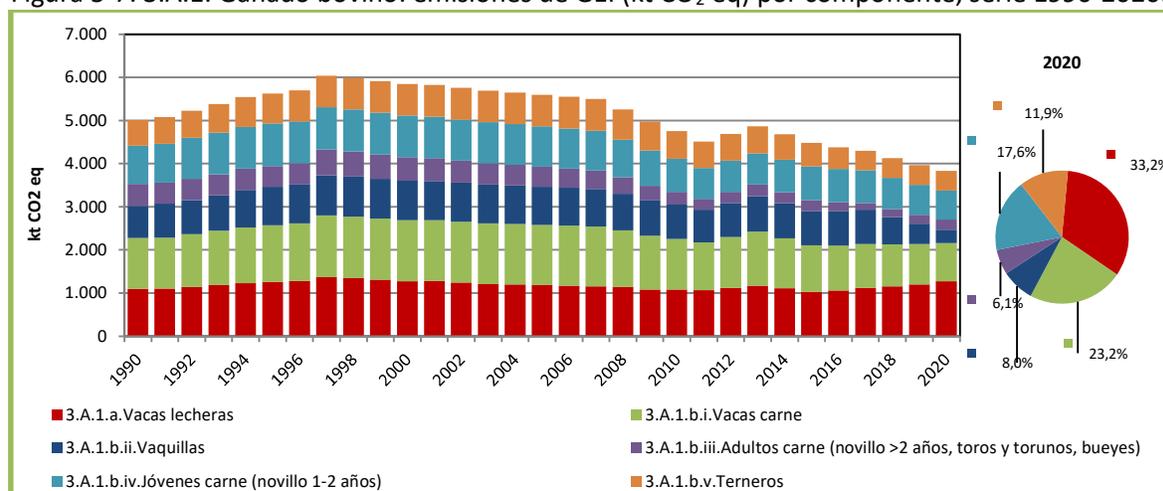
Respecto a las componentes, *Vacas lecheras* acumula la mayoría de las emisiones, representando un 33,2 % de la subcategoría. Le sigue el subcomponente *Vacas carne* representando un 23,2 %, luego los subcomponentes *Jóvenes carne* con un 17,6 %, le siguen, 11,9 % de *Terneros*, 8,0 % de *Vaquillas* y finalmente 6,1 % de *Adultos carne*.

Tabla 5-7. 3.A.1. Ganado bovino: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por componente, serie 1990-2020.

Componente	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020
3.A.1.a.Vacas lecheras	1.092,3	1.272,1	1078,9	1.168,1	1.060,1	1.154,0	1.270,1
3.A.1.b.i.Vacas carne	1.179,4	1.415,9	1177,3	1.253,5	1.041,4	972,5	890,3
3.A.1.b.ii.Vaquillas	751,7	916,3	790,3	821,3	802,5	636,9	306,9
3.A.1.b.iii.Adultos carne (novillo >2 años, toros y torunos, bueyes)	505,6	548,4	294,9	269,2	203,1	179,9	232,7
3.A.1.b.iv.Jóvenes carne (novillo 1-2 años)	884,7	965,4	767,4	723,0	770,7	728,1	674,5
3.A.1.b.v.Terneros	601,3	731,7	643,9	629,6	500,0	453,1	455,7
Total	5.015,0	5.849,7	4.752,6	4.864,7	4.377,8	4.124,5	3.830,3

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

Figura 5-7. 3.A.1. Ganado bovino: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por componente, serie 1990-2020.



Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

5.2.5.3 Aspectos metodológicos de la subcategoría

Para la estimación de las emisiones de CH₄ de esta subcategoría se aplicó el método Nivel 2 para *Vacas lecheras* y *Otros bovinos* y los distintos componentes de ésta. En la Tabla 5-8 se observa un resumen de los métodos aplicados por componente animal y por tipo de GEI.

Tabla 5-8. 3.A.1. Ganado bovino: métodos aplicados por componente animal

Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero	CO ₂		CH ₄		N ₂ O	
	Nivel metodológico	Factor de emisión	Nivel metodológico	Factor de emisión	Nivel metodológico	Factor de emisión
3.A.1. Ganado bovino			T2	CS		
3.A.1.a. Vacas lecheras			T2	CS		
3.A.1.b. Otros bovinos			T2	CS		
3.A.1.b.i. Vacas carne			T2	CS		
3.A.1.b.ii. Vaquillas			T2	CS		
3.A.1.b.iii. Adultos carne			T2	CS		
3.A.1.b.iii. Jóvenes carne			T2	CS		
3.A.1.b.iii. Terneros			T2	CS		

T2 = Nivel 2; CS = País específico.

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

Para aplicar el método Nivel 2, el *Ganado bovino* fue desagregado en los siguientes dos grupos de animales: *Vacas lecheras* y *Otros bovinos*; a la vez, este último grupo fue desagregado en tipos de animales, según sexo y edad. Este método conduce a la generación de factores de emisión país específicos; en este caso, desagregados regionalmente y con incorporación de su variación anual. El cálculo de emisiones para esta subcategoría se realizó siguiendo las *Directrices del IPCC de 2006*.

Se aplicaron las ecuaciones que se basan en la multiplicación de los factores de emisión seleccionados por la población animal asociada y luego se sumaron las distintas especies o categorías de ganado.

Ecuación 5-1. 3.A.1. Ganado bovino: emisiones de CH₄ por componente animal.

$$Emisiones_{(T)} = EF_{(T)} \times \left(\frac{N_{(T)}}{10^6} \right)$$

Fuente: Ecuación 10.19; Capítulo 10; Volumen 4; *Directrices del IPCC de 2006*

Donde:

- Emisiones_(T) = emisiones de metano por fermentación entérica del ganado de la categoría T, kt CH₄ año⁻¹
- EF_(T) = factor de emisión para la población de ganado de la categoría T, kg CH₄ cabeza⁻¹ año⁻¹
- N_(T) = la cantidad de cabezas de ganado de la especie/categoría T del país cabeza año⁻¹
- T = especie/categoría de ganado

Ecuación 5-2. 3.A.1. Ganado bovino: emisiones de CH₄ totales.

$$Total\ CH_4\ Entérica = \sum_i E_i$$

Fuente: Ecuación 10.20; Capítulo 10; Volumen 4; *Directrices del IPCC de 2006*

Donde:

- Total, CH_{4Entérica} = emisiones totales de metano por ganado bovino, kt CH₄ año⁻¹
- E_i = emisiones de las *i*th categorías y subcategorías de ganado.

5.2.5.3.1 Datos de actividad estadísticos y paramétricos

La población animal (cabezas año⁻¹) fue obtenida de los *Censos Agropecuarios y Forestales 1997 y 2007*, de las estadísticas anuales o bienales publicadas por la Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA). Se debe considerar que la población de vacas lecheras incluye a las vacas lecheras en producción y vacas secas. En el ANEXO 11.07 se entrega mayor detalle de la definición por componente animal para bovinos.

5.2.5.3.2 Factores de emisión

Para el *Ganado bovino* se desarrollaron factores de emisión país específico. La fórmula utilizada para el cálculo de estos los factores fue la siguiente:

Ecuación 5-3. 3.A.1. Ganado bovino: Cálculo de factores de emisión de CH₄ por fermentación entérica del ganado bovino.

$$FE = \left[\frac{GE \times \left(\frac{Y_m}{100} \right) \times 365}{55,65} \right]$$

Fuente: Ecuación 10.21; Capítulo 10; Volumen 4; *Directrices del IPCC de 2006*

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.

Un resumen de la ponderación de los factores de emisión para cada región del país, de acuerdo con la proporción de sistemas productivos pastoriles o confinados existentes en cada una de ellas se reporta en las Tabla 5-9, Tabla 5-10, Tabla 5-11, Tabla 5-12, Tabla 5-13 y Tabla 5-14.

Tabla 5-9. Factores de emisión país-específicos (kg CH₄ cabeza⁻¹ año⁻¹) para la estimación de las emisiones de CH₄ por fermentación entérica de vacas lecheras.

Vacas Lecheras	1990	2000	2010	2013	2016	2017	2018	2020
Todas las regiones del país	89,50	88,00	97,05	93,51	93,42	92,72	89,31	86,55

Fuente: Estimación basada en juicio experto de investigadores de INIA-Remehue (Francisco Lanuza, Sergio Iraira) y Universidad de Chile (Dr. Héctor Manterola).

Tabla 5-10. Factores de emisión país-específicos (kg CH₄ cabeza⁻¹ año⁻¹) para la estimación de las emisiones de CH₄ por fermentación entérica de vacas de carne.

Vacas Carne	1990	2000	2010	2013	2016	2017	2018	2020
Todas las regiones del país	62,78	59,51	56,63	55,76	54,90	54,90	54,90	54,90

Fuente: Estimación basada en juicio experto de investigadores de INIA-Remehue (Francisco Lanuza, Sergio Iraira) y Universidad de Chile (Dr. Héctor Manterola).

Tabla 5-11. Factores de emisión país-específicos (kg CH₄ cabeza⁻¹ año⁻¹) para la estimación de las emisiones de CH₄ por fermentación entérica de vaquillas.

Vaquillas	1990	2000	2010	2013	2016	2017	2018	2020
Todas las regiones del país	57,28	61,47	65,78	67,10	68,42	68,42	68,42	68,42

Fuente: Estimación basada en juicio experto de investigadores de INIA-Remehue (Francisco Lanuza, Sergio Iraira) y Universidad de Chile (Dr. Héctor Manterola).

Tabla 5-12. Factores de emisión país-específicos (kg CH₄ cabeza⁻¹ año⁻¹) para la estimación de las emisiones de CH₄ por fermentación entérica de adultos carne.

Adultos Carne	1990	2000	2010	2013	2016	2017	2018	2020
Todas las regiones del país	91,40	92,10	92,79	92,99	93,19	93,19	93,19	93,19

Fuente: Estimación basada en juicio experto de investigadores de INIA-Remehue (Francisco Lanuza, Sergio Iraira) y Universidad de Chile (Dr. Héctor Manterola).

Tabla 5-13. Factores de emisión país-específicos (kg CH₄ cabeza⁻¹ año⁻¹) para la estimación de las emisiones de CH₄ por fermentación entérica de jóvenes carne.

Jóvenes Carne	1990	2000	2010	2013	2016	2017	2018	2020
Todas las regiones del país	54,88	59,46	64,25	65,72	67,21	67,21	67,21	67,21

Fuente: Estimación basada en juicio experto de investigadores de INIA-Remehue (Francisco Lanuza, Sergio Iraira) y Universidad de Chile (Dr. Héctor Manterola).

Tabla 5-14. Factores de emisión país-específicos (kg CH₄ cabeza⁻¹ año⁻¹) para la estimación de las emisiones de CH₄ por fermentación entérica de terneros.

Terneros	1990	2000	2010	2013	2016	2017	2018	2020
Todas las regiones del país	28,63	28,68	28,74	28,75	28,76	28,76	28,76	28,76

Fuente: Estimación basada en juicio experto de investigadores de INIA-Remehue (Francisco Lanuza, Sergio Iraira) y Universidad de Chile (Dr. Héctor Manterola).

En las Tabla 5-15 y Tabla 5-16 se muestra detalle de los valores utilizados para la determinación de la ingesta de energía bruta en el ganado bovino, para los años 1990 y 2020. Información que luego se utiliza para estimar el factor de emisión específico con la Ecuación 5-3.

Tabla 5-15. 3.A.1. Ganado bovino: parámetros empleados en la determinación de la energía bruta en el ganado bovino en pastoreo directo en 1990.

Grupos de animales	Peso en pie, kg	Cf-por defecto	Energía neta necesaria para mantenimiento (ENm)	Coefficiente de alimentación (Ca)	Energía neta para actividad (ENa)	Peso hembra adulta en condición corporal moderada (kg)	Coefficiente de crecimiento	Aumento de peso diario (kg día ⁻¹)	Energía neta para crecimiento (ENc)	Coefficiente para la preñez
Vacas lecheras	570	0,386	45,03	0,17	7,65	550	0,8	0,00	0,00	0,10
Vacas carne	550	0,322	36,57	0,17	6,22	550	0,8	0,00	0,00	0,10
Vaquillas	370	0,322	27,16	0,17	4,62	550	0,8	0,44	7,86	0,00
Adultos carne	523	0,370	40,46	0,17	6,88	550	1,0	0,71	14,56	0,00
Jóvenes carne	323	0,370	28,19	0,17	4,79	550	0,9	0,41	6,01	0,00
Terneros	150	0,370	15,86	0,17	2,70	550	0,9	0,30	2,40	0,00
Fuente	Juicio de experto	IPCC-2006 Cuadro 10.4	IPCC-2006 Cuadro 10.3	IPCC-2006 Cuadro 10.5	IPCC-2006 Ecuación 10.4	IPCC-2006 (para cálculo ENc) Ecuación 10.6	IPCC-2006 Ecuación 10.6	Juicio experto	IPCC-2006 Ecuación 10.6	IPCC-2006 Cuadro 10.7
Grupos de animales	Energía neta para la preñez (ENp)	Productividad, (kg leche día ⁻¹)	Grasa en la leche (%)	Energía para lactancia (ENl)	Energía neta para la labor	Relación EN para mantenimiento en dieta/E digestible consumida	Relación EN para crecimiento en dieta/E digestible consumida	Digestibilidad de los alimentos (ED)	Energía bruta (EB)	
Vacas lecheras	4,05	12,48	0,0376	18,53	0	0,5203	0,3188	67,0	215,91	
Vacas carne	3,66	2,57	0,030	3,82	0	0,5171	0,3137	66,0	147,26	
Vaquillas	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0,5138	0,3085	65,0	134,35	
Adultos carne	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0,5138	0,3085	65,0	214,38	
Jóvenes carne	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0,5138	0,3085	65,0	128,74	
Terneros	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0,5138	0,3085	65,0	67,53	
Fuente	IPCC-2006 Ecuación 10.13	Juicio experto	Literatura*	IPCC-2006 Ecuación 10.8	IPCC-2006 Ecuación 10.11	IPCC-2006 Ecuación 10.14	IPCC-2006 Ecuación 10.15	Juicio experto	IPCC-2006 Ecuación 10.16	

Fuente: Estimación basada en juicio experto de investigadores de INIA-Remehue (Francisco Lanuza, Sergio Iraira) y Universidad de Chile (Héctor Manterola) con base en las Directrices del IPCC de 2006.

*Calvache, I. (2009). Variación anual de la concentración de proteína y grasa láctea en rebaños lecheros del centro y sur de Chile (tesis magíster). Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias. Valdivia, Chile.

Tabla 5-16. 3.A.1. Ganado bovino: parámetros empleados en la determinación de la energía bruta en el ganado bovino en pastoreo directo 2020.

Grupos de animales	Peso en pie, kg	Cf-por defecto	Energía neta necesaria para mantenimiento (ENm)	Coficiente de alimentación (Ca)	Energía neta para actividad (ENa)	Peso hembra adulta en condición corporal moderada (kg)	Coficiente de crecimiento	Aumento de peso diario (kg día ⁻¹)	Energía neta para crecimiento (ENc)	Coficiente para la preñez
Vacas lecheras	530	0,386	42,64	0,17	7,25	550	0,8	0,00	0,00	0,10
Vacas carne	500	0,322	34,05	0,17	5,79	550	0,8	0,00	0,00	0,10
Vaquillas	380	0,322	27,71	0,17	4,71	550	0,8	0,67	12,71	0,00
Adultos carne	508	0,370	39,59	0,17	6,73	550	1,0	0,79	16,02	0,00
Jóvenes carne	358	0,370	30,45	0,17	5,18	550	0,9	0,62	10,22	0,00
Terneros	150	0,370	15,86	0,17	2,70	550	0,9	0,30	2,40	0,00
Fuente	Juicio de experto	IPCC-2006 Cuadro 10.4	IPCC-2006 Cuadro 10.3	IPCC-2006 Cuadro 10.5	IPCC-2006 Ecuación 10.4	IPCC-2006 (para cálculo ENc) Ecuación 10.6	IPCC-2006 Ecuación 10.6	Juicio experto	IPCC-2006 Ecuación 10.6	IPCC-2006 Cuadro 10.7
Grupos de animales	Energía neta para la preñez (ENp)	Productividad (kg leche día ⁻¹)	Grasa en la leche (%)	Energía para lactancia (ENI)	Energía neta para la labor	Relación en para mantenimiento o en dieta/E digestible consumida	Relación en para crecimiento en dieta/E digestible consumida	Digestibilidad de los alimentos (ED)	Energía bruta (EB)	
Vacas lecheras	3,84	15,69	0,0376	23,31	0,0	0,5332	0,3395	71,67	201,59	
Vacas carne	3,40	2,57	0,03	3,82	0,0	0,5271	0,3297	69,33	128,77	
Vaquillas	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,5138	0,3085	65,00	160,49	
Adultos carne	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,5138	0,3085	65,00	218,59	
Jóvenes carne	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,5138	0,3085	65,00	157,66	
Terneros	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,5138	0,3085	65,00	67,53	
Fuente	IPCC-2006 Ecuación 10.13	Juicio experto	Literatura*	IPCC-2006 Ecuación 10.8	IPCC-2006 Ecuación 10.11	IPCC-2006 Ecuación 10.14	IPCC-2006 Ecuación 10.15	Juicio experto	IPCC-2006 Ecuación 10.16	

Fuente: Estimación basada en juicio experto de investigadores de INIA-Remehue (Francisco Lanuza, Sergio Iraira) y Universidad de Chile (Héctor Manterola) con base en las Directrices del IPCC de 2006.

*Calvache, I. (2009). Variación anual de la concentración de proteína y grasa láctea en rebaños lecheros del centro y sur de Chile (tesis magíster). Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias. Valdivia – Chile.

Con este tipo de información, se calcularon los factores de emisión por tipo de ganado, y región y por año, empleados para el cálculo de las emisiones por fermentación entérica de las vacas lecheras y otros bovinos. En el ANEXO 11.07 se presentan los factores de emisión país-específico, desagregados por región, por año y sistema de manejo del tipo de ganado bovino⁴⁸.

5.2.5.4 Incertidumbre

La incertidumbre combinada de esta subcategoría, para el 2020, fue estimada para el CH₄ por componente del *Ganado bovino*. Un resumen de los resultados de la incertidumbre combinada se presenta en la Tabla 5-17.

Tabla 5-17. 3.A.1. Ganado bovino: resumen de la incertidumbre combinada en 2020.

Código IPCC	Categoría del IPCC	Gas	Incertidumbre en los datos de actividad		Incertidumbre en el factor de emisión		Incertidumbre combinada	
			(-)%	(+)%	(-)%	(+)%	(-)%	(+)%
3.A.1.a.	Vacas lecheras	CH ₄	44%	44%	20%	20%	48%	48%
3.A.1.b.i.	Vacas carne	CH ₄	44%	44%	20%	20%	48%	48%
3.A.1.b.ii.	Vaquillas	CH ₄	44%	44%	20%	20%	48%	48%
3.A.1.b.iii.	Adultos carne	CH ₄	44%	44%	20%	20%	48%	48%
3.A.1.b.iii.	Jóvenes carne	CH ₄	44%	44%	20%	20%	48%	48%
3.A.1.b.iii.	Terneros	CH ₄	44%	44%	20%	20%	48%	48%

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI

5.2.5.5 Consistencia de la serie temporal

Para mantener la consistencia de la serie temporal 1990-2020, se construyó la serie de datos de actividad con la información de los *Censos Agropecuarios* y de los informes y encuestas anuales y bianuales generados por ODEPA. Para los años en los cuales no se contó con información estadística y/o paramétrica, se realizaron interpolaciones lineales. Para completar el último año de la serie temporal se procedió a realizar una extrapolación lineal con respecto al año 2019.

5.2.5.6 Procedimiento de garantía y control de la calidad y verificación

5.2.5.6.1 Control de la calidad

Durante la actualización del ISGEI de Agricultura se aplicó la recomendación de control de calidad de las *Directrices del IPCC de 2006* para la subcategoría y las actividades propias del Equipo Técnico de Agricultura. Todas estas actividades están listadas y documentadas dentro del SRT del SNICHILE, correspondiente al libro de cálculo *2022_SGCC_3AGRI*. Algunas de estas actividades rutinarias para el control de la calidad son las siguientes:

⁴⁸ Con base en el juicio experto de Marta Alfaro, Francisco Salazar, Sergio Iruira y Francisco Lanuza (investigadores de INIA-Remehue) y Héctor Manterola (Universidad de Chile) y con base en las *Directrices del IPCC de 2006*.

Gestión de los datos de actividad estadísticos:

- Los datos de actividad estadísticos fueron ingresados a las planillas de forma semiautomatizada, directamente desde su fuente de origen cuando fue posible, evitando errores asociados a la transcripción manual.
- En los casos que la digitación fue manual, se realizó una verificación cruzada entre miembros del equipo compilador del ISGEI.
- Los totales nacionales de los datos de actividad fueron confeccionados por la suma de los totales regionales, realizando un chequeo cruzado para comprobar que no exista diferencia entre ellos.

Gestión de factores de emisión, factores de conversión y constantes:

- Todos los principales datos paramétricos se encuentran compilados en una sola planilla denominada "FE_DA_Ganado_v15102021", que está vinculada a las hojas de trabajo. Esto permite que esté centralizada la información para una rápida revisión y actualización cuando corresponda.

Gestión de las hojas de trabajo:

- Todas las hojas de trabajo están vinculadas automáticamente a las hojas de datos de actividad y factores de emisión.
- En las hojas de trabajo los valores de nivel país fueron generados tanto por la suma de los valores regionales, como por el ingreso directo a las planillas de los valores nacionales, no debiendo existir diferencia alguna entre ambas derivaciones. De esta forma, en cada planilla de trabajo se cuenta con tres cuadros de datos país: país por suma de regiones, país por datos nacionales directamente ingresados y país por la diferencia entre los dos cuadros anteriores, que debe dar cero (sin diferencia alguna entre los primeros dos cuadros).

Revisión interna:

- Para asegurar que los datos fueran reales, completos y consistentes, se efectuó una verificación cruzada de la información con otras fuentes y con datos utilizados en actualizaciones de años anteriores.
- Se realizó una revisión de las planillas de cálculo y hojas de trabajo por parte de revisores internos del proceso de actualización en cada institución que forma parte del Equipo Técnico de Agricultura.
- Los cálculos realizados fueron revisados de manera cruzada entre integrantes del equipo de trabajo sectorial.

5.2.5.6.2 Garantía de la calidad

Previo a la actualización del sector Agricultura, el Equipo Técnico de Agricultura ha desarrollado un análisis de la inclusión de las recomendaciones levantadas durante la revisión externa, tanto del ISGEI de Agricultura como del INGEI de Chile, para evaluar la factibilidad de su aplicación. Las recomendaciones realizadas por los revisores expertos han sido listadas y documentadas dentro del SRT del SNICHILE, correspondiente al libro de cálculo 2022_SGCC_3AGRI.

5.2.5.6.3 Verificación

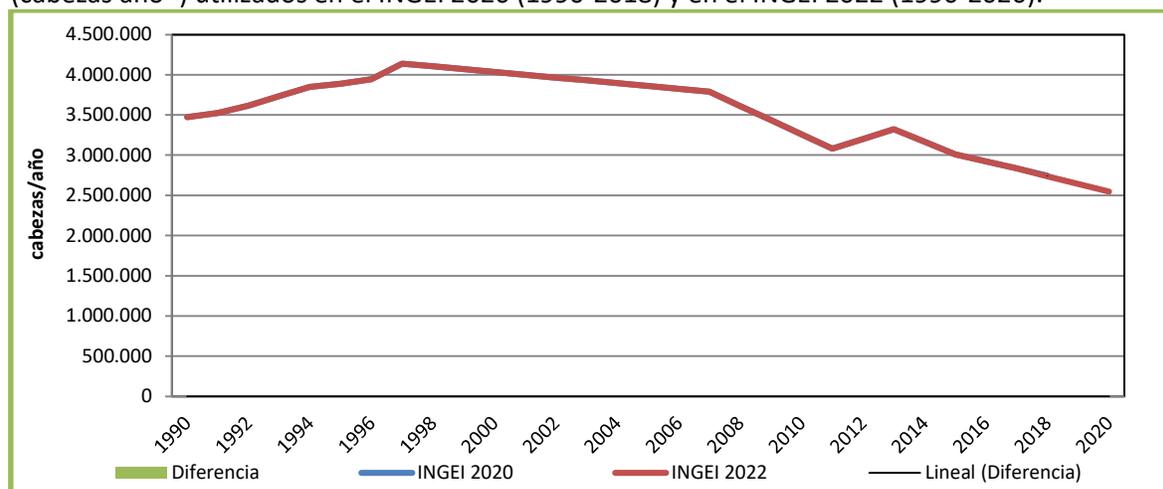
Se realizó una verificación de los datos de población animal y los factores de emisión empleados en comparación con los valores empleados en el INGEI 2020. Esto adquiere especial relevancia asociado al ajuste en poblaciones animales de *Ganado bovino* (Tabla 5-18 y Figura 5-8). Dada la mayor disponibilidad de información en encuestas anuales y bienales generadas por ODEPA, se contó con mejor y más información para la actualización de la serie temporal 1990-2020.

Tabla 5-18. 3.A.1. Ganado bovino: comparación de los datos de población de Ganado bovino (cabezas año⁻¹) utilizados en el INGEI 2020 (1990-2018) y en el INGEI 2022 (1990-2020).

INGEI	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2019	2020
INGEI 2020	3.470.837	4.034.246	3.258.006	3.320.342	2.923.011	2.746.097		
INGEI 2022	3.470.837	4.034.246	3.258.006	3.320.342	2.923.011	2.738.371	2.642.188	2.550.053
Diferencia	-	-	-	-	-	-7.726,2		
Diferencia %	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	-0,3%		

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI con base en INGEI 2020 e INGEI 2022.

Figura 5-8. 3.A.1. Ganado bovino: comparación de los datos de población de Ganado bovino (cabezas año⁻¹) utilizados en el INGEI 2020 (1990-2018) y en el INGEI 2022 (1990-2020).



Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI con base en INGEI 2020 e INGEI 2022.

5.2.5.7 Nuevos cálculos

5.2.5.7.1 Justificaciones de los nuevos cálculos y mejoras

Se realizaron correcciones en la estimación de los factores de emisión del ganado bovino (lechero y no lechero), que fueron actualizados para toda la serie temporal y regiones, tanto para ganado en pastoreo como en confinamiento. Específicamente, se actualizaron los coeficientes utilizados para el cálculo de la energía neta de mantenimiento (NE_m), y la fórmula de energía neta para crecimiento, según las *Directrices del IPCC 2006*. Además, se corrigió parámetros utilizados en el cálculo de producción de leche, y se corroboró con inventarios de otros países como Nueva Zelanda⁴⁹, la utilización del mismo parámetro de vaca ordeña en el cálculo. En este caso, se considera la misma producción de leche por vaca ordeña en los sistemas de pastoreo y confinamiento, ya que no se

⁴⁹ Con base en el juicio experto de Andrea Pickering (experta inventario Nueva Zelanda).

tiene información base para poder realizar la diferenciación entre ellos. Esto obligó al nuevo cálculo de las emisiones de gases de efecto invernadero de la serie temporal para ganado bovino.

5.2.5.7.2 Implicaciones para los niveles de emisión

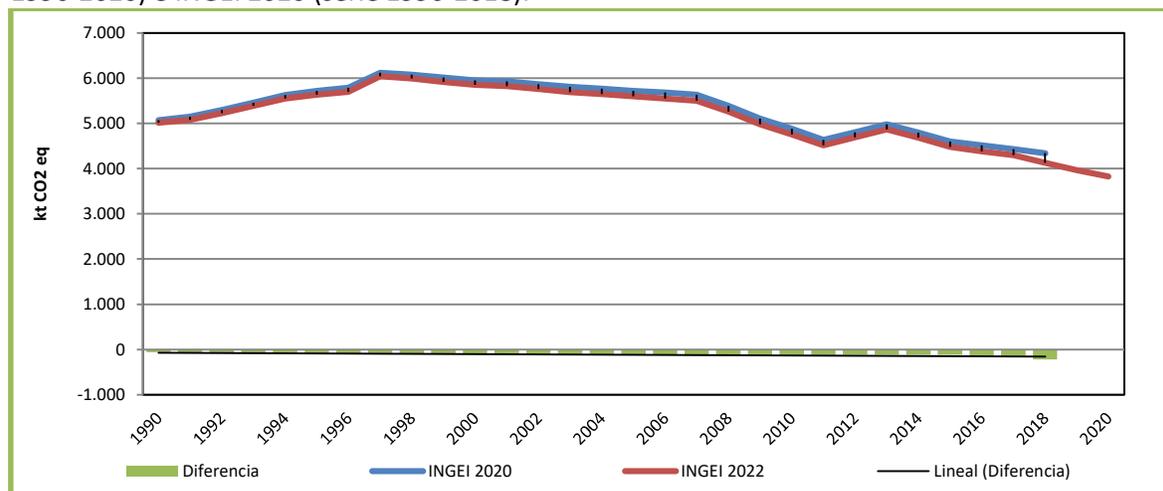
En la Tabla 5-19 y Figura 5-9 se observa cómo variaron las emisiones de GEI de esta subcategoría respecto del inventario anterior (INGEI 2020). La variación en las emisiones de GEI que se puede observar entre ambos inventarios se atribuye a las variaciones en la masa ganadera, y los ajustes realizados a los parámetros mencionados en el ítem 5.2.5.7.1. *Justificaciones de los nuevos cálculos y mejoras*, para determinar los factores de emisión, generando cambios para cada subcategoría de bovinos. Esto generó una disminución de las emisiones de GEI de la subcategoría durante la serie 1990-2020.

Tabla 5-19. 3.A.1 Ganado bovino: comparación entre emisiones (kt CO₂ eq) del INGEI 2020 (serie 1990-2018) e INGEI 2022 (serie 1990-2018).

INGEI	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2019	2020
INGEI 2020	5.072,1	5.949,4	4.875,6	4.978,4	4.513,7	4.343,7		
INGEI 2022	5.015,0	5.849,7	4.752,6	4.864,7	4.377,8	4.124,5	3.964,6	3.830,3
Diferencia	-57,2	-99,7	-122,9	-113,7	-135,9	-219,1		
Diferencia %	-1,1%	-1,7%	-2,6%	-2,3%	-3,1%	-5,3%		

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI con base en INGEI 2020 e INGEI 2022.

Figura 5-9. 3.A.1 Ganado bovino: comparación entre emisiones (kt CO₂ eq) del INGEI 2022 (serie 1990-2020) e INGEI 2020 (serie 1990-2018).



Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI con base en INGEI 2020 e INGEI 2022.

5.2.5.8 Plan de mejoramiento

En respuesta al análisis propio del Equipo Técnico de Agricultura y a las recomendaciones de la revisión experta del INGEI de Chile, las mejoras planificadas del sector son las siguientes:

- Se continuará avanzando en la consulta a entidades no gubernamentales (asociaciones gremiales, instituciones, etc.) que pudieran poseer datos paramétricos relevantes para la validación de los factores de emisión país específico.

- INIA ha ejecutado proyectos de investigación (FONDECYT) para estimar el Ym en sistemas de vacas lecheras en pastoreo. Se evaluará la factibilidad de emplear la información generada en la estimación de FE país específico.
- Para el próximo inventario se contará con datos del Censo Nacional Agropecuario, lo que permitirá precisar las existencias animales proyectadas a la fecha.

5.2.6 Ovinos (3.A.2.)

5.2.6.1 Descripción de la subcategoría

Esta subcategoría incluye emisiones de CH₄ producido en el proceso digestivos en ovinos.

5.2.6.2 Tendencia de las emisiones de GEI

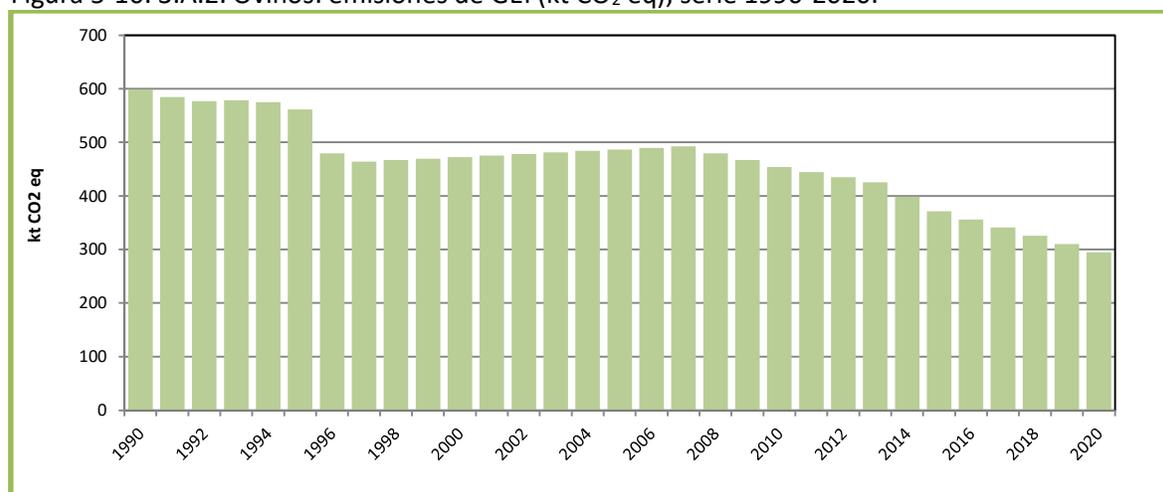
En 2020, las emisiones de GEI de esta subcategoría contabilizaron 294,5 kt CO₂ eq, representando el 6,7 % de las emisiones de GEI de la categoría y disminuyendo en un 50,8 % desde 1990, y en un 9,5 % desde 2018 (Tabla 5-20 y Figura 5-100). El principal causante de la tendencia y las variaciones interanuales es la baja en la población de ganado, que se debe a que la producción de carne ovina es altamente influenciada por el mercado internacional, ya que el mercado nacional presenta un bajo consumo per cápita y bajo precio respecto al mercado internacional, lo cual lo hace un mercado poco atractivo para los productores (ODEPA, 2013), además ha experimentado una caída en el precio de la lana a nivel internacional, que ha afectado de manera directa a la producción ovina.

Tabla 5-20. 3.A.2. Ovinos: emisiones de GEI (kt CO₂ eq), serie 1990-2020.

Subcategoría	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020
3.A.2. Ovinos	598,7	472,4	453,7	425,3	356,1	325,3	294,5

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

Figura 5-10. 3.A.2. Ovinos: emisiones de GEI (kt CO₂ eq), serie 1990-2020.



Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI

5.2.6.3 Aspectos metodológicos de la subcategoría

Para la estimación de las emisiones de CH₄ de esta subcategoría se aplicó el método Nivel 1. Para su aplicación se debe conocer las poblaciones por especie, las que se multiplican por los factores de emisión por defecto correspondientes.

Tabla 5-21. 3.A.2. Ovinos: métodos aplicados a la subcategoría

Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero	CO ₂		CH ₄		N ₂ O	
	Nivel metodológico	Factor de emisión	Nivel metodológico	Factor de emisión	Nivel metodológico	Factor de emisión
3.A.2.c. Ovinos			T1	D		

T1 = Nivel 1; D = Por defecto.

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

5.2.6.3.1 Datos de actividad estadísticos y paramétricos

La población animal (cabezas año⁻¹) fue obtenida de los *Censos Agropecuarios y Forestales* para 1997 y 2007 y encuestas realizadas en 2010, 2013, 2015 y 2017, publicadas por ODEPA (Tabla 5-6). Para los años que no hubo información estadística oficial se realizó interpolación y extrapolación.

5.2.6.3.2 Factores de emisión

Para estas especies, se utilizaron los factores de emisión por defecto proporcionados por las *Directrices del IPCC de 2006* (Tabla 5-22), para países en desarrollo.

Tabla 5-22. 3.A.2. Ovinos: factores de emisión por defecto para ovinos (kg CH₄*animal⁻¹*año⁻¹)

Especie animal	Factores de Emisión (kg CH ₄ animal ⁻¹ año ⁻¹)
Ovinos	5

Fuente: Cuadro 10.10; Capítulo 10; Volumen 4; *Directrices del IPCC de 2006*.

5.2.6.4 Incertidumbre

La incertidumbre combinada de esta subcategoría, para el 2020, ha sido estimada para cada GEI de cada componente animal, empleando un Nivel 1. Un resumen de los resultados de la incertidumbre combinada se presenta en la Tabla 5-23.

Tabla 5-23. 3.A.2. Ovinos: resumen de la incertidumbre combinada 2020.

Código IPCC	Categoría del IPCC	Gas	Incertidumbre en los datos de actividad		Incertidumbre en el factor de emisión		Incertidumbre combinada	
			(-)%	(+)%	(-)%	(+)%	(-)%	(+)%
3.A.2.	Ovinos	CH ₄	44%	44%	30%	30%	53%	53%

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

5.2.6.5 Consistencia de la serie temporal

Para mantener la consistencia de la serie temporal 1990-2020 se usaron los mismos factores de emisión, y la misma fuente de datos de actividad, tanto estadísticos como paramétricos. Se realizaron interpolaciones y extrapolaciones, cuando no se contaba con datos para uno o varios años en específico. Cuando se realizaron cambios de actividad paramétrica por ajustes en población animal, se revisó la serie temporal completa.

5.2.6.6 Procedimiento de garantía y control de la calidad y verificación

5.2.6.6.1 Control de la calidad

Durante la actualización del ISGEI de Agricultura se han aplicado las recomendaciones de control de calidad de las *Directrices del IPCC de 2006* para la subcategoría y las actividades propias del Equipo Técnico de Agricultura. Todas estas actividades están listadas y documentadas dentro del SRT del SNICHILE, correspondiente al libro de cálculo *2022_SGCC_3AGRI*. Algunas de estas actividades rutinarias para el control de la calidad son las siguientes:

Gestión de los datos de actividad estadísticos:

- Los datos de actividad estadísticos fueron ingresados a las planillas de forma semiautomática, directamente desde su fuente de origen, evitando errores asociados a la transcripción manual.
- Los totales nacionales de los datos de actividad fueron confeccionados por la suma de los totales regionales, realizando un chequeo cruzado para comprobar que no exista diferencia entre ellos.

Gestión de factores de emisión, factores de conversión y constantes:

- Todos los principales datos paramétricos se encuentran compilados en una sola planilla denominada "FE_DA_Ganado_v15102021", que está vinculada a las hojas de trabajo. Esto permite que esté centralizada la información para una rápida revisión y actualización cuando corresponda.

Gestión de las hojas de trabajo:

- Todas las hojas de trabajo están vinculadas automáticamente a las hojas de datos de actividad y factores de emisión.
- En las hojas de trabajo los valores de nivel país fueron generados tanto por la suma de los valores regionales, como por el ingreso directo a las planillas de los valores nacionales, no debiendo existir diferencia alguna entre ambas derivaciones. De esta forma, en cada planilla de trabajo se cuenta con tres cuadros de datos país: país por suma de regiones, país por datos nacionales directamente ingresados y país por la diferencia entre los dos cuadros anteriores, que debe dar cero (sin diferencia alguna entre los primeros dos cuadros).

Revisión interna:

- Para asegurar que los datos fueran reales, completos y consistentes, se efectuó una verificación cruzada con datos utilizados en actualizaciones de años anteriores.
- Se realizó una revisión de las planillas de cálculo y hojas de trabajo por parte de revisores internos del proceso de actualización en cada institución que forma parte del Equipo Técnico de Agricultura.

5.2.6.6.2 Garantía de la calidad

Previo a la actualización del sector *Agricultura*, el Equipo Técnico ha desarrollado un análisis de la inclusión de las recomendaciones levantadas durante la revisión externa, tanto del ISGEI de Agricultura como del INGEI de Chile, para evaluar la factibilidad de su aplicación. Las recomendaciones realizadas por los revisores expertos han sido listadas y documentadas dentro del SRT del SNICHILE, correspondiente al libro de cálculo *2022_SGCC_3AGRI*.

5.2.6.6.3 Verificación

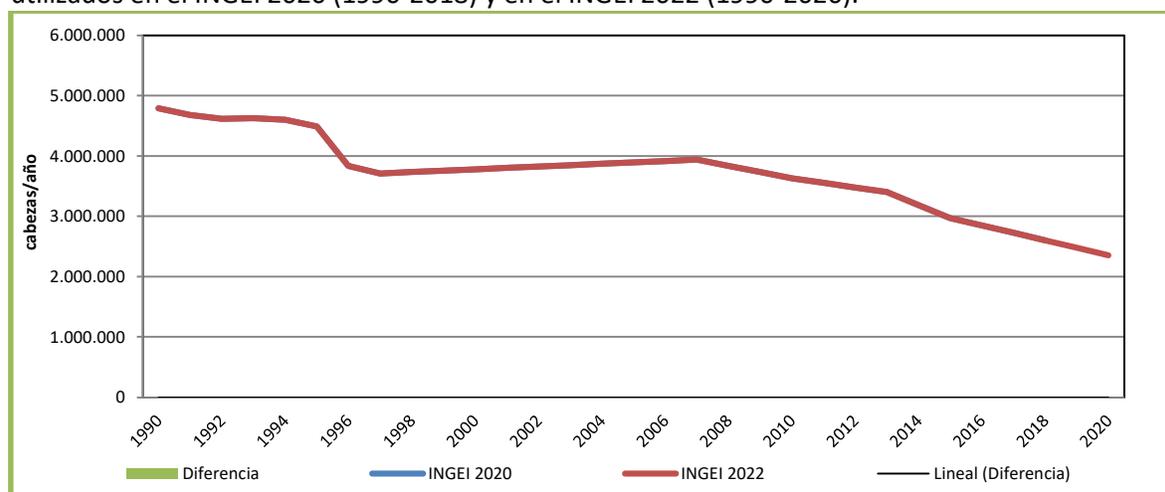
Se empleó el mismo proceso de verificación explicado en la sección 1.2.5.6.3. *Verificación de Ganado vacuno*. No se observaron diferencias en la población de ganado ovino entre ambos inventarios (Tabla 5-24 y Figura 5-11).

Tabla 5-24. 3.A.2. Ovinos: comparación de los datos de población de ovinos (cabezas año⁻¹) utilizados en el INGEI 2020 (1990-2018) y en el INGEI 2022 (1990-2020).

INGEI	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2019	2020
INGEI 2020	4.789.389	3.778.990	3.629.450	3.402.673	2.848.983	2.602.615		
INGEI 2022	4.789.389	3.778.990	3.629.450	3.402.673	2.848.983	2.602.615	2.479.431	2.356.247
Diferencia	-	-	-	-	-	-		
Diferencia %	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%		

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI con base en INGEI 2020 e INGEI 2022.

Figura 5-11. 3.A.2. Ovinos: comparación de los datos de población de ovinos (cabezas año⁻¹) utilizados en el INGEI 2020 (1990-2018) y en el INGEI 2022 (1990-2020).



Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI con base INGEI 2020 e INGEI 2022.

5.2.6.7 Nuevos cálculos

No hubo nuevos cálculos en esta categoría.

5.2.6.8 Plan de mejoramiento

Dado que esta subcategoría animal no es una categoría clave en el ISGEI, no se consideran mejoramientos específicos. La realización del censo agropecuario en el segundo semestre de 2020 (datos aún no publicados oficialmente) ofrece oportunidades para mejorar la precisión en los datos de población empleados.

5.2.7 Porcinos (3.A.3.)

5.2.7.1 Descripción de la subcategoría

Esta subcategoría incluye emisiones de CH₄, el cual se produce como subproducto de los procesos digestivos en porcinos, considerando marranas, verracos y juveniles.

5.2.7.2 Tendencia de las emisiones de GEI

En 2020, las emisiones de GEI de esta subcategoría contabilizaron 116,7 kt CO₂ eq, representando el 2,6 % de las emisiones de GEI de la categoría, incrementándose en un 208,8 % desde 1990, y un 3,6 % desde 2018 (Tabla 5-25 y Figura 5-12). El principal causante de la tendencia y las variaciones interanuales es la variación en la población de porcinos, con un aumento sostenido entre 1997 y 2007, para luego decaer en los siguientes años debido al cierre de varios planteles⁵⁰, un ejemplo de ello fue el cierre del centro de producción el año 2012, ubicado cerca de Freirina en la IV región de Chile, que contaba con alrededor de 500 mil cerdos. Sin embargo, vuelve a incrementar la población de porcinos en los años 2019 y 2020.

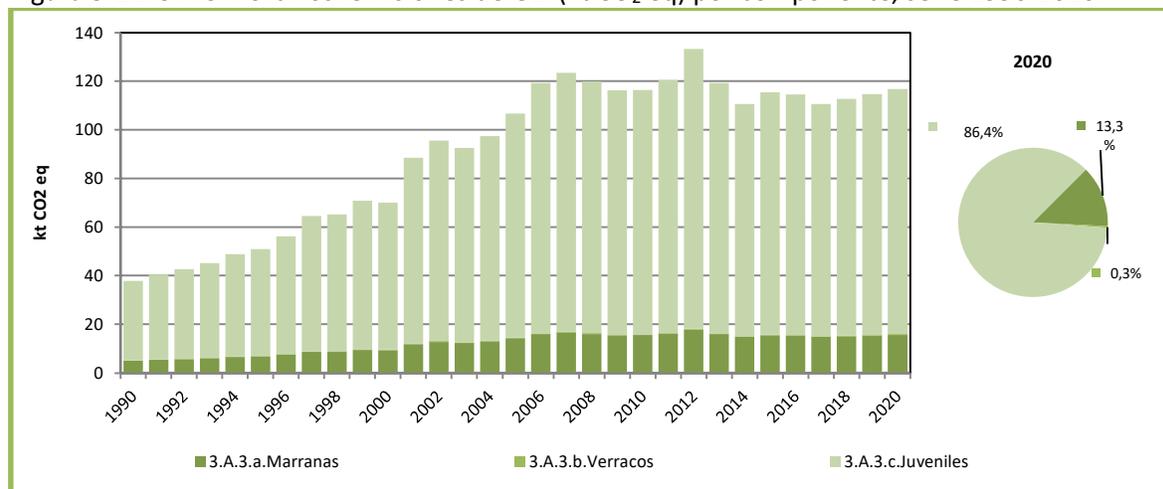
Respecto a los componentes de esta subcategoría animal, *Juveniles* genera la mayoría de las emisiones, representando un 86,4 % de la subcategoría. Le siguen *Marranas* representando un 13,3 % y *Verracos* con un 0,3 %.

Tabla 5-25. 3.A.3. Porcinos: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por componente, serie 1990-2020.

Componente	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020
3.A.3.a.Marranas	5,0	9,3	15,5	15,9	15,3	15,0	15,6
3.A.3.b.Verracos	0,1	0,2	0,3	0,4	0,3	0,3	0,3
3.A.3.c.Juveniles	32,6	60,5	100,5	103,0	99,0	97,3	100,8
Total	37,8	70,1	116,4	119,3	114,6	112,6	116,7

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

Figura 5-12. 3.A.3. Porcinos: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por componente, serie 1990-2020.



Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

5.2.7.3 Aspectos metodológicos de la subcategoría

Para la estimación de las emisiones de CH₄ de esta subcategoría se aplicó el método Nivel 1. Para su aplicación se debe conocer la población animal por componente, que se multiplican por los factores

⁵⁰ Comunicación directa con Renzo Boccanegra (ASPROCER).

de emisión por defecto correspondientes. En la Tabla 5-26 se observa un resumen de los métodos aplicados por componente animal y por tipo de GEI.

Tabla 5-26. 3.A.3. Porcinos: métodos aplicados por componente animal.

Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero	CO ₂		CH ₄		N ₂ O	
	Nivel metodológico	Factor de emisión	Nivel metodológico	Factor de emisión	Nivel metodológico	Factor de emisión
3.A.3.a. Marranas			T1	D		
3.A.3.b. Verracos			T1	D		
3.A.3.c. Juveniles			T1	D		

T1 = Nivel 1; D = Por defecto

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

5.2.7.3.1 Datos de actividad estadísticos y paramétricos

La población animal (cabezas año⁻¹) fue obtenida de los *Censos Agropecuarios y Forestales 1997 y 2007* y de las estadísticas anuales publicadas por ASPROCER (Asociación Gremial de Productores de Cerdos de Chile) hasta el año 2018, utilizando información de encuestas de ODEPA para los años 2019 y 2020, para más información ver sección 5.2.4. *Datos de actividad de la categoría* (Tabla 5-6). Respecto de la distribución de población por región, ASPROCER señaló que la distribución de la población de porcinos entre la región Metropolitana y la Región de O'Higgins es prácticamente la misma, lo que difiere de la estadística nacional. Según este juicio experto, la diferencia con la estadística nacional corresponde a que cuando se hace el cálculo y contabilidad por parte de la entidad nacional de estadística, se toma en cuenta el destino final por el faenamiento de los porcinos y no la ubicación de los planteles, información la cual se mantuvo para el inventario actual.

5.2.7.3.2 Factores de emisión

Para estas especies, se utilizaron los factores de emisión por defecto proporcionados por las *Directrices del IPCC de 2006* (Tabla 5-27). Se seleccionaron los valores de factor de emisión para países en desarrollo, dado que la mayor cantidad de animales y de producción porcina del país ubicada en la zona central (regiones de O'Higgins (84%) y Valparaíso y Metropolitana (8%)⁵¹), corresponde a sistemas de producción intensivos, de tamaño y manejo industriales, muy semejantes a los sistemas norteamericanos de producción (Ej. Canadienses).

Tabla 5-27. 3.A.3. Porcinos: factores de emisión por defecto por componente (kg CH₄*animal⁻¹*año⁻¹)

Especie animal	Factores de Emisión (kg CH ₄ animal ⁻¹ año ⁻¹)
Marranas	1,5
Verracos	1,5
Juveniles	1,5

Fuente: Cuadro 10.10; Capítulo 10; Volumen 4; *Directrices del IPCC de 2006*.

⁵¹ 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.

5.2.7.4 Incertidumbre

La incertidumbre combinada de esta subcategoría, para el 2020, ha sido estimada para cada GEI de cada componente animal aplicando el método Nivel 1. Un resumen de los resultados de la incertidumbre combinada se presenta en la Tabla 5-28.

Tabla 5-28. 3.A.3. Porcinos: resumen de la incertidumbre combinada 2020.

Código IPCC	Categoría del IPCC	Gas	Incertidumbre en los datos de actividad		Incertidumbre en el factor de emisión		Incertidumbre combinada	
			(-)%	(+)%	(-)%	(+)%	(-)%	(+)%
3.A.3.a.	Marranas	CH ₄	44%	44%	30%	30%	53%	53%
3.A.3. b.	Verracos	CH ₄	44%	44%	30%	30%	53%	53%
3.A.3. c.	Juveniles	CH ₄	44%	44%	30%	30%	53%	53%

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

5.2.7.5 Consistencia de la serie temporal

Para mantener la consistencia de la serie temporal 1990-2020 se usaron los mismos factores de emisión y la misma fuente de datos de actividad, tanto estadísticos como paramétricos, para toda la serie. En el INGEI 2020 se utilizaron los datos nacionales provenientes de los *Censos Agropecuarios y Forestales 1997 y 2007* e información entregada por ASPROCER, modificándose la distribución de las cabezas de ganado porcino en las regiones Metropolitana y O'Higgins, de acuerdo con lo reportado por ASPROCER. En el inventario actual (INGEI 2022), se utilizaron los datos del inventario anterior (INGEI 2020), y los datos de los años 2019 y 2020 se actualizaron con encuestas de ODEPA, ya que no se contó con información para estos años de la empresa privada.

5.2.7.6 Procedimiento de garantía y control de la calidad y verificación

5.2.7.6.1 Control de la calidad

Durante la actualización del ISGEI de Agricultura se han aplicado las recomendaciones de control de calidad de las *Directrices del IPCC de 2006* para la subcategoría y las actividades propias del Equipo Técnico de Agricultura. Todas estas actividades están listadas y documentadas dentro del SRT del SNICHILE, correspondiente al libro de cálculo *2022_SGCC_3AGRI*. Algunas de estas actividades rutinarias para el control de la calidad son las siguientes:

Gestión de los datos de actividad estadísticos:

- Los datos de actividad estadísticos fueron ingresados a las planillas de forma semiautomática, directamente desde su fuente de origen, evitando errores asociados a la transcripción manual.
- Los totales nacionales de los datos de actividad fueron confeccionados por la suma de los totales regionales, realizando un chequeo cruzado para comprobar que no exista diferencia entre ellos.

Gestión de factores de emisión, factores de conversión y constantes:

- Todos los principales datos paramétricos se encuentran compilados en una sola planilla denominada "FE_DA_Ganado_v15102021", que está vinculada a las hojas de trabajo. Esto permite que esté centralizada la información para una rápida revisión y actualización cuando corresponda.

Gestión de las hojas de trabajo:

- Todas las hojas de trabajo están vinculadas automáticamente a las hojas de datos de actividad y factores de emisión.
- En las hojas de trabajo los valores de nivel país fueron generados tanto por la suma de los valores regionales, como por el ingreso directo a las planillas de los valores nacionales, no debiendo existir diferencia alguna entre ambas derivaciones. De esta forma, en cada planilla de trabajo se cuenta con tres cuadros de datos país: país por suma de regiones, país por datos nacionales directamente ingresados y país por la diferencia entre los dos cuadros anteriores, que debe dar cero.

Revisión interna:

- Para asegurar que los datos fueran reales, completos y consistentes, se efectuó una verificación cruzada de la información con otras fuentes y con datos utilizados en actualizaciones de años anteriores.
- Se realizó una revisión de las planillas de cálculo y hojas de trabajo por parte de revisores internos del proceso de actualización en cada institución que forma parte del Equipo Técnico de Agricultura.

5.2.7.6.2 Garantía de la calidad

Previo a la actualización del sector *Agricultura*, el Equipo Técnico ha desarrollado un análisis de la inclusión de las recomendaciones levantadas durante la revisión externa, tanto del ISGEI de Agricultura como del INGEI de Chile, para evaluar la factibilidad de su aplicación. Las recomendaciones realizadas por los revisores expertos han sido listadas y documentadas dentro del SRT del SNICHILE, correspondiente al libro de cálculo 2022_SGCC_3AGRI.

5.2.7.6.3 Verificación

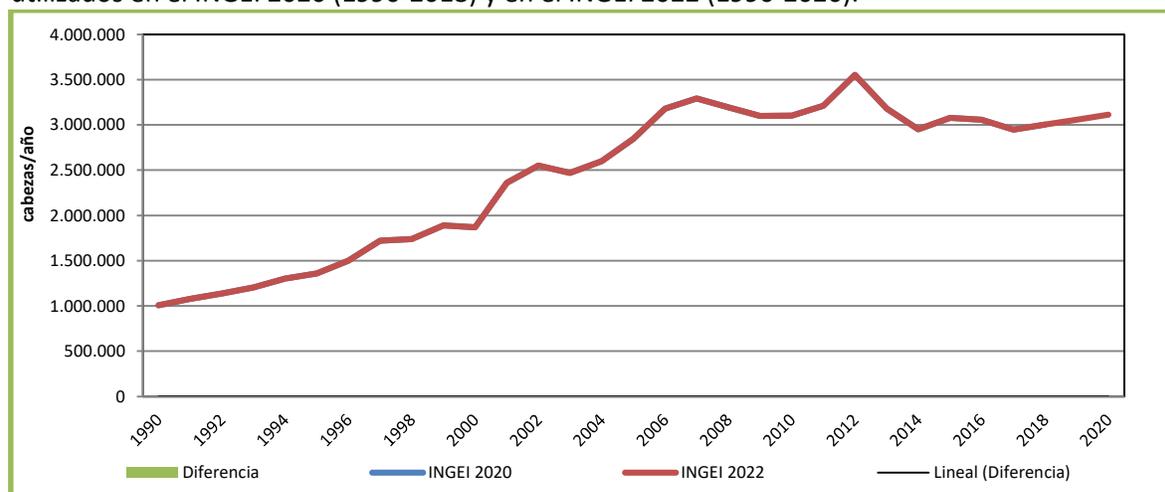
Se empleó el mismo proceso de verificación explicado para la sección 5.2.5.6.3. *Verificación de Ganado bovino*. En el INGEI anterior se utilizó como base de la población animal los datos estadísticos del Instituto Nacional de Estadística (INE). En esta oportunidad se utilizaron los datos nacionales provenientes de los *Censos Agropecuarios y Forestales 1997 y 2007* e información entregada por ASPROCER hasta el 2018, e información de ODEPA para los años 2019 y 2020, calculando con ello las estimaciones de CH₄. En la Tabla 5-29 y Figura 5-13 se observa que los datos de población utilizados en ambos inventarios siguen la misma tendencia, no presentando variaciones.

Tabla 5-29. 3.A.3. Porcinos: comparación de los datos de población de Porcinos (cabezas año⁻¹) utilizados en el INGEI 2020 (1990-2018) y en el INGEI 2022 (1990-2020).

INGEI	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2019	2020
INGEI 2020	1.007.722	1.869.272	3.103.207	3.181.492	3.055.752	3.003.769		
INGEI 2022	1.007.722	1.869.272	3.103.207	3.181.492	3.055.752	3.003.769	3.057.947	3.112.125
Diferencia	-	-	-	-	-	-		
Diferencia %	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%		

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI con base en INGEI 2020 e INGEI 2022.

Figura 5-13. 3.A.3. Porcinos: comparación de los datos de población de Porcinos (cabezas año⁻¹) utilizados en el INGEI 2020 (1990-2018) y en el INGEI 2022 (1990-2020).



Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI con base en INGEI 2020 e INGEI 2022.

5.2.7.7 Nuevos cálculos

No hubo nuevos cálculos para este ítem.

5.2.7.8 Plan de mejoramiento

En respuesta al análisis propio del Equipo Técnico de Agricultura y a las recomendaciones de la revisión experta del INGEI de Chile, las mejoras planificadas del sector son las siguientes:

- Se buscará para los siguientes inventarios continuar con la colaboración de ASPROCER para la recopilación y validación de datos paramétricos.
- Para el próximo inventario se contará con datos del Censo Nacional Agropecuario, lo que permitirá precisar las existencias animales.

5.2.8 Otras especies (3.A.4.)

5.2.8.1 Descripción de la subcategoría

Esta subcategoría incluye emisiones de CH₄, el cual se produce como subproducto de los procesos digestivos de otras especies de menor participación en la población animal nacional. Las especies consideradas son las siguientes:

- Caprinos;
- Equinos;
- Mulas y asnos;
- Aves de corral;
- Camélidos (llamas y alpacas);
- Ciervos; y
- Jabalíes.

5.2.8.2 Tendencia de las emisiones de GEI

En 2020, las emisiones de GEI de esta subcategoría contabilizaron 184,6 kt CO₂ eq (representando el 4,2 % de las emisiones de GEI de la categoría), disminuyendo en un 38,2 % desde 1990 y en un 2,4 % desde 2018 (Tabla 5-30 y Figura 5-14).

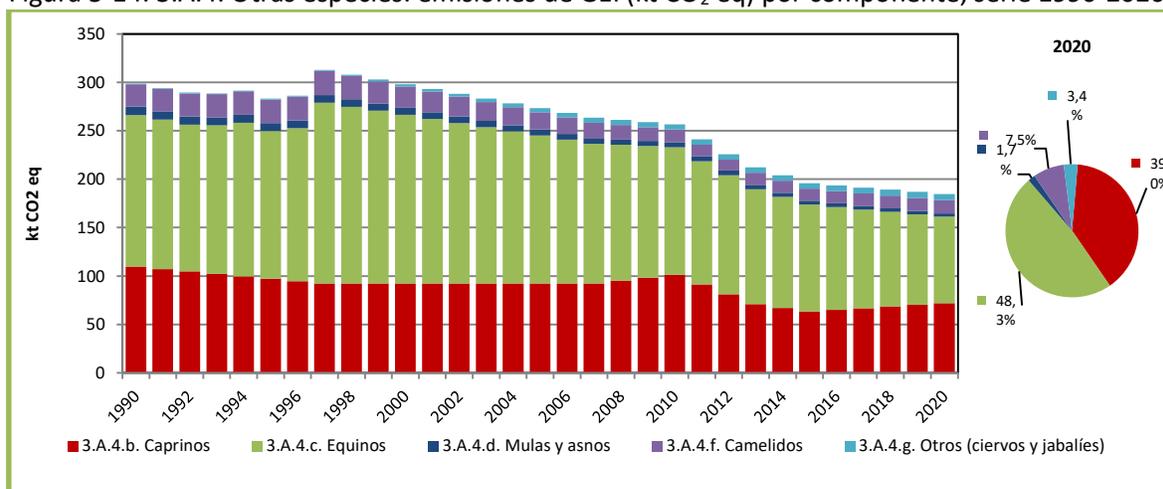
Respecto a los componentes, *Equinos* contabiliza la mayoría de las emisiones, representando un 48,3 % de la subcategoría. Le siguen *Caprinos* representando un 39,0 %, *Camélidos (llamas y alpacas)* con un 7,5 % y los demás componentes suman un 5,1 %.

Tabla 5-30. 3.A.4. Otras especies: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por componente, serie 1990-2020.

Componente	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020
3.A.4.b. Caprinos	109,6	92,3	101,3	70,8	65,0	68,5	72,0
3.A.4.c. Equinos	156,4	174,0	131,6	118,9	106,1	97,7	89,2
3.A.4.d. Mulas y asnos	8,9	7,2	5,1	4,5	3,9	3,5	3,2
3.A.4.f. Camélidos	23,0	22,2	13,2	12,5	12,6	13,3	13,9
3.A.4.g. Otros (ciervos y jabalíes)	0,7	2,3	5,4	5,6	5,9	6,1	6,3
Total	298,6	298,0	256,6	212,3	193,6	189,1	184,6

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

Figura 5-14. 3.A.4. Otras especies: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por componente, serie 1990-2020.



Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

5.2.8.3 Aspectos metodológicos de la subcategoría

Para la estimación de las emisiones de CH₄ de esta subcategoría se aplicó el método Nivel 1. Para su aplicación basta conocer las poblaciones por especie, las que se multiplican por los factores de emisión por defecto correspondientes. En la Tabla 5-31 se observa un resumen de los métodos aplicados por componente y por tipo de GEI.

Tabla 5-31. 3.A.4. Otras especies: métodos aplicados por componente animal.

Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero	CO ₂		CH ₄		N ₂ O	
	Nivel metodológico	Factor de emisión	Nivel metodológico	Factor de emisión	Nivel metodológico	Factor de emisión
3.A.4. Otras especies			T1, NO, NE	D, NO, NE		
3.A.4.a. Búfalos			NO	NO		
3.A.4.b. Caprinos			T1	D		
3.A.4.c. Equinos			T1	D		
3.A.4.d. Mulas y asnos			T1	D		
3.A.4.e. Aves de corral			NE	NE		
3.A.4.f. Camélidos			T1	D		
3.A.4.g. Otras especies			T1	D		

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

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

5.2.8.3.1 Datos de actividad estadísticos y paramétricos

La población animal (cabezas año⁻¹) fue obtenida de los *Censos Agropecuarios y Forestales 1997 y 2007*, y de las estadísticas anuales publicadas por la Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA). Para más información ver sección 5.2.4. *Datos de actividad de la categoría*.

5.2.8.3.2 Factores de emisión

Para estas especies, se utilizaron los factores de emisión por defecto proporcionados por las *Directrices del IPCC de 2006* (Tabla 5-32), para países en desarrollo.

Tabla 5-32. 3.A.4. Otras especies: factores de emisión por defecto por especie animal (kg CH₄ animal⁻¹ año⁻¹)

Especie animal	Factores de Emisión (kg CH ₄ animal ⁻¹ año ⁻¹)
Caprinos	5
Camélidos (alpacas) ⁵²	8
Equinos	18
Mulas y asnos	10
Aves de corral	Sin datos suficiente para cálculos
Jabalíes ⁵³	1,5
Ciervos	20

Fuente: Cuadro 10.10; Capítulo 10; Volumen 4; *Directrices del IPCC de 2006*.

5.2.8.4 Incertidumbre

La incertidumbre combinada de esta subcategoría, para el 2020, ha sido estimada para cada GEI de cada componente animal empleando el método nivel 1. Un resumen de los resultados de la incertidumbre combinada se presenta en la Tabla 5-33.

⁵² Se utilizó el factor de emisión nivel 1 corresponde a Alpacas, según las *Directrices del IPCC de 2006*, debido a que según juicio experto este valor refleja la realidad de los camélidos nacionales.

⁵³ Al no contar con un factor de emisión determinado, para jabalíes, y según juicio experto, se utilizó para el presente inventario, el factor de emisión nivel 1 de cerdos para países desarrollados que representaría la realidad de esta especie en el país.

Tabla 5-33. 3.A.4. Otras especies: resumen de la incertidumbre combinada 2020.

Código IPCC	Categoría del IPCC	Gas	Incertidumbre en los datos de actividad		Incertidumbre en el factor de emisión		Incertidumbre combinada	
			(-)%	(+)%	(-)%	(+)%	(-)%	(+)%
3.A.4. b.	Caprinos	CH ₄	44%	44%	30%	30%	53%	53%
3.A.4. c.	Equinos	CH ₄	44%	44%	30%	30%	53%	53%
3.A.4. d.	Mulas y asnos	CH ₄	44%	44%	30%	30%	53%	53%
3.A.4. f.	Camélidos (llamas y alpacas)	CH ₄	44%	44%	50%	30%	67%	53%
3.A.4. g.i.	Ciervos	CH ₄	50%	50%	50%	30%	71%	59%
3.A.4.g.ii.	Jabalíes	CH ₄	50%	50%	50%	30%	71%	59%

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

5.2.8.5 Consistencia de la serie temporal

Para mantener la consistencia de la serie temporal 1990-2020 se usaron los mismos factores de emisión y la misma fuente de datos de actividad, tanto estadísticos como paramétricos. Y al igual que la consistencia realizada para ganado bovino, se completaron los años donde no se contaba con datos estadísticos, se realizaron extrapolaciones e interpolaciones lineales. Cuando se realizaron cambios de actividad paramétrica o de factor de emisión, los nuevos cálculos realizados cubrieron la serie temporal completa.

5.2.8.6 Procedimiento de garantía y control de la calidad y verificación

5.2.8.6.1 Control de la calidad

Durante la actualización del ISGEI de Agricultura se han aplicado las recomendaciones de control de calidad de las *Directrices del IPCC de 2006* para la subcategoría y las actividades propias del Equipo Técnico de Agricultura. Todas estas actividades están listadas y documentadas dentro del SRT del SNICHILE, correspondiente al libro de cálculo *2022_SGCC_3AGRI*. Algunas de estas actividades rutinarias para el control de la calidad son las siguientes:

Gestión de los datos de actividad estadísticos:

- Los datos de actividad estadísticos fueron ingresados a las planillas de forma semiautomática, directamente desde su fuente de origen, evitando errores asociados a la transcripción manual.
- Los totales nacionales de los datos de actividad fueron confeccionados por la suma de los totales regionales, realizando un chequeo cruzado para comprobar que no exista diferencia entre ellos.

Gestión de factores de emisión, factores de conversión y constantes:

- Todos los principales datos paramétricos se encuentran compilados en una sola planilla denominada "FE_DA_Ganado_V15102021", que está vinculada a las hojas de trabajo. Esto permite que esté centralizada la información para una rápida revisión y actualización cuando corresponda.

Gestión de las hojas de trabajo:

- Todas las hojas de trabajo están vinculadas automáticamente a las hojas de datos de actividad y factores de emisión.

- En las hojas de trabajo los valores de nivel país fueron generados tanto por la suma de los valores regionales, como por el ingreso directo a las planillas de los valores nacionales, no debiendo existir diferencia alguna entre ambas derivaciones. De esta forma, en cada planilla de trabajo se cuenta con tres cuadros de datos país: país por suma de regiones, país por datos nacionales directamente ingresados y país por la diferencia entre los dos cuadros anteriores, que debe dar cero (sin diferencia alguna entre los primeros dos cuadros).

Revisión interna:

- Para asegurar que los datos fueran reales, completos y consistentes, se efectuó una verificación cruzada de la información con otras fuentes y con datos utilizados en actualizaciones de años anteriores.
- Se realizó una revisión de las planillas de cálculo y hojas de trabajo por parte de revisores internos del proceso de actualización en cada institución que forma parte del Equipo Técnico de Agricultura.

5.2.8.6.2 Garantía de la calidad

Previo a la actualización del sector *Agricultura*, el Equipo Técnico ha desarrollado un análisis de la inclusión de las recomendaciones levantadas durante la revisión externa, tanto del ISGEI de Agricultura como del INGEI de Chile, para evaluar la factibilidad de su aplicación. Las recomendaciones realizadas por los revisores expertos han sido listadas y documentadas dentro del SRT del SNICHILE, correspondiente al libro de cálculo *2022_SGCC_3AGRI*.

5.2.8.6.3 Verificación

Se empleó el mismo proceso de verificación explicado para la sección 1.2.5.6.1. *Verificación de Ganado bovino*. En este inventario (INGEI 2022) no hay diferencia en la población de animales de esta subcategoría al compararlo con el inventario anterior (INGEI 2020).

5.2.8.7 Nuevos cálculos

No hubo ajustes respecto al inventario.

5.2.8.8 Plan de mejoramiento

Dado que esta subcategoría animal no es una categoría clave en el ISGEI, no se consideran mejoramientos específicos. La realización del censo agropecuario en el segundo semestre de 2020 (datos aún no publicados oficialmente) ofrece oportunidades para mejorar la precisión en los datos de población empleados.

5.3 Gestión del estiércol (3.B.)

5.3.1 Descripción de la categoría

Esta categoría incluye las emisiones de CH₄ y N₂O (directas e indirectas) generadas por los sistemas de producción animal, en particular, la de los sistemas para el almacenamiento del estiércol.

En el contexto nacional, ambas subcategorías se incluyen en el INGEI de Chile agrupadas en los siguientes componentes:

- Ganado bovino (incluye ganado lechero y otros bovinos, ambos desagregados por edad);
- Ovinos (ovejas);
- Caprinos (cabras);
- Camélidos (incluye como población única a llamas y alpacas);
- Equinos (caballos);
- Mulas y asnos;
- Porcinos (cerdos desagregados por edad); y
- Aves de corral (incluye como población única a gallinas ponedoras y de carne, patos, pavos y otras aves de corral).
- Jabalíes
- Ciervos

5.3.2 Tendencia de las emisiones de GEI

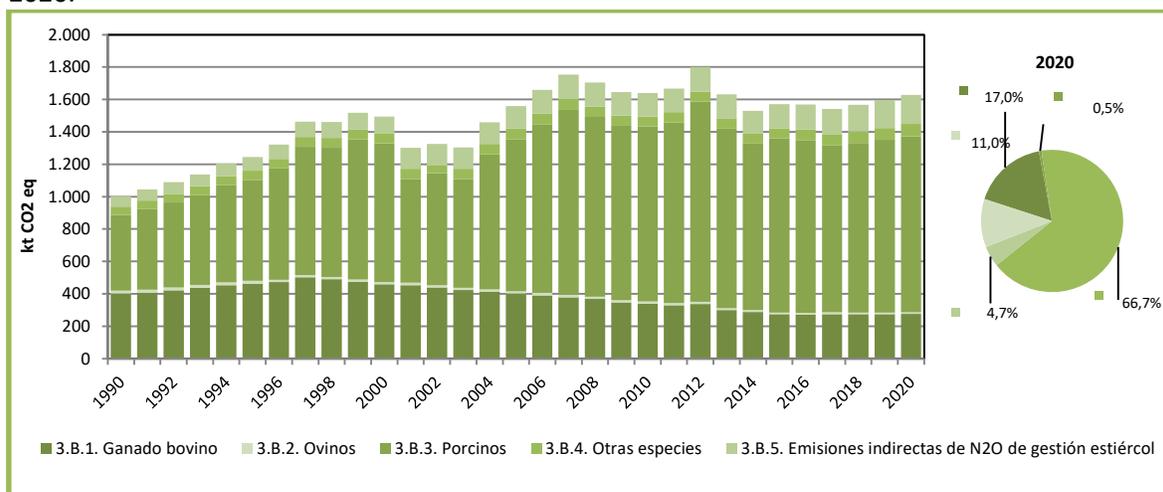
La categoría *Gestión del estiércol* es la tercera categoría emisora de GEI del sector *Agricultura*, representando el 14,5 % de las emisiones de GEI del sector. En 2020, sus emisiones de GEI contabilizaron 1.627,5 kt CO₂ eq, incrementándose en un 62,2 % desde 1990 y en un 3,8 % desde 2018. El principal causante de la tendencia y las variaciones interanuales corresponde a la variación en población animal, principalmente aumento de la población de porcinos y aves, y cambios en los factores de emisión del ganado bovino. Respecto a las subcategorías, *Porcinos* es la de mayor relevancia con un 66,7 %, seguida de un 17,0 % de *Ganado bovino*, un 11,0 % de *Emisiones indirectas por gestión del estiércol*, 4,7 % de *Otras especies* y un 0,5 % de *Ovinos*.

Tabla 5-34. 3.B. Gestión del estiércol: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por subcategoría, serie 1990-2020.

Subcategoría	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020
3.B.1. Ganado bovino	402,9	459,6	340,2	299,7	271,8	273,7	277,4
3.B.2. Ovinos	18,0	14,2	13,6	12,8	10,7	9,8	8,8
3.B.3. Porcinos	465,8	855,7	1.079,0	1.106,2	1.066,2	1.048,1	1.085,9
3.B.4. Otras especies	51,2	63,2	62,2	62,1	65,3	70,8	76,2
3.B.5. Emisiones indirectas de N ₂ O de gestión estiércol	65,7	101,2	143,7	150,2	154,7	165,3	179,2
Total	1.003,5	1.493,9	1.638,6	1.631,0	1.568,7	1.567,6	1.627,5

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

Figura 5-15. 3.B. Gestión del estiércol: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por subcategoría, serie 1990-2020.



Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

5.3.3 Aspectos metodológicos de la categoría

Para la estimación de las emisiones de CH₄ de *Ganado bovino* y *Porcinos* se aplicó el método Nivel 2 y el método Nivel 1 para las restantes especies animales. En el caso de las emisiones de N₂O se aplicó el método Nivel 1 para todas las especies animales. La población animal empleada es la misma utilizada para la *Fermentación entérica*. En la Tabla 5-35 se observa un resumen de los métodos aplicados por componente animal y por tipo de GEI.

Tabla 5-35. 3.B. Gestión del estiércol: métodos aplicados por subcategoría.

Código o IPCC	Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero	CO ₂		CH ₄		N ₂ O	
		Método aplicado	Factor de emisión	Método aplicado	Factor de emisión	Método aplicado	Factor de emisión
3.B	Gestión del estiércol			T1, T2, NO	CS, D, NO	T1, T2, NO	CS, D, NO
3.B.1.	Ganado bovino			T2	CS	T2	CS
3.B.2.	Ovinos			T1	D	T1	D
3.B.3.	Porcinos			T2	CS	T1	D
3.B.4.	Otras especies			T1, NO	D, NO	T1, NO	D, NO
3.B.5.	Emisiones Indirectas de N ₂ O por gestión del estiércol					T1	D

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

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

5.3.4 Datos de actividad de la categoría

Ganado y otras especies

Los datos de actividad de cada especie fueron los mismos utilizados para la estimación de las emisiones por *Fermentación entérica*.

Porcinos

La desagregación de la población de *Porcinos* entre los diferentes sistemas de gestión del estiércol (SGE) fue aportada por profesionales de ASPROCER hasta el año 2018. Para los años 2019 y 2020 se utilizó extrapolación de la información del inventario anterior (INGEI 2020).

Sistemas de gestión del estiércol de bovinos

Para el ganado bovino, la asignación de la población a los sistemas de gestión del estiércol (SGE) se realizó con base en el juicio experto⁵⁴. En el ANEXO 11.07 se entrega mayor detalle de la definición de los sistemas de gestión de estiércol.

Tasas de excreción de nitrógeno

Un dato paramétrico importante para estimar las emisiones de N₂O corresponde a la tasa anual de excreción de nitrógeno por especie animal. Estas tasas fueron calculadas aplicando los valores de excreción por día por cada 1.000 kg de peso vivo, en línea con las *Directrices del IPCC de 2006* (Cuadro 10.19; Capítulo 10; Volumen 4) y multiplicándolas por la masa corporal animal determinada según juicio de experto⁵⁵ (Tabla 5-36). Las tasas del ganado bovino se detallan en la sección correspondiente.

Tabla 5-36. 3.B. Gestión del estiércol: tasas de excreción de nitrógeno (kg N (1.000 kg masa animal)⁻¹ día⁻¹) serie 1990-2020.

Especie animal	Tasa de excreción de N (kg N 1.000 kg peso vivo-día ⁻¹)	Peso corporal promedio (kg peso vivo cabeza ⁻¹)	Excreción de N (kg N animal-año ⁻¹)
Ovinos	1,17	60,00	25,62
Caprinos	1,37	50,00	25,00
Llamas y Alpacas	0,46	95,00	15,95
Equinos	0,46	450,00	75,56
Mulas y Asnos	0,46	237,50	39,88
Porcinos			
Verracos	0,50	120,00	21,90
Marranas	0,50	100,00	18,25
Juveniles	0,50	49,60	9,05
Aves de corral	0,82	2,50	0,75
Jabalíes	1,57	100,00	57,31
Ciervos	0,46	450,00	75,56

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI con base en valores por defecto de las Directrices del IPCC de 2006. Cuadro 10.19; Capítulo 10; Volumen 4 y juicio experto.

5.3.5 Ganado bovino (3.B.1.)

5.3.5.1 Descripción de la subcategoría

Esta subcategoría incluye emisiones de CH₄ y N₂O generadas por la descomposición del estiércol bajo condiciones aeróbicas y anaeróbicas del ganado bovino. Cabe destacar, que los sistemas de producción bovina en Chile son basados principalmente en pastoreo directo, en especial para bovinos no lecheros, y por lo tanto, las emisiones de fecas y orina son consideradas bajo la categoría

⁵⁴ Investigadores de INIA-Remehue. Dres. Marta Alfaro y Francisco Salazar

⁵⁵ Investigadores de INIA-Remehue (Dres. Sergio Iruira y Francisco Lanuza y, Sr. Marcelo Quezada), y profesionales de ASPROCER (Sr. Renzo Boccanegra y Sra. Daniela Álvarez)

de gestión de suelos agrícolas. En el caso de vacas lecheras existe desde confinamiento total a parcial, en donde sistemas netamente pastoriles generan también estiércol líquido, el cual es producido durante los tiempos de ordeña y/o estabulaciones parciales (Ej. patios de alimentación), manejándose principalmente en laguna anaeróbica descubiertas⁵⁶.

5.3.5.2 Tendencia de las emisiones de GEI

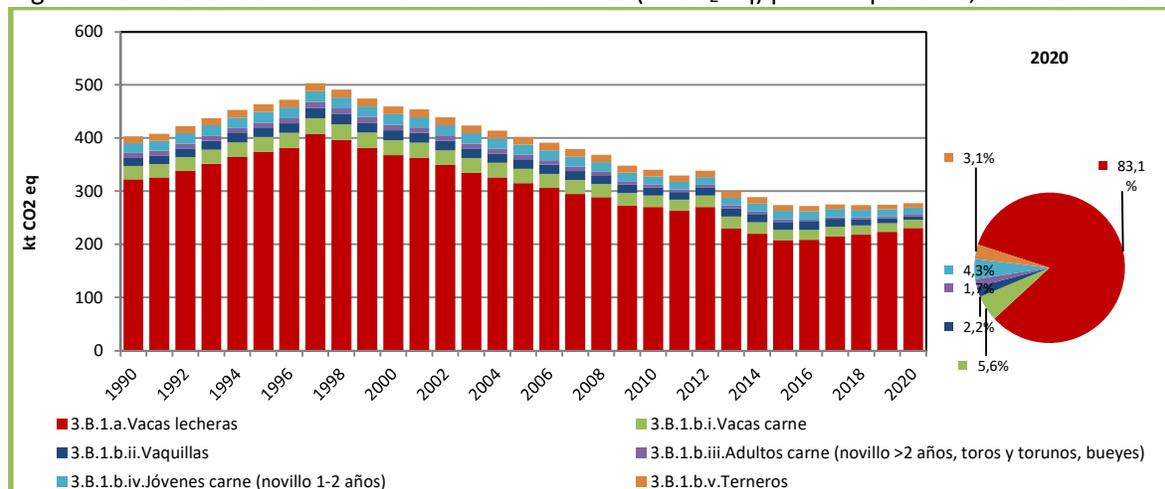
En 2020, las emisiones de GEI de esta subcategoría contabilizaron 277,4 kt CO₂ eq, representando el 17,0 % de las emisiones de GEI de la categoría y disminuyendo en un 31,1 % desde 1990, y aumentando en un 1,3 % desde 2018 (Tabla 5-37 y Figura 5-16). Esta disminución de emisiones desde el año 1990 puede ser explicada principalmente por la reducción de la masa ganadera bovina en sistemas estabulados.

Tabla 5-37. 3.B.1. Ganado bovino: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por componente, serie 1990-2020.

Componente	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020
3.B.1.a.Vacas lecheras	322,3	367,5	269,9	229,2	208,6	218,2	230,6
3.B.1.b.i.Vacas carne	25,0	28,5	21,8	22,9	18,5	17,0	15,5
3.B.1.b.ii.Vaquillas	15,3	18,5	15,2	15,9	15,2	12,1	6,1
3.B.1.b.iii.Adultos carne (novillo >2 años, toros y torunos, bueyes)	9,6	10,4	5,5	5,0	3,8	3,5	4,6
3.B.1.b.iv.Jóvenes carne (novillo 1-2 años)	18,3	19,8	15,4	14,6	15,9	14,2	12,0
3.B.1.b.v.Ternereros	12,4	14,9	12,3	12,2	9,8	8,7	8,6
Total	402,9	459,6	340,2	299,7	271,8	273,7	277,4

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

Figura 5-16. 3.B.1. Ganado bovino: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por componente, serie 1990-2020.



Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

5.3.5.3 Aspectos metodológicos de la subcategoría

Para las emisiones de CH₄ y de N₂O se aplicó un método Nivel 2 debido a que esta especie tiene una participación mayoritaria en las emisiones de la subcategoría. El método Nivel 2 implica la desagregación de la población animal en grupos homogéneos y la utilización de factores de emisión

⁵⁶ Salazar, F. 2012. Manual de manejo y utilización de purines de lechería. Consorcio Lechero (Chile). 116p.

país específico. Para la estimación de las emisiones de N₂O de los sistemas de gestión del estiércol, el ganado bovino fue asignado a diferentes SGE según las características de los sistemas productivos de cada región administrativa del país; esta asignación se hizo por juicio de experto ya que el país no cuenta con datos estadísticos. En la Tabla 5-38 se observa un resumen de los métodos aplicados por componente animal y por tipo de GEI.

Tabla 5-38. 3.B.1. Ganado bovino: métodos aplicados por componente animal.

Código IPCC	Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero	CO ₂		CH ₄		N ₂ O	
		Método aplicado	Factor de emisión	Método aplicado	Factor de emisión	Método aplicado	Factor de emisión
3.B.1.a.	Vacas lecheras			T2	CS	T2	CS
3.B.1. b.i.	Vacas carne			T2	CS	T2	CS
3.B.1. b.ii.	Vaquillas			T2	CS	T2	CS
3.B.1. b.iii.	Adultos carne			T2	CS	T2	CS
3.B.1. b.iv.	Jóvenes carne			T2	CS	T2	CS
3.B.1. b.v.	Terneros			T2	CS	T2	CS

T2 = Nivel 2; CS = País específico

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

5.3.5.3.1 Datos de actividad estadísticos y paramétricos

La población animal (cabezas año⁻¹) fue obtenida de la misma forma que para fermentación entérica. Para más información ver 1.2.4.

5.3.5.3.2 Datos de actividad de la categoría

La asignación de la fracción de población animal a los distintos SGE, se realizó con base en juicio experto (planilla FE_DA_Ganado_v15102021, hoja DdA Paramétricos)⁵⁷. Un dato paramétrico importante para estimar las emisiones de N₂O corresponde a la tasa anual de excreción de nitrógeno por especie animal. Estas tasas fueron calculadas aplicando los valores de excreción por día por cada 1.000 kg de peso vivo, en línea con las *Directrices del IPCC de 2006* (Cuadro 10.19; Capítulo 10; Volumen 4) y multiplicándolas por la masa corporal animal determinada en forma dinámica para el período 1990-2020, según juicio de experto⁵⁸ (Tabla 5-39 y Tabla 5-40).

Tabla 5-39. 3.B.1. Ganado bovino: tasas de excreción de nitrógeno (kg N (1.000 kg masa animal)⁻¹ año⁻¹) para ganado en pastoreo, empleadas en la serie 1990-2020.

Año	Vacas lecheras	Vacas carne	Vaquillas	Adultos carne	Jóvenes carne	Terneros
1990	99,86	72,27	48,62	68,72	42,44	19,71
1991	99,59	72,02	48,67	68,65	42,62	19,71
1992	99,32	71,76	48,72	68,57	42,80	19,71
1993	99,06	71,51	48,77	68,49	42,97	19,71
1994	98,79	71,26	48,82	68,42	43,15	19,71
1995	98,52	71,01	48,87	68,34	43,33	19,71
1996	98,25	70,75	48,92	68,27	43,50	19,71
1997	97,98	70,50	48,97	68,19	43,68	19,71
1998	97,71	70,25	49,02	68,12	43,86	19,71
1999	97,44	70,00	49,07	68,04	44,03	19,71

⁵⁷ Investigadores de INIA-Remehue (Dres Marta Alfaro y Francisco Salazar)

⁵⁸ Investigadores de INIA-Remehue (Dres Sergio Iraira y Francisco Lanuza) y de la Universidad de Chile (Héctor Manterola)

Año	Vacas lecheras	Vacas carne	Vaquillas	Adultos carne	Jóvenes carne	Terneros
2000	97,17	69,74	49,12	67,96	44,21	19,71
2001	96,90	69,49	49,17	67,89	44,39	19,71
2002	96,63	69,24	49,22	67,81	44,56	19,71
2003	96,36	68,99	49,28	67,74	44,74	19,71
2004	96,09	68,73	49,33	67,66	44,92	19,71
2005	95,82	68,48	49,38	67,59	45,10	19,71
2006	95,55	68,23	49,43	67,51	45,27	19,71
2007	95,28	67,97	49,48	67,43	45,45	19,71
2008	95,01	67,72	49,53	67,36	45,63	19,71
2009	94,74	67,47	49,58	67,28	45,80	19,71
2010	94,47	67,22	49,63	67,21	45,98	19,71
2011	94,20	66,96	49,68	67,13	46,16	19,71
2012	93,93	66,71	49,73	67,05	46,33	19,71
2013	93,66	66,46	49,78	66,98	46,51	19,71
2014	93,40	66,21	49,83	66,90	46,69	19,71
2015	93,13	65,95	49,88	66,83	46,86	19,71
2016	92,86	65,70	49,93	66,75	47,04	19,71
2017	92,86	65,70	49,93	66,75	47,04	19,71
2018	92,86	65,70	49,93	66,75	47,04	19,71
2019	92,86	65,70	49,93	66,75	47,04	19,71
2020	92,86	65,70	49,93	66,75	47,04	19,71

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI con base en valores por defecto de las Directrices del IPCC de 2006 y juicio experto.

Tabla 5-40. 3.B.1. Ganado bovino: tasas de excreción de nitrógeno (kg N (1.000 kg masa animal)⁻¹ año⁻¹) para confinamiento, empleadas en la serie temporal 1990-2020.

Año	Vacas lecheras	Vacas carne	Vaquillas	Adultos carne	Jóvenes carne	Terneros
1990	110,38	72,27	53,87	74,90	42,44	19,71
1991	110,68	72,02	53,82	75,15	42,43	19,76
1992	110,98	71,76	53,77	75,40	42,41	19,81
1993	111,29	71,51	53,72	75,66	42,40	19,86
1994	111,59	71,26	53,67	75,91	42,38	19,91
1995	111,89	71,01	53,62	76,16	42,37	19,96
1996	112,20	70,75	53,57	76,41	42,35	20,01
1997	112,50	70,50	53,52	76,67	42,34	20,06
1998	112,80	70,25	53,47	76,92	42,32	20,11
1999	113,11	70,00	53,42	77,17	42,31	20,16
2000	113,41	69,74	53,37	77,42	42,29	20,22
2001	113,71	69,49	53,32	77,68	42,28	20,27
2002	114,01	69,24	53,27	77,93	42,26	20,32
2003	114,32	68,99	53,22	78,18	42,25	20,37
2004	114,62	68,73	53,17	78,44	42,23	20,42
2005	114,92	68,48	53,12	78,69	42,21	20,47
2006	115,23	68,23	53,07	78,94	42,20	20,52
2007	115,53	67,97	53,01	79,19	42,18	20,57
2008	115,83	67,72	52,96	79,45	42,17	20,62
2009	116,14	67,47	52,91	79,70	42,15	20,67
2010	116,44	67,22	52,86	79,95	42,14	20,72
2011	116,74	66,96	52,81	80,20	42,12	20,77
2012	117,05	66,71	52,76	80,46	42,11	20,82
2013	117,35	66,46	52,71	80,71	42,09	20,87
2014	117,65	66,21	52,66	80,96	42,08	20,92

Año	Vacas lecheras	Vacas carne	Vaquillas	Adultos carne	Jóvenes carne	Terneros
2015	117,96	65,95	52,61	81,22	42,06	20,97
2016	118,26	65,70	52,56	81,47	42,05	21,02
2017	118,26	65,70	52,56	81,47	42,05	21,02
2018	118,26	65,70	52,56	81,47	42,05	21,02
2019	118,26	65,70	52,56	81,47	42,05	21,02
2020	118,26	65,70	52,56	81,47	42,05	21,02

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI con base en valores por defecto de las Directrices del IPCC de 2006 y juicio experto.

5.3.5.3.3 Factores de emisión

Los factores de emisión país específicos empleados para la estimación de la emisión de CH₄ por la gestión del estiércol para el *Ganado bovino* se obtuvieron en base a la Ecuación 10.23 del Capítulo 10, Volumen 4 de las *Directrices del IPCC de 2006* y utilizando juicio experto⁵⁹. Estos factores se estiman por tipo de ganado, modelo de gestión del ganado y ubicación geográfica. Los factores de emisión promedio (ponderado) utilizados por región y año, por categoría animal se presentan en las Tabla 5-41, Tabla 5-42, Tabla 5-43, Tabla 5-44, Tabla 5-45 y Tabla 5-46.

Tabla 5-41. Factores de emisión país-específicos (kg CH₄ cabeza⁻¹ año⁻¹) (promedio), para la estimación de la emisión de CH₄ de la subcategoría “3.B. Gestión del estiércol” para vacas lecheras.

Vacas lecheras	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020
Arica y Parinacota	22,48	45,34	50,93	49,51	49,80	47,40	46,19
Tarapacá	46,78	47,19	53,03	51,55	51,86	49,74	48,48
Antofagasta	46,78	47,19	53,03	51,55	51,86	49,74	48,48
Atacama	46,78	47,19	53,03	51,55	51,86	49,74	48,48
Coquimbo	70,44	71,21	80,18	77,98	78,49	75,29	73,38
Valparaíso	66,72	67,28	75,87	73,79	74,26	71,23	50,18
Metropolitana	66,72	67,42	75,87	73,79	74,26	71,23	69,42
O'Higgins	70,45	71,22	80,19	77,99	78,50	75,30	73,38
Maule	70,45	71,22	80,19	77,99	78,50	75,30	73,38
Ñuble	31,16	31,44	35,34	34,35	34,56	33,15	32,31
Bío Bío	31,16	31,44	35,34	34,35	34,56	33,15	32,31
La Araucanía	20,22	20,35	22,83	22,18	22,30	21,39	20,84
Los Ríos	21,01	21,15	23,72	23,05	23,18	22,23	21,66
Los Lagos	9,40	9,38	10,45	10,13	10,16	9,74	9,49
Aysén	9,29	9,27	10,32	10,00	10,03	9,62	9,37
Magallanes	9,29	9,27	10,32	10,00	10,03	9,62	9,37

Fuente: Juicio experto de investigadores de INIA-Remehue y Universidad de Chile.

Tabla 5-42. Factores de emisión país-específicos (kg CH₄ cabeza⁻¹ año⁻¹) (promedio) para la estimación de la emisión de CH₄ de la subcategoría “3.B. Gestión del estiércol” para vacas carne.

Vacas carnes	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020
Arica y Parinacota	2,08	1,90	1,73	1,69	1,64	1,64	1,64
Tarapacá	2,08	1,90	1,73	1,68	1,64	1,64	1,64
Antofagasta	2,08	1,90	1,73	1,68	1,64	1,64	1,64
Atacama	2,08	1,90	1,73	1,68	1,64	1,64	1,64
Coquimbo	2,08	1,90	1,73	1,68	1,64	1,64	1,64
Valparaíso	2,08	1,70	1,73	1,68	1,64	1,64	1,64
Metropolitana	2,08	1,90	1,73	1,68	1,64	1,64	1,64
O'Higgins	2,08	1,90	1,73	1,68	1,64	1,64	1,64

⁵⁹ Marta Alfaro, Francisco Salazar, Sergio Iraira y Francisco Lanuza (investigadores de INIA-Remehue) y Héctor Manterola (Universidad de Chile) con base en las *Directrices del IPCC de 2006*.

Vacas carnes	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020
Maule	2,08	1,90	1,73	1,68	1,64	1,64	1,64
Ñuble	1,04	0,95	0,87	0,84	0,82	0,82	0,82
Bío Bío	1,04	0,95	0,87	0,84	0,82	0,82	0,82
La Araucanía	1,04	0,95	0,87	0,84	0,82	0,82	0,82
Los Ríos	1,04	0,95	0,87	0,84	0,82	0,82	0,82
Los Lagos	1,04	0,95	0,87	0,84	0,82	0,82	0,82
Aysén	1,04	0,95	0,87	0,84	0,82	0,82	0,82
Magallanes	1,04	0,95	0,87	0,84	0,82	0,82	0,82

Fuente: Juicio experto de investigadores de INIA-Remehue y Universidad de Chile.

Tabla 5-43. Factores de emisión país-específicos (kg CH₄ cabeza⁻¹ año⁻¹) (promedio) para la estimación de la emisión de CH₄ de la subcategoría 3.B. Gestión del estiércol para vaquillas.

Vaquillas	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020
Arica y Parinacota	1,95	2,09	2,24	2,29	2,33	2,33	2,33
Tarapacá	1,95	2,09	2,24	2,28	2,33	2,33	2,33
Antofagasta	1,95	2,09	2,24	2,28	2,33	2,33	2,33
Atacama	1,95	2,09	2,24	2,28	2,33	2,33	2,33
Coquimbo	1,95	2,09	2,24	2,28	2,33	2,33	2,33
Valparaíso	1,95	2,09	2,24	2,28	2,33	2,33	2,33
Metropolitana	1,95	2,09	2,24	2,28	2,33	2,33	2,33
O'Higgins	1,95	2,09	2,24	2,28	2,33	2,33	2,33
Maule	1,95	2,09	2,24	2,28	2,33	2,33	2,33
Ñuble	0,97	1,05	1,12	1,14	1,16	1,16	1,16
Bío Bío	0,97	1,05	1,12	1,14	1,16	1,16	1,16
La Araucanía	0,97	1,05	1,12	1,14	1,16	1,16	1,16
Los Ríos	0,97	1,05	1,12	1,14	1,16	1,16	1,16
Los Lagos	0,97	1,05	1,12	1,14	1,17	1,17	1,17
Aysén	0,97	1,05	1,12	1,14	1,16	1,16	1,16
Magallanes	0,97	1,05	1,12	1,14	1,16	1,16	1,16

Fuente: Juicio experto de investigadores de INIA-Remehue y Universidad de Chile.

Tabla 5-44. Factores de emisión país-específicos (kg CH₄ cabeza⁻¹ año⁻¹) (promedio) para la estimación de la emisión de CH₄ de la subcategoría 3.B. Gestión del estiércol para adultos carne.

Adultos carne	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020
Arica y Parinacota	3,11	3,14	3,16	3,17	3,17	3,17	3,17
Tarapacá	3,11	3,14	3,16	3,17	3,17	3,17	3,17
Antofagasta	3,11	3,14	3,16	3,17	3,17	3,17	3,17
Atacama	3,11	3,14	3,16	3,17	3,17	3,17	3,17
Coquimbo	3,11	3,14	3,16	3,17	3,17	3,17	3,17
Valparaíso	3,11	3,14	3,16	3,17	3,17	3,17	3,17
Metropolitana	3,11	3,14	3,16	3,17	3,17	3,17	3,17
O'Higgins	3,11	3,14	3,16	3,17	3,17	3,17	3,17
Maule	3,11	3,14	3,16	3,17	3,17	3,17	3,17
Ñuble	1,56	1,57	1,58	1,58	1,59	1,59	1,59
Bío Bío	1,56	1,57	1,58	1,58	1,59	1,59	1,59
La Araucanía	1,56	1,57	1,58	1,58	1,59	1,59	1,59
Los Ríos	1,56	1,57	1,58	1,58	1,59	1,59	1,59
Los Lagos	1,56	1,57	1,58	1,58	1,59	1,59	1,59
Aysén	1,56	1,57	1,58	1,58	1,59	1,59	1,59
Magallanes	1,56	1,57	1,58	1,58	1,59	1,59	1,59

Fuente: Juicio experto de investigadores de INIA-Remehue y Universidad de Chile.

Tabla 5-45. Factores de emisión país-específicos (kg CH₄ cabeza⁻¹ año⁻¹) (promedio) para la estimación de la emisión de CH₄ de la subcategoría "3.B. Gestión del estiércol" para jóvenes carne.

Jóvenes carne	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020
Arica y Parinacota	1,87	2,03	2,19	2,24	2,29	2,29	2,29
Tarapacá	1,87	2,02	2,19	2,24	2,29	2,29	2,29
Antofagasta	1,87	2,02	2,19	2,24	2,29	2,29	2,29
Atacama	1,87	2,02	2,19	2,24	2,29	2,29	2,29

Jóvenes carne	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020
Coquimbo	1,87	2,02	2,19	2,24	2,29	2,29	2,29
Valparaíso	1,87	2,02	2,19	2,24	2,29	2,29	2,29
Metropolitana	1,87	2,02	2,19	2,24	2,29	2,29	2,29
O'Higgins	1,87	2,02	2,19	2,24	2,29	2,29	2,29
Maule	1,87	2,02	2,19	2,24	2,29	2,29	2,29
Ñuble	0,93	1,01	1,09	1,12	1,14	1,14	1,14
Bío Bío	0,93	1,01	1,09	1,12	1,14	1,14	1,14
La Araucanía	0,93	1,01	1,09	1,12	1,14	1,14	1,14
Los Ríos	0,93	1,01	1,09	1,12	1,14	1,14	1,14
Los Lagos	0,93	1,01	1,09	1,12	1,14	1,14	1,14
Aysén	0,93	1,01	1,09	1,12	1,14	1,14	1,14
Magallanes	0,93	1,01	1,09	1,12	1,14	1,14	1,14

Fuente: Juicio experto de investigadores de INIA-Remehue y Universidad de Chile.

Tabla 5-46. Factores de emisión país-específicos (kg CH₄ cabeza⁻¹ año⁻¹) (promedio) para la estimación de la emisión de CH₄ de la subcategoría "3.B. Gestión del estiércol" para terneros.

Terneros	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020
Arica y Parinacota	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98
Tarapacá	0,97	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98
Antofagasta	0,97	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98
Atacama	0,97	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98
Coquimbo	0,97	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98
Valparaíso	0,97	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98
Metropolitana	0,97	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98
O'Higgins	0,97	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98
Maule	0,97	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98
Ñuble	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49
Bío Bío	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49
La Araucanía	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49
Los Ríos	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49
Los Lagos	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49
Aysén	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49
Magallanes	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49

Fuente: Juicio experto de investigadores de INIA-Remehue y Universidad de Chile.

5.3.5.4 Incertidumbre

La incertidumbre combinada de esta subcategoría, para el 2020, ha sido estimada para cada GEI de cada componente animal empleando un nivel de metodología 1. Un resumen de los resultados de la incertidumbre combinada se presenta en la Tabla 5-47.

Tabla 5-47. 3.B.1. Ganado bovino: resumen de la incertidumbre combinada 2020.

Código IPCC	Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero	Gas	Incertidumbre en los datos de actividad		Incertidumbre en el factor de emisión		Incertidumbre combinada	
			(-)%	(+)%	(-)%	(+)%	(-)%	(+)%
3.B.1.a.	Vacas lecheras	CH ₄	67%	67%	20%	20%	69%	69%
3.B.1. b.i.	Vacas carne	CH ₄	44%	44%	20%	20%	48%	48%
3.B.1.b.ii.	Vaquillas	CH ₄	44%	44%	20%	20%	48%	48%
3.B.1.b.iii.	Adultos carne	CH ₄	67%	67%	20%	20%	69%	69%
3.B.1.b.iv.	Jóvenes carne	CH ₄	44%	44%	20%	20%	48%	48%
3.B.1. b.v.	Terneros	CH ₄	44%	44%	20%	20%	48%	48%
3.B.1.a.	Vacas lecheras	N ₂ O	67%	67%	20%	20%	69%	69%

Código IPCC	Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero	Gas	Incertidumbre en los datos de actividad		Incertidumbre en el factor de emisión		Incertidumbre combinada	
			(-)%	(+)%	(-)%	(+)%	(-)%	(+)%
3.B.1.b.iii.	Adultos carne	N ₂ O	67%	67%	20%	20%	69%	69%

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

5.3.5.5 Consistencia de la serie temporal

Para mantener la consistencia de la serie temporal 1990-2020 se usaron los mismos SGE y la misma fuente de datos de actividad, tanto estadísticos como paramétricos. Y para los años en que no se contó con datos estadísticos, se realizaron extrapolaciones e interpolaciones, para completar los datos faltantes. Cuando se realizaron cambios de actividad paramétrica o de factor de emisión, los nuevos cálculos realizados cubrieron la serie temporal completa.

5.3.5.6 Procedimiento de garantía y control de la calidad y verificación

5.3.5.6.1 Control de la calidad

Durante la actualización del ISGEI de Agricultura se han aplicado las recomendaciones de control de calidad de las *Directrices del IPCC de 2006* para la subcategoría y las actividades propias del Equipo Técnico de Agricultura. Todas estas actividades están listadas y documentadas dentro del SRT del SNICHILE, correspondiente al libro de cálculo *2022_SGCC_3AGRI*. Algunas de estas actividades rutinarias para el control de la calidad son las siguientes:

Gestión de los datos de actividad estadísticos:

- Los datos de actividad estadísticos fueron ingresados a las planillas de forma semiautomática, directamente desde su fuente de origen, evitando errores asociados a la transcripción manual.
- Los totales nacionales de los datos de actividad fueron confeccionados por la suma de los totales regionales, realizando un chequeo cruzado para comprobar que no exista diferencia entre ellos.

Gestión de factores de emisión, factores de conversión y constantes:

- Todos los principales datos paramétricos se encuentran compilados en una sola planilla denominada "FE_DA_Ganado_v15102021", que está vinculada a las hojas de trabajo. Esto permite que esté centralizada la información para una rápida revisión y actualización cuando corresponda.

Gestión de las hojas de trabajo:

- Todas las hojas de trabajo están vinculadas automáticamente a las hojas de datos de actividad y factores de emisión.
- En las hojas de trabajo los valores de nivel país fueron generados tanto por la suma de los valores regionales, como por el ingreso directo a las planillas de los valores nacionales, no debiendo existir diferencia alguna entre ambas derivaciones. De esta forma, en cada planilla de trabajo se cuenta con tres cuadros de datos país: país por suma de regiones, país por datos nacionales directamente ingresados y país por la diferencia entre los dos cuadros anteriores, que debe dar cero (sin diferencia alguna entre los primeros dos cuadros).

Revisión interna:

- Para asegurar que los datos fueran reales, completos y consistentes, se efectuó una verificación cruzada de la información con otras fuentes y con datos utilizados en actualizaciones de años anteriores.
- Se realizó una revisión de las planillas de cálculo y hojas de trabajo por parte de revisores internos del proceso de actualización en cada institución que forma parte del Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

5.3.5.6.2 Garantía de la calidad

Previo a la actualización del sector Agricultura, el Equipo Técnico ha desarrollado un análisis de la inclusión de las recomendaciones levantadas durante la revisión externa, tanto del ISGEI de Agricultura como del INGEI de Chile, para evaluar la factibilidad de su aplicación. Las recomendaciones realizadas por los revisores expertos han sido listadas y documentadas dentro del SRT del SNICHILE, correspondiente al libro de cálculo 2022_SGCC_3AGRI.

5.3.5.6.3 Verificación

Se empleó el mismo proceso de verificación explicado para la sección 5.2.5.6.3. *Verificación de Ganado bovino.*

5.3.5.7 Nuevos cálculos**5.3.5.7.1 Justificaciones de los nuevos cálculos y mejoras**

Para esta subcategoría se realizaron mejoras metodológicas a los cálculos para determinar los factores de emisión para la gestión de estiércol en bovinos, al igual como ocurrió para la categoría fermentación entérica, que se pueden observar en el punto 5.2.5.7.1 *Justificaciones de los nuevos cálculos y mejoras.* Además, se actualizó el factor de conversión del CH₄, diferenciándose según la temperatura para la zona norte (Maule al norte) y sur del país (Ñuble al sur) (*Directrices del IPCC, de 2006, Cuadro 10.17, Volumen 4, Capítulo 10*), lo cual también influye en el factor de emisión de bovinos para esta categoría.

5.3.5.7.2 Implicaciones para los niveles de emisión

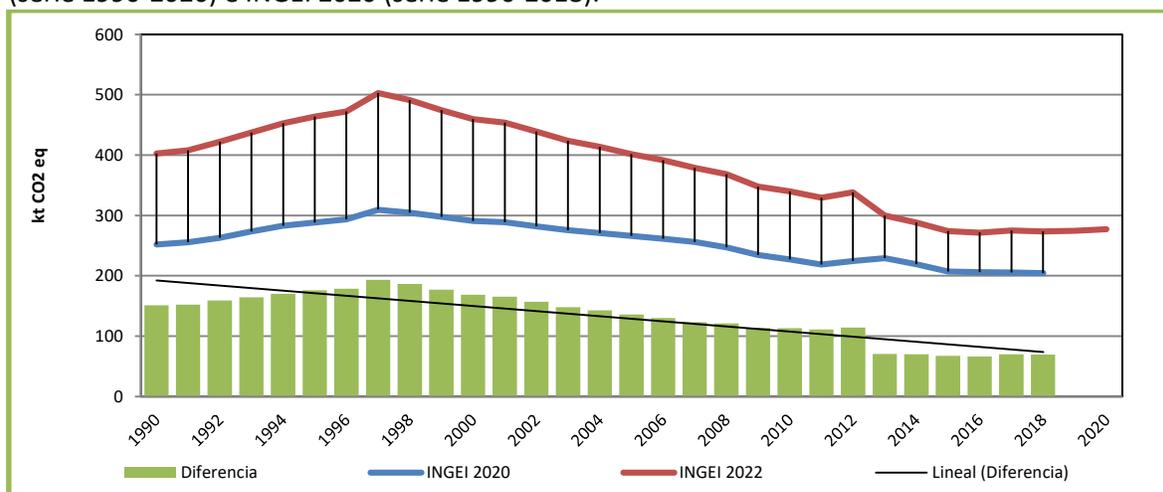
En la Tabla 5-48 y Figura 5-17 se observa cómo variaron las emisiones de GEI de esta subcategoría respecto del inventario anterior (INGEI 2020). La diferencia se debe principalmente a correcciones en la estimación de los factores de emisión, generando un aumento de las emisiones de GEI de la subcategoría durante la serie 1990-2020.

Tabla 5-48. 3.B.1 Ganado bovino: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI 2022 (serie 1990-2020) e INGEI 2020 (serie 1990-2018).

INGEI	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2019	2020
INGEI 2020	251,7	291,1	227,1	229,3	205,9	204,5		
INGEI 2022	402,9	459,6	340,2	299,7	271,8	273,7	274,4	277,4
Diferencia	151,2	168,5	113,0	70,4	65,9	69,2		
Diferencia %	37,5%	36,7%	33,2%	23,5%	24,3%	25,3%		

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI con base en INGEI 2020 e INGEI 2022.

Figura 5-17. 3.B.1 Ganado bovino: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI 2022 (serie 1990-2020) e INGEI 2020 (serie 1990-2018).



Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI con base en INGEI 2020 e INGEI 2022.

5.3.5.8 Plan de mejoramiento

En respuesta al análisis propio del Equipo Técnico de Agricultura y a las recomendaciones de la revisión experta del INGEI de Chile, las mejoras planificadas del sector son las siguientes:

- Un avance significativo se alcanzará en esta categoría por la incorporación de preguntas claves sobre esta temática en el nuevo Censo Agropecuario a ejecutar el segundo semestre de 2020, que permitirá validar la información de distribución por categoría animal y región para diferentes SGE;
- INIA se encuentra ejecutando dos proyectos de investigación con financiamiento internacional (Ministry of Primary Industries, Nueva Zelanda) que puede aportar factores de emisión mejorados para emisiones de CH₄ y N₂O para la categoría manejo del estiércol bajo diferentes SGE y ambientes. Los resultados de estos trabajos fueron recientemente publicados (artículos científicos) por lo que se evaluará su aplicabilidad para las condiciones chilenas en el próximo reporte de INGEI.

5.3.6 Ovinos (3.B.2.)

5.3.6.1 Descripción de la subcategoría

Esta subcategoría incluye emisiones de CH₄ generadas por la descomposición del estiércol bajo condiciones aeróbicas y anaeróbicas de ovinos. Los ovinos son manejados fundamentalmente bajo condiciones de pastoreo a campo abierto; esto significa que las emisiones de N₂O desde las excretas depositadas por los animales en el campo directamente sobre el suelo, son contabilizadas en la categoría *Suelos agrícolas*.

5.3.6.2 Tendencia de las emisiones de GEI

En 2020, las emisiones de GEI de esta subcategoría contabilizaron 8,8 kt CO₂ eq (representando el 0,5% de las emisiones de GEI de la categoría), disminuyendo en un 50,8 % desde 1990, y en un 9,5 %

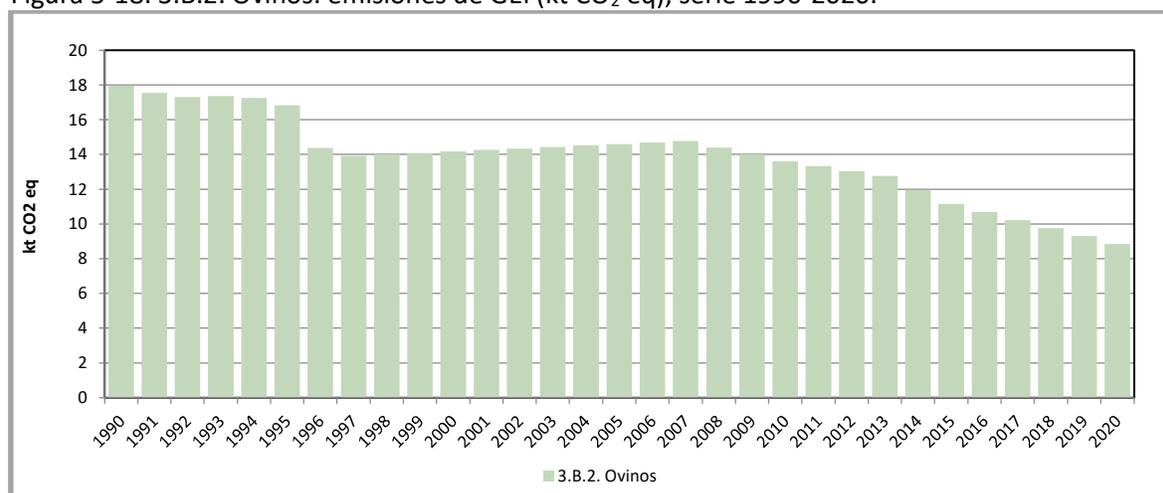
desde 2018 (Tabla 5-49 y Figura 5-18). El principal causante de la tendencia y las variaciones interanuales es la disminución en la población de ganado ovino.

Tabla 5-49. 3.B.2. Ovinos: emisiones de GEI (kt CO₂ eq), serie 1990-2020.

Subcategoría	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020
3.B.2. Ovinos	18,0	14,2	13,6	12,8	10,7	9,8	8,8

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

Figura 5-18. 3.B.2. Ovinos: emisiones de GEI (kt CO₂ eq), serie 1990-2020.



Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

5.3.6.3 Aspectos metodológicos de la subcategoría

Las emisiones de CH₄ fueron estimadas aplicando el método Nivel 1. Para su aplicación se necesita conocer las poblaciones por especie, las que se multiplican por los factores de emisión por defecto correspondientes. En la Tabla 5-50 se observa un resumen de los métodos aplicados por componente animal y por tipo de GEI.

Tabla 5-50. 3.B.2. Ovinos: métodos aplicados por componente animal.

Código IPCC	Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero	CO ₂		CH ₄		N ₂ O	
		Método aplicado	Factor de emisión	Método aplicado	Factor de emisión	Método aplicado	Factor de emisión
3.B.2.	Ovinos			T1	D	NO	NO

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

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

5.3.6.3.1 Datos de actividad estadísticos y paramétricos

En general la población animal (cabezas año⁻¹) fue obtenida al igual que en la sección 1.2.6.3.1. *Datos de actividad estadísticos y paramétricos.*

5.3.6.3.2 Factores de emisión

Para las emisiones de CH₄ de otras especies y para las emisiones de N₂O de todas las especies y sus respectivos SGE se aplicaron factores de emisión por defecto de las *Directrices del IPCC de 2006.*

Tabla 5-51. 3.B.2. Ovinos: factor de emisión por defecto por especie animal (kg CH₄ animal⁻¹ año⁻¹)

Ganado	Factores de Emisión (kg CH ₄ (animal-año) ⁻¹)
Ovinos	0,150

Fuente: Cuadro 10.15; Capítulo 10; Volumen 4; *Directrices del IPCC de 2006*.

5.3.6.4 Incertidumbre

La incertidumbre combinada de esta subcategoría, para el 2020, ha sido estimada para cada GEI de cada componente animal. Un resumen de los resultados de la incertidumbre combinada se presenta en la Tabla 5-52.

Tabla 5-52. 3.B.2. Ovinos: resumen de la incertidumbre combinada 2020.

Código IPCC	Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero	Gas	Incertidumbre en los datos de actividad		Incertidumbre en el factor de emisión		Incertidumbre combinada	
			(-)%	(+)%	(-)%	(+)%	(-)%	(+)%
3.B.2.	Ovinos	CH ₄	44%	44%	30%	30%	53%	53%

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

En conclusión, la mayor fuente de incertidumbre en las estimaciones de GEI corresponde a los datos de actividad.

5.3.6.5 Consistencia de la serie temporal

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

5.3.6.6 Procedimiento de garantía y control de la calidad y verificación

5.3.6.6.1 Control de la calidad

Durante la actualización del ISGEI de Agricultura se han aplicado las recomendaciones de control de calidad de las *Directrices del IPCC de 2006* para la subcategoría y las actividades propias del Equipo Técnico de Agricultura. Todas estas actividades están listadas y documentadas dentro del SRT del SNICHILE, correspondiente al libro de cálculo *2022_SGCC_3AGRI*. Algunas de estas actividades rutinarias para el control de la calidad son las siguientes:

Gestión de los datos de actividad estadísticos:

- Los datos de actividad estadísticos fueron ingresados a las planillas de forma semiautomática, directamente desde su fuente de origen, evitando errores asociados a la transcripción manual.
- Los totales nacionales de los datos de actividad fueron confeccionados por la suma de los totales regionales, realizando un chequeo cruzado para comprobar que no exista diferencia entre ellos.

Gestión de factores de emisión, factores de conversión y constantes:

- Todos los principales datos paramétricos se encuentran compilados en una sola planilla denominada "FE_DA_Ganado_v15102021", que está vinculada a las hojas de trabajo. Esto

permite que esté centralizada la información para una rápida revisión y actualización cuando corresponda.

Gestión de las hojas de trabajo:

- Todas las hojas de trabajo están vinculadas automáticamente a las hojas de datos de actividad y factores de emisión.
- En las hojas de trabajo los valores de nivel país fueron generados tanto por la suma de los valores regionales, como por el ingreso directo a las planillas de los valores nacionales, no debiendo existir diferencia alguna entre ambas derivaciones. De esta forma, en cada planilla de trabajo se cuenta con tres cuadros de datos país: país por suma de regiones, país por datos nacionales directamente ingresados y país por la diferencia entre los dos cuadros anteriores, que debe dar cero (sin diferencia alguna entre los primeros dos cuadros).

Revisión interna:

- Para asegurar que los datos fueran reales, completos y consistentes, se efectuó una verificación cruzada de la información con otras fuentes y con datos utilizados en actualizaciones de años anteriores.
- Se realizó una revisión de las planillas de cálculo y hojas de trabajo por parte de revisores internos del proceso de actualización en cada institución que forma parte del Equipo Técnico de Agricultura.

5.3.6.6.2 Garantía de la calidad

Previo a la actualización del sector *Agricultura*, el Equipo Técnico ha desarrollado un análisis de la inclusión de las recomendaciones levantadas durante la revisión externa, tanto del ISGEI de Agricultura como del INGEI de Chile, para evaluar la factibilidad de su aplicación. Las recomendaciones realizadas por los revisores expertos han sido listadas y documentadas dentro del SRT del SNICHILE, correspondiente al libro de cálculo *2022_SGCC_3AGRI*.

5.3.6.6.3 Verificación

Se empleó el mismo proceso de verificación explicado para la sección 1.2.5.6.1. *Verificación de Fermentación entérica*.

5.3.6.7 Nuevos cálculos

5.3.6.7.1 Justificaciones de los nuevos cálculos y mejoras

Ver sección 5.2.6.7.1 *Justificaciones de los nuevos cálculos y mejoras*.

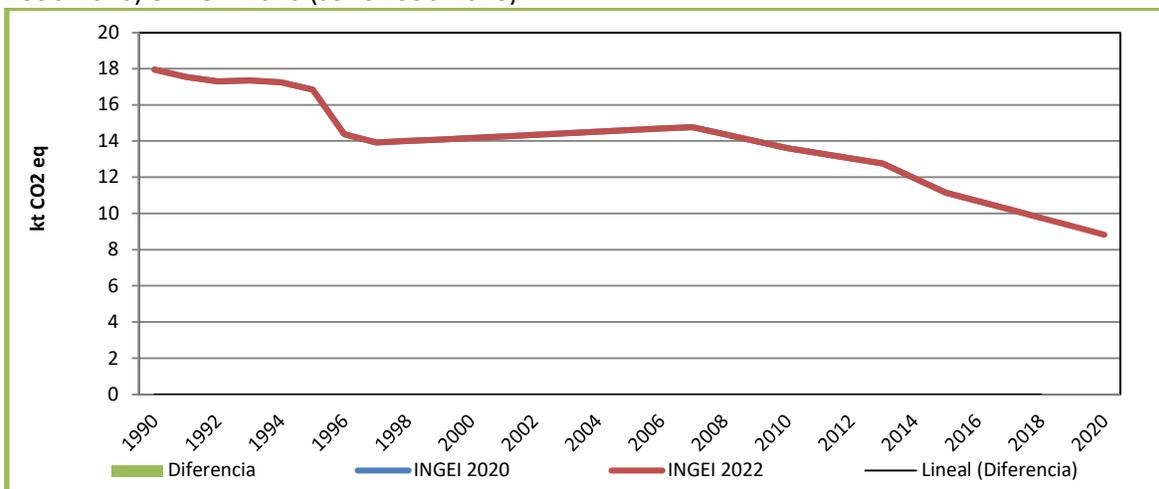
5.3.6.7.2 Implicaciones para los niveles de emisión

En la Tabla 5-53 y Figura 5-19 se observa que no hubo variación en las emisiones de GEI de esta subcategoría respecto al inventario anterior (INGEI 2020).

Tabla 5-53. 3.B.2. Ovinos: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI 2022 (serie 1990-2020) e INGEI 2020 (serie 1990-2018).

INGEI	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2019	2020
INGEI 2020	18,0	14,2	13,6	12,8	10,7	9,8		
INGEI 2022	18,0	14,2	13,6	12,8	10,7	9,8	9,3	8,8
Diferencia	-	-	-	-	-	-		
Diferencia %	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%		

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI con base en INGEI 2020 e INGEI 2022.

Figura 5-19. 3.B.2. Ovinos: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI 2022 (serie 1990-2020) e INGEI 2020 (serie 1990-2018).

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI con base en INGEI 2020 e INGEI 2022.

5.3.6.8 Plan de mejoramiento

- Un avance significativo se alcanzará en esta categoría por la incorporación de preguntas claves sobre esta temática en el nuevo Censo Agropecuario a ejecutar el segundo semestre de 2021, que permitirá validar la información de distribución por categoría animal y región para diferentes SGEs;
- No se contemplan otras mejoras en la generación de FE país específicos, dado que no se trata de una categoría clave.

5.3.7 Porcinos (3.B.3.)

5.3.7.1 Descripción de la subcategoría

Esta subcategoría incluye emisiones de CH₄ y N₂O generadas por la descomposición del estiércol bajo condiciones aeróbicas y anaeróbicas de porcinos. Estas condiciones ocurren a menudo cuando se maneja grandes cantidades de animales en una zona confinada, en las que habitualmente el estiércol es almacenado en grandes pilas o eliminado en lagunas o en otros tipos de SGE. En el contexto nacional, las emisiones de CH₄ provienen mayoritariamente de los cerdos (sistemas de manejo variado).

5.3.7.2 Tendencia de las emisiones de GEI

En 2020 las emisiones de GEI de esta subcategoría contabilizaron 1.085,9 kt CO₂ eq representando el 66,7 % de las emisiones de GEI de la categoría, e incrementándose en un 133,1 % desde 1990, y en un 3,6 % desde 2018 (Tabla 5-54 y Figura 5-20). La principal causante de la tendencia y las variaciones interanuales son las variaciones que ha experimentado la población de ganado porcino durante toda la serie temporal, que ha ido en incremento.

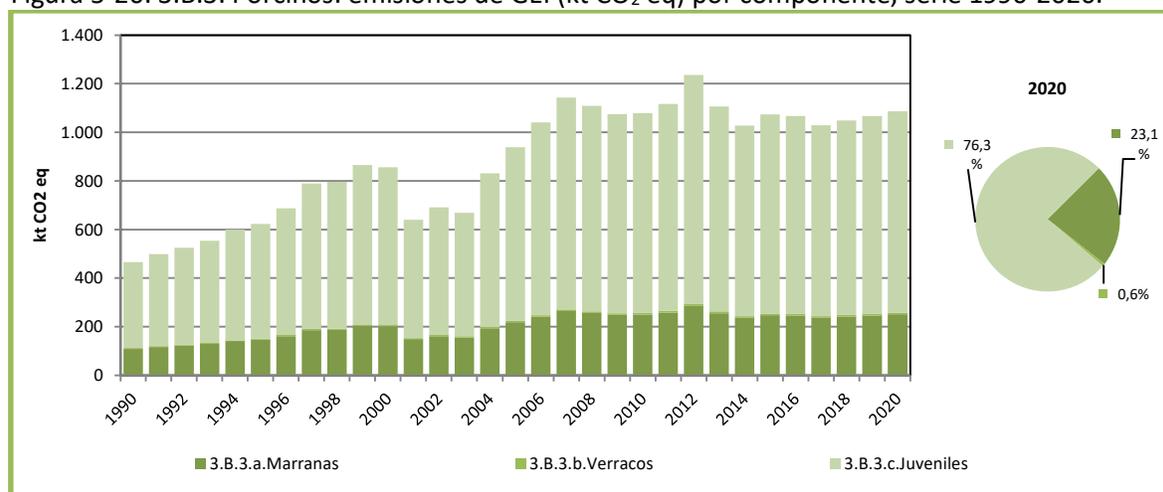
Respecto a los componentes, *Juveniles* contabiliza la mayoría de las emisiones, representando un 76,3 % de la subcategoría. Le siguen *Marranas* representando un 23,1 % y *Verracos* con un 0,6 %.

Tabla 5-54. 3.B.3. Porcinos: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por componente, serie 1990-2020.

Componente	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020
3.B.3.a.Marranas	109,1	201,2	249,4	255,7	246,2	242,0	250,7
3.B.3.b.Verracos	2,9	5,4	6,7	6,8	6,6	6,5	6,7
3.B.3.c.Juveniles	353,8	649,0	822,9	843,6	813,5	799,6	828,5
Total	465,8	855,7	1.079,0	1.106,2	1.066,2	1.048,1	1.085,9

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

Figura 5-20. 3.B.3. Porcinos: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por componente, serie 1990-2020.



Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

5.3.7.3 Aspectos metodológicos de la subcategoría

Para la estimación de las emisiones de CH₄ de esta subcategoría se aplicó el método Nivel 2. Para su aplicación se requiere conocer las poblaciones por especie, las que se multiplican por los factores de emisión país específico obtenidos para este INGEI. Para la estimación de las emisiones de N₂O se aplicó el método de Nivel 1, para la asignación de los Porcinos a los SGE, se utilizó la información aportada por ASPROCER hasta el año 2018 y extrapolación para los años 2019 y 2020, para elaborar la serie temporal 1990-2020. En la Tabla 5-55 se observa un resumen de los métodos aplicados por componente animal y por tipo de GEI.

Tabla 5-55. 3.B.3. Porcinos: métodos aplicados por componente animal.

Código IPCC	Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero	CO ₂		CH ₄		N ₂ O	
		Método aplicado	Factor de emisión	Método aplicado	Factor de emisión	Método aplicado	Factor de emisión
3.B.3.a.	Marranas			T2	CS	T1	D
3.B.3.b.	Verracos			T2	CS	T1	D
3.B.3.c.	Juveniles			T2	CS	T1	D

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

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

5.3.7.3.1 Datos de actividad estadísticos y paramétricos

En general la población animal (cabezas año⁻¹) fue obtenida al igual en la sección 5.2.7.3.1. *Datos de actividad estadísticos y paramétricos.*

5.3.7.3.2 Factores de emisión

Los factores de emisión país específicos empleados para la estimación de la emisión de CH₄ por manejo del estiércol para porcinos fueron calculados con datos paramétricos aportados por investigadores del Centro Regional de Investigación Remehue (INIA Remehue) del Instituto de Investigaciones Agropecuarias y de ASPROCER. El cálculo de estos factores está basado en la Ecuación 10.24 del capítulo 10, Volumen 4 de las *Directrices del IPCC 2006*. Los datos paramétricos utilizados para su estimación se presentan en la Tabla 5-56.

Tabla 5-56. 3.B.3. Porcinos: Datos paramétricos para el cálculo de los factores de emisión de CH₄ país específico.

Grupo animal – Porcinos	Verraco	Marrana	Juveniles	Fuente
Peso en pie kg cabeza ⁻¹	120	100	49,6	ASPROCER
Energía bruta (EB) MJ día ⁻¹	38,00	31,67	15,71	GL2006
Ingesta de alimentos kg ms día ⁻¹	2,10	1,75	0,87	GL2006
Digestibilidad de alimentos (DE) %	75	75	75	ASPROCER - GL2006
Cenizas del estiércol (ASH) % ms	8	8	8	GL2006
Excreción de sólidos volátiles (VS) kg ms día ⁻¹	0,47	0,39	0,20	GL2006
Capacidad máxima del estiércol para producir CH ₄ (Bo) m ³ CH ₄ kg ⁻¹ SV)	0,45	0,45	0,45	GL2006
Factor de Conversión de Metano (FCM)	74	74	74	INIA - GL2006

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI y ASPROCER.

Tabla 5-57. Factores de emisión de metano por gestión del estiércol por temperatura para porcinos (kg CH₄ cabeza⁻¹ año⁻¹).

Factores de Emisión (kg CH ₄ (animal-año) ⁻¹)	
Marranas	32,15
Verracos	38,58
Juveniles	15,95

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

Los factores de emisión país-específico obtenidos para esta serie temporal son más altos que los sugeridos por el IPCC, para sistemas de producción de cerdo en Latinoamérica⁶⁰, siendo más

⁶⁰Directrices del IPCC 2006, volumen 4 capítulo 10, página 10.38

semejantes a valores sugeridos para sistemas de producción de cerdo en Norteamérica bajo condiciones de clima templado. Esto es coherente con las características de los sistemas de manejo del estiércol de la industria porcina en Chile, que gestionan sus residuos en sistemas líquidos de almacenaje. El valor 1 ($\text{kg CH}_4 \text{ cabeza}^{-1} \text{ año}^{-1}$), sugerido por el IPCC para Latinoamérica⁶¹, se refiere a porcinos manejados extensivamente donde el estiércol es depositado en la pradera durante el pastoreo. Esta situación es minoritaria en el país y no refleja la realidad de los sistemas de producción mayoritarios para esta industria.

Tabla 5-58. Factores de emisión de metano por gestión del estiércol por temperatura para porcinos ($\text{kg CH}_4 \text{ cabeza}^{-1} \text{ año}^{-1}$).

Características regionales		América del Norte: Regularmente se utilizan sistemas de base líquida para estiércol de porcinos.	América Latina: Casi todo el estiércol del ganado se gestiona como sólidos en pasturas y prados		
Especie de ganado		Porcinos en carne	Porcinos de cría		
Factores de emisión de CH_4 según la temperatura promedio anual	Frío	≤ 10	10	19	1
		11	11	20	1
		12	11	21	1
		13	12	22	1
		14	12	23	1
	Templado	15	13	24	1
		16	13	26	1
		17	14	27	1
		18	15	28	1
		19	15	29	1
		20	16	31	1
		21	17	32	1
		22	18	34	1
		23	18	35	1
		24	19	37	1
	25	20	39	1	
	Cálido	26	22	41	2
		27	23	44	2
		≥ 28	23	45	2

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI con datos obtenidos en *Directrices del IPCC de 2006*, volumen 4, capítulo 10, Cuadro 10.14.

Para la estimación de los factores de emisión de N_2O , se utilizan valores por defecto del cuadro 10.21 y las ecuaciones 10.30 y 10.25 del capítulo 10, volumen 4 de las *Directrices del IPCC 2006*.

5.3.7.4 Incertidumbre

La incertidumbre combinada de esta subcategoría, para el 2020, ha sido estimada para cada GEI de cada componente animal utilizando una metodología nivel 1. Un resumen de los resultados de la incertidumbre combinada se presenta en la Tabla 5-59. La mayor fuente de incertidumbre en las estimaciones de GEI proviene de los datos de actividad.

⁶¹*Directrices del IPCC 2006, volumen 4 capítulo 10, página 10.41.*

Tabla 5-59. 3.B.3. Porcinos: resumen de la incertidumbre combinada 2020.

Código IPCC	Categoría del IPCC	Gas	Incertidumbre en los datos de actividad		Incertidumbre en el factor de emisión		Incertidumbre combinada	
			(-)%	(+)%	(-)%	(+)%	(-)%	(+)%
3.B.3.	Porcinos	CH ₄	55%	55%	20%	20%	59%	59%
3.B.3.	Porcinos	N ₂ O	55%	55%	20%	20%	59%	59%

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

5.3.7.5 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. Cuando se realizaron cambios de actividad paramétrica o de factor de emisión, los nuevos cálculos realizados cubrieron la serie temporal completa.

5.3.7.6 Procedimiento de garantía y control de la calidad y verificación

5.3.7.6.1 Control de la calidad

Durante la actualización del ISGEI de Agricultura se han aplicado las recomendaciones de control de calidad de las *Directrices del IPCC de 2006* para la subcategoría y las actividades propias del Equipo Técnico de Agricultura. Todas estas actividades están listadas y documentadas dentro del SRT del SNICHILE, correspondiente al libro de cálculo *2022_SGCC_3AGRI*. Algunas de estas actividades rutinarias para el control de la calidad son las siguientes:

Gestión de los datos de actividad estadísticos:

- Los datos de actividad estadísticos fueron ingresados a las planillas de forma automática, directamente desde su fuente de origen, evitando errores asociados a la transcripción manual.
- Los totales nacionales de los datos de actividad fueron confeccionados por la suma de los totales regionales, realizando un chequeo cruzado para comprobar que no exista diferencia entre ellos.

Gestión de factores de emisión, factores de conversión y constantes:

- Todos los principales datos paramétricos se encuentran compilados en una sola planilla denominada "FE_DA_Ganado_v15102021", que está vinculada a las hojas de trabajo. Esto permite que esté centralizada la información para una rápida revisión y actualización cuando corresponda.

Gestión de las hojas de trabajo:

- Todas las hojas de trabajo están vinculadas automáticamente a las hojas de datos de actividad y factores de emisión.
- En las hojas de trabajo los valores de nivel país fueron generados tanto por la suma de los valores regionales, como por el ingreso directo a las planillas de los valores nacionales, no debiendo existir diferencia alguna entre ambas derivaciones. De esta forma, en cada planilla de trabajo se cuenta con tres cuadros de datos país: país por suma de regiones, país por datos nacionales directamente ingresados y país por la diferencia entre los dos cuadros anteriores, que debe dar cero (sin diferencia alguna entre los primeros dos cuadros).

Revisión interna:

- Para asegurar que los datos fueran reales, completos y consistentes, se efectuó una verificación cruzada de la información con otras fuentes y con datos utilizados en actualizaciones de años anteriores.
- Se realizó una revisión de las planillas de cálculo y hojas de trabajo por parte de revisores internos del proceso de actualización en cada institución que forma parte del Equipo Técnico de Agricultura.

5.3.7.6.2 Garantía de la calidad

Previo a la actualización del sector *Agricultura*, el Equipo Técnico ha desarrollado un análisis de la inclusión de las recomendaciones levantadas durante la revisión externa, tanto del ISGEI de Agricultura como del INGEI de Chile, para evaluar la factibilidad de su aplicación. Las recomendaciones realizadas por los revisores expertos han sido listadas y documentadas dentro del SRT del SNICHILE, correspondiente al libro de cálculo *2022_SGCC_3AGRI*.

5.3.7.6.3 Verificación

Se empleó el mismo proceso de verificación explicado para la sección *1.2.7.6.3. Verificación de Fermentación entérica*.

5.3.7.7 Nuevos cálculos

5.3.7.7.1 Justificaciones de los nuevos cálculos y mejora

Se empleó el mismo proceso explicado para la sección *5.2.7.7.1. Justificaciones de los nuevos cálculos y mejoras*.

5.3.7.7.2 Implicaciones para los niveles de emisión

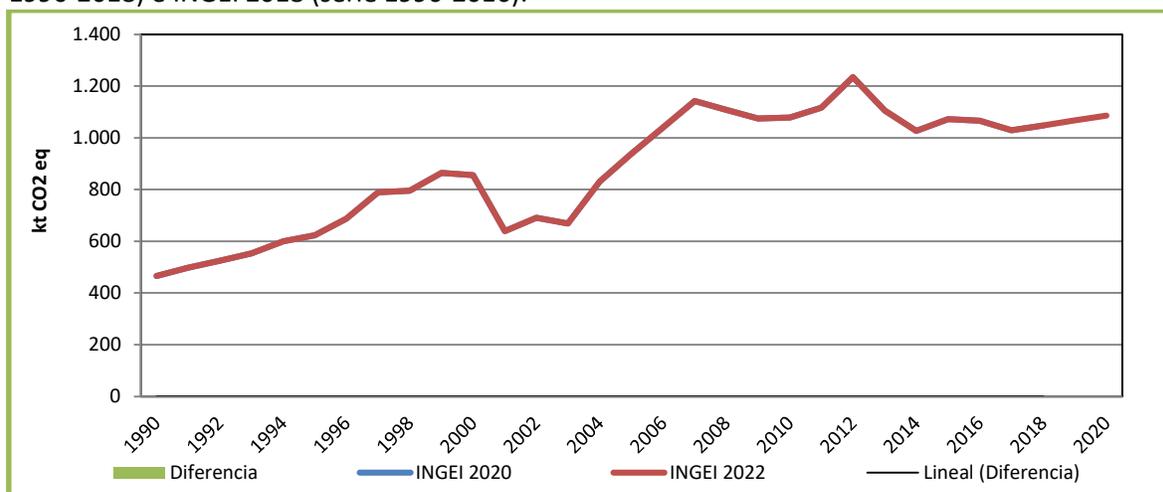
En la Tabla 5-60 y Figura 5-21 se observa que no variaron las emisiones de GEI de esta subcategoría respecto del inventario anterior (INGEI 2020).

Tabla 5-60. 3.B.3. Porcinos: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI 2020 (serie 1990-2020) e INGEI 2020 (serie 1990-2018).

INGEI	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2019	2020
INGEI 2020	465,8	855,7	1.079,0	1.106,2	1.066,2	1.048,1		
INGEI 2022	465,8	855,7	1.079,0	1.106,2	1.066,2	1.048,1	1.067,0	1.085,9
Diferencia	-	-	-	-	-	-		
Diferencia %	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%		

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI con base en INGEI 2018 e INGEI 2020.

Figura 5-21. 3.B.3. Porcinos: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI 2020 (serie 1990-2018) e INGEI 2018 (serie 1990-2016).



Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI con base en INGEI 2018 e INGEI 2020.

5.3.7.8 Plan de mejoramiento

En respuesta al análisis propio del Equipo Técnico de Agricultura y a las recomendaciones de la revisión experta del INGEI de Chile, las mejoras planificadas del sector son las siguientes:

- Un avance significativo se alcanzará en esta categoría por la incorporación de preguntas claves sobre esta temática en el nuevo Censo Agropecuario a ejecutar el segundo semestre de 2020, que permitirá validar la información de distribución por categoría animal y región para diferentes SGEs;
- INIA se encuentra ejecutando dos proyectos de investigación con financiamiento internacional (Ministry of Primary Industries, Nueva Zelandia) que aportarán FE mejorados para emisiones de CH₄ y N₂O para la categoría manejo del estiércol bajo diferentes SGE y ambientes. Los resultados de estos trabajos fueron recientemente publicados (publicación científica) por lo que, en caso de ser atingentes, se espera se puedan considerar para la siguiente ronda de INGEI.

5.3.8 Otras especies (3.B.4.)

5.3.8.1 Descripción de la subcategoría

Esta subcategoría incluye emisiones de CH₄ generadas por la descomposición del estiércol bajo condiciones aeróbicas y anaeróbicas de otras especies.

Esta subcategoría incluye emisiones de CH₄, el cual se produce como subproducto de los procesos digestivos de otras especies de menor participación en la población animal nacional. Las especies consideradas son las siguientes:

- Caprinos;
- Equinos;
- Mulas y asnos;

- Aves de corral;
- Camélidos (llamas y alpacas);
- Ciervos, y;
- Jabalíes.

A su vez el estiércol de Aves de corral genera emisiones directas de N₂O, durante su tratamiento y almacenamiento previo a otro uso.

Las otras especies animales son manejadas fundamentalmente bajo condiciones de pastoreo a campo abierto; esto significa que las emisiones de N₂O desde las excretas depositadas por los animales en el campo directamente sobre el suelo, son contabilizadas en la categoría *Suelos agrícolas*.

5.3.8.2 Tendencia de las emisiones de GEI

En 2020, las emisiones de GEI de esta subcategoría contabilizaron 76,2 kt CO₂ eq representando el 4,7 % de las emisiones de GEI de la categoría y aumentando en un 49,0 % desde 1990, y en un 7,7 % desde 2018 (Tabla 5-61 y Figura 5-22). 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, ciervos y jabalíes, las cuales aumentaron.

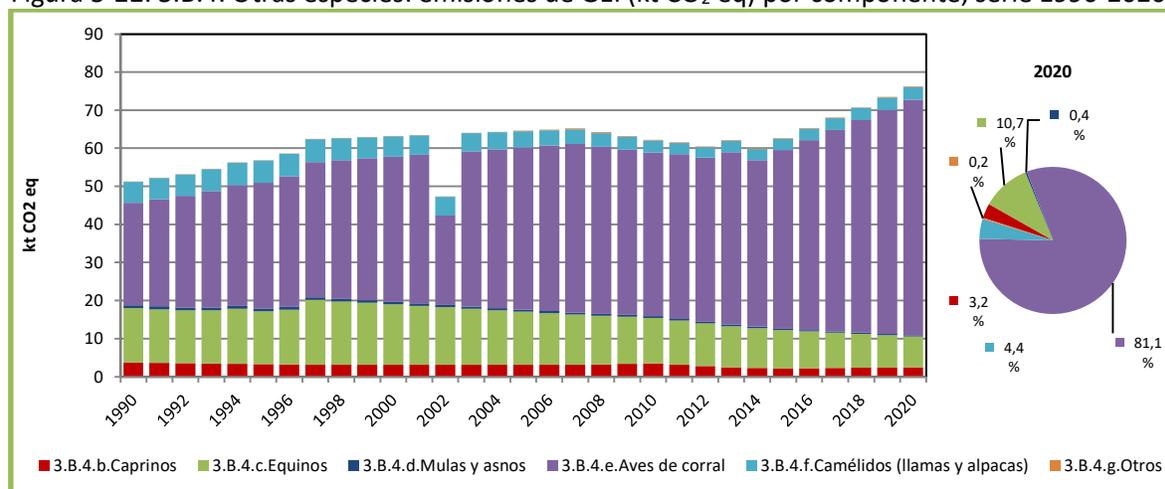
Respecto a los componentes, *Aves de corral* contabiliza la mayoría de las emisiones, representando un 81,1 % de la subcategoría. Le siguen *Equinos* representando un 10,7 %, *Camélidos (llamas y alpacas)* representando un 4,4 %, *Caprinos* representando un 3,2 %, *Mulas y asnos* representando un 0,4 % y finalmente *Ciervos y Jabalíes (otros)* representan un 0,2 %.

Tabla 5-61. 3.B.4. Otras especies: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por componente, serie 1990-2020.

Subcategoría	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020
3.B.4.b.Caprinos	3,7	3,1	3,4	2,4	2,2	2,3	2,4
3.B.4.c.Equinos	14,2	15,9	12,0	10,8	9,7	8,9	8,1
3.B.4.d.Mulas y asnos	0,8	0,6	0,5	0,4	0,4	0,3	0,3
3.B.4.e.Aves de corral	26,8	38,2	43,0	45,3	49,9	55,9	61,8
3.B.4.f.Camélidos (llamas y alpacas)	5,5	5,3	3,2	3,0	3,0	3,2	3,3
3.B.4.g.Otros	0,0	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Total	51,2	63,2	62,2	62,1	65,3	70,8	76,2

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

Figura 5-22. 3.B.4. Otras especies: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por componente, serie 1990-2020.



Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

5.3.8.3 Aspectos metodológicos de la subcategoría

Las emisiones de CH₄ fueron estimadas aplicando el método Nivel 1. Para su aplicación se debe conocer las poblaciones por especie, las que se multiplican por los factores de emisión por defecto correspondientes. Para las emisiones de N₂O de aves de corral fueron estimadas aplicando el método Nivel 1.

Tabla 5-62. 3.B.4. Otras especies: métodos aplicados por componente animal.

Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero		CO ₂		CH ₄		N ₂ O	
		Método aplicado	Factor de emisión	Método aplicado	Factor de emisión	Método aplicado	Factor de emisión
3.B.4. b.	Caprinos			T1	D	NO	NO
3.B.4. c.	Equinos			T1	D	NO	NO
3.B.4. d.	Mulas y asnos			T1	D	NO	NO
3.B.4. e.	Aves de corral			T1	D	T1	D
3.B.4. f.	Camélidos (llamas y alpacas)			T1	D	NO	NO
3.B.4. g.i.	Ciervos			T1	D	NO	NO
3.B.4.g.ii.	Jabalíes			T1	D	NO	NO

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

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

5.3.8.3.1 Datos de actividad estadísticos y paramétricos

En general la población animal (cabezas año⁻¹) fue obtenida al igual en la sección 5.2.8.3.1. *Datos de actividad estadísticos y paramétricos.*

5.3.8.3.2 Factores de emisión

Para las emisiones de CH₄ de otras especies y para las emisiones de N₂O de todas las especies y sus respectivos SGE se aplicaron factores de emisión por defecto de las *Directrices del IPCC de 2006.*

Tabla 5-63. 3.B.4. Otras especies: factores de emisión por defecto por especie animal (kg CH₄ animal⁻¹ año⁻¹).

Ganado	Factores de Emisión (kg CH ₄ (animal-año) ⁻¹)
Caprinos	0,17
Equinos	1,64
Mulas y asnos	0,90
Camélidos (Llamas y Alpacas)	1,92
Aves de Corral	0,02
Jabalíes	1,00
Ciervos	0,22
Ganado	Factores de Emisión (kg N ₂ O-N)
Aves de Corral	0,001

Fuente: Cuadros 10.15, 10.16 y 10.21; Capítulo 10; Volumen 4; Directrices del IPCC de 2006.

5.3.8.4 Incertidumbre

La incertidumbre combinada de esta subcategoría para el 2020, ha sido estimada para cada GEI de cada componente animal empleando una metodología nivel 1. Un resumen de los resultados de la incertidumbre combinada se presenta en la Tabla 5-64.

Tabla 5-64. 3.B.4. Otras especies: resumen de la incertidumbre combinada 2020.

Código IPCC	Categoría del IPCC	Gas	Incertidumbre en los datos de actividad		Incertidumbre en el factor de emisión		Incertidumbre combinada	
			(-)%	(+)%	(-)%	(+)%	(-)%	(+)%
3.B.4. b.	Caprinos	CH ₄	44%	44%	30%	30%	53%	53%
3.B.4. c.	Equinos	CH ₄	44%	44%	30%	30%	53%	53%
3.B.4. d.	Mulas y asnos	CH ₄	44%	44%	30%	30%	53%	53%
3.B.4. e.	Aves de corral	CH ₄	67%	67%	30%	30%	73%	73%
3.B.4. f.	Camélidos (llamas y alpacas)	CH ₄	44%	44%	30%	30%	53%	53%
3.B.4. g.i.	Ciervos	CH ₄	44%	44%	30%	30%	53%	53%
3.B.4.g.ii.	Jabalíes	CH ₄	44%	44%	30%	30%	53%	53%
3.B.4. e.	Aves de corral	N ₂ O	67%	67%	30%	30%	73%	73%

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

5.3.8.5 Consistencia de la serie temporal

Para mantener la consistencia de la serie temporal 1990-2020 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 nuevos cálculos realizados cubrieron la serie temporal completa.

5.3.8.6 Procedimiento de garantía y control de la calidad y verificación

5.3.8.6.1 Control de la calidad

Durante la actualización del ISGEI de Agricultura se han aplicado las recomendaciones de control de calidad de las *Directrices del IPCC de 2006* para la subcategoría y las actividades propias del Equipo Técnico de Agricultura. Todas estas actividades están listadas y documentadas dentro del SRT del SNICHILE, correspondiente al libro de cálculo *2022_SGCC_3AGRI*. Algunas de estas actividades rutinarias para el control de la calidad son las siguientes:

Gestión de los datos de actividad estadísticos:

- Los datos de actividad estadísticos fueron ingresados a las planillas de forma semiautomática, directamente desde su fuente de origen, evitando errores asociados a la transcripción manual.
- Los totales nacionales de los datos de actividad fueron confeccionados por la suma de los totales regionales, realizando un chequeo cruzado para comprobar que no exista diferencia entre ellos.

Gestión de factores de emisión, factores de conversión y constantes:

- Todos los principales datos paramétricos se encuentran compilados en una sola planilla denominada "FE_DA_Ganado_v15102021", que está vinculada a las hojas de trabajo. Esto permite que esté centralizada la información para una rápida revisión y actualización cuando corresponda.

Gestión de las hojas de trabajo:

- Todas las hojas de trabajo están vinculadas automáticamente a las hojas de datos de actividad y factores de emisión.
- En las hojas de trabajo los valores de nivel país fueron generados tanto por la suma de los valores regionales, como por el ingreso directo a las planillas de los valores nacionales, no debiendo existir diferencia alguna entre ambas derivaciones. De esta forma, en cada planilla de trabajo se cuenta con tres cuadros de datos país: país por suma de regiones, país por datos nacionales directamente ingresados y país por la diferencia entre los dos cuadros anteriores, que debe dar cero (sin diferencia alguna entre los primeros dos cuadros).

Revisión interna:

- Para asegurar que los datos fueran reales, completos y consistentes, se efectuó una verificación cruzada de la información con otras fuentes y con datos utilizados en actualizaciones de años anteriores.
- Se realizó una revisión de las planillas de cálculo y hojas de trabajo por parte de revisores internos del proceso de actualización en cada institución que forma parte del Equipo Técnico de Agricultura.
-

5.3.8.6.2 Garantía de la calidad

Previo a la actualización del sector *Agricultura*, el Equipo Técnico ha desarrollado un análisis de la inclusión de las recomendaciones levantadas durante la revisión externa, tanto del ISGEI de Agricultura como del INGEI de Chile, para evaluar la factibilidad de su aplicación. Las recomendaciones realizadas por los revisores expertos han sido listadas y documentadas dentro del SRT del SNICHILE, correspondiente al libro de cálculo *2022_SGCC_3AGRI*.

5.3.8.6.3 Verificación

Se empleó el mismo proceso de verificación explicado para la sección 5.2.5.6.1. *Verificación de Fermentación entérica.*

5.3.8.7 Nuevos cálculos

5.3.8.7.1 Justificaciones de los nuevos cálculos y mejoras

Se empleó el mismo proceso explicado para la sección 5.2.5.7.1. *Justificaciones de los nuevos cálculos y mejoras de Fermentación entérica.*

5.3.8.7.2 Implicaciones para los niveles de emisión

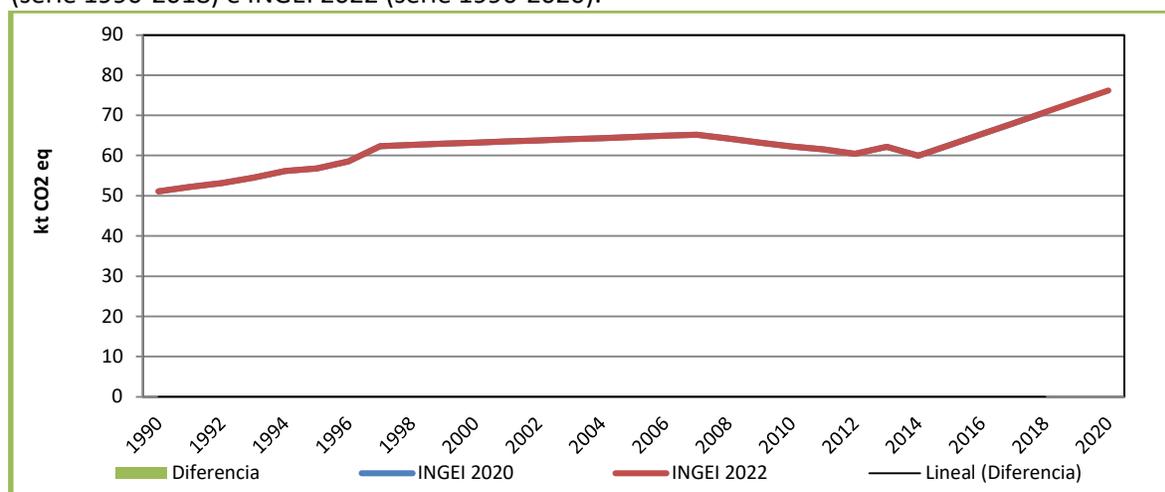
En la Tabla 5-65 y Figura 5-23 se observa que no variaron las emisiones de GEI de esta subcategoría respecto del inventario anterior (INGEI 2020).

Tabla 5-65. 3.B.4. Otras especies: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI 2020 (serie 1990-2018) e INGEI 2022 (serie 1990-2020).

INGEI	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2019	2020
INGEI 2020	51,2	63,2	62,2	62,1	65,3	70,8		
INGEI 2022	51,2	63,2	62,2	62,1	65,3	70,8	73,5	76,2
Diferencia	-	-	-	-	-	-		
Diferencia %	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%		

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI con base en INGEI 2020 e INGEI 2022.

Figura 5-23. 3.B.4. Otras especies: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI 2020 (serie 1990-2018) e INGEI 2022 (serie 1990-2020).



Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI con base en INGEI 2020 e INGEI2022.

5.3.8.8 Plan de mejoramiento

En respuesta al análisis propio del Equipo Técnico de Agricultura y a las recomendaciones de la revisión experta del INGEI de Chile, las mejoras planificadas del sector son las siguientes:

- Un avance significativo se alcanzará en esta categoría por la incorporación de preguntas claves sobre esta temática en el nuevo Censo Agropecuario a ejecutar el segundo semestre de 2020, que permitirá validar la información de distribución por categoría animal y región para diferentes SGE para la subcategoría de aves de corral.

5.3.9 Emisiones indirectas de N₂O resultantes de la gestión del estiércol (3.B.5.)

5.3.9.1 Descripción de la subcategoría

Esta subcategoría incluye emisiones indirectas de N₂O generadas por la descomposición del estiércol bajo condiciones aeróbicas y anaeróbicas en los distintos tipos de sistemas de gestión del estiércol (SGE).

En el contexto nacional, las emisiones de N₂O se consideran principalmente en los siguientes SGE:

- Lagunas anaeróbicas para el componente de *Vacas lecheras*,
- Corral de engorda para el componente de *Otros bovinos*,
- Varios sistemas de manejo para el componente de *Porcinos*, y
- Sistemas sólidos para el componente de *Aves de corral*.

Las otras especies animales son manejadas fundamentalmente bajo condiciones de pastoreo a campo abierto.

5.3.9.2 Tendencia de las emisiones de GEI

En 2020, las emisiones de GEI de esta subcategoría contabilizaron 179,2 kt CO₂ eq representando el 11,0 % de las emisiones de GEI de la categoría e incrementándose en un 172,6 % desde 1990 y en un 8,4 % desde 2018 (Tabla 5-66 y Figura 5-24). El principal causante de la tendencia y las variaciones interanuales es la variación en la población animal.

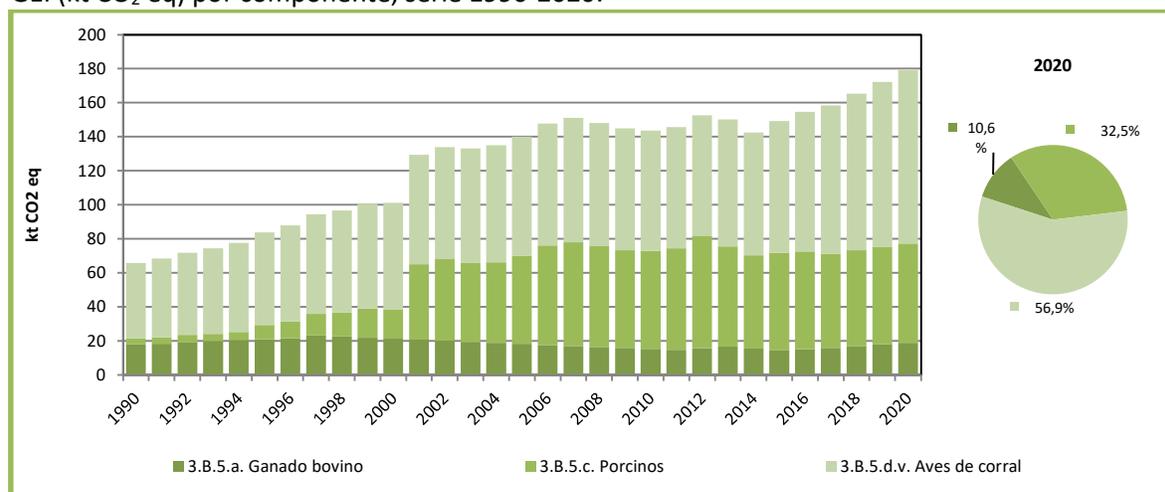
Respecto a los componentes, *Aves de corral* acumula la mayoría de las emisiones, representando un 56,9 % de la subcategoría. Le siguen *Porcinos* representando un 32,5 % y *Ganado bovino* representando un 10,6 %.

Tabla 5-66. 3.B.5. Emisiones indirectas de N₂O resultantes de la gestión del estiércol: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por componente, serie 1990-2020.

Componente	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020
3.B.5.a. Ganado bovino	18,1	21,3	15,3	16,6	15,2	16,9	18,9
3.B.5.c. Porcinos	3,4	17,0	57,5	58,9	57,2	56,3	58,3
3.B.5.d.v. Aves de corral	44,2	62,9	70,8	74,7	82,2	92,1	101,9
Total	65,7	101,2	143,7	150,2	154,7	165,3	179,2

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

Figura 5-24. 3.B.5. Emisiones indirectas de N₂O resultantes de la gestión del estiércol: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por componente, serie 1990-2020.



Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

5.3.9.3 Aspectos metodológicos de la subcategoría

Para la estimación de las emisiones de N₂O de esta subcategoría se aplicó un método Nivel 1 para todas sus componentes, mediante datos de actividad desagregados por regiones administrativas y factores de emisión por defecto. En la Tabla 5-67 se observa un resumen de los métodos aplicados por categoría y por tipo de GEI.

Tabla 5-67. 3.B.5. Emisiones indirectas de N₂O resultantes de la gestión del estiércol: métodos aplicados por componente.

Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero	CO ₂		CH ₄		N ₂ O	
	Método aplicado	Factor de emisión	Método aplicado	Factor de emisión	Método aplicado	Factor de emisión
3.B.5.a. Ganado bovino					T1	D
3.B.5.b. Ovinos					T1	D
3.B.5.c. Porcinos					T1	D
3.B.5.d. ii. Caprinos					T1	D
3.B.5.d.iii. Equinos					T1	D
3.B.5.d. iv. Mulas y asnos					T1	D
3.B.5.d.v. Aves de corral					T1	D
3.B.5.d.vi. Camélidos (llamas y alpacas)					T1	D
3.B.5.d.vii. Otros					T1	D

T1 = Nivel 1; D = Por defecto; NO = No ocurre.

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

5.3.9.3.1 Datos de actividad estadísticos y paramétricos

Los datos se calcularon aplicando tasas de excreción de nitrógeno por defecto desde las *Directrices del IPCC de 2006*, presentadas previamente en la sección de metodología de la categoría *Gestión del estiércol*, las que se multiplicaron por la población animal bajo cada tipo de SGE.

5.3.9.3.2 Factores de emisión

Los factores de emisión para la subcategoría corresponden a valores por defecto de acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006*.

Tabla 5-68. 3.B.5. Emisiones indirectas de N₂O resultantes de la gestión del estiércol: factores de emisión por defecto por especie animal.

Especie animal	Factores de Emisión kg N ₂ O-N / (kg NH ₃ -N + NO _x -N volatilised) ⁻¹
Bovino	0,01
Porcinos	0,01
Aves de corral	0,01

Fuente: Cuadro 11.3; Capítulo 11; Volumen 4; *Directrices del IPCC de 2006*.

5.3.9.4 Incertidumbre

La incertidumbre combinada de esta subcategoría para el 2020, ha sido estimada para el N₂O empleando una metodología nivel 1. Un resumen de los resultados de la incertidumbre combinada se presenta en la Tabla 5-69.

Tabla 5-69. 3.B.5. Emisiones indirectas de N₂O resultantes de la gestión del estiércol: resumen de la incertidumbre combinada 2020.

Código IPCC	Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero	Incertidumbre en los datos de actividad		Incertidumbre en el factor de emisión		Incertidumbre combinada	
		(-)%	(+)%	(-)%	(+)%	(-)%	(+)%
3.B.5.a.	Ganado bovino	67%	67%	50%	50%	83%	83%
3.B.5. c.	Porcinos	67%	67%	50%	50%	83%	83%
3.B.5.d.v.	Aves de corral	67%	67%	50%	50%	83%	83%

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

5.3.9.5 Consistencia de la serie temporal

Para mantener la consistencia de la serie temporal 1990-2020 se usaron los mismos factores de emisión y la misma fuente de datos de actividad, tanto estadísticos como paramétricos, durante toda la serie. Para completar los datos estadísticos en los cuales no se contaba con información, se procedió a realizar interpolaciones y extrapolaciones. Cuando se realizaron cambios de actividad paramétrica o de factor de emisión, los nuevos cálculos realizados cubrieron la serie temporal completa.

5.3.9.6 Procedimiento de garantía y control de la calidad y verificación

5.3.9.6.1 Control de la calidad

Durante la actualización del ISGEI de Agricultura se han aplicado las recomendaciones de control de calidad de las *Directrices del IPCC de 2006* para la subcategoría y las actividades propias del Equipo Técnico de Agricultura. Todas estas actividades están listadas y documentadas dentro del SRT del SNICHILE, correspondiente al libro de cálculo *2022_SGCC_3AGRI*. Algunas de estas actividades rutinarias para el control de la calidad son las siguientes:

Gestión de los datos de actividad estadísticos:

- Los datos de actividad estadísticos fueron ingresados a las planillas de forma semiautomática, directamente desde su fuente de origen, evitando errores asociados a la transcripción manual.
- Los totales nacionales de los datos de actividad fueron confeccionados por la suma de los totales regionales, realizando un chequeo cruzado para comprobar que no exista diferencia entre ellos.

Gestión de factores de emisión, factores de conversión y constantes:

- Todos los principales datos paramétricos se encuentran compilados en una sola planilla denominada "FE_DA_Ganado_v15102021", que está vinculada a las hojas de trabajo. Esto permite que esté centralizada la información para una rápida revisión y actualización cuando corresponda.

Gestión de las hojas de trabajo:

- Todas las hojas de trabajo están vinculadas automáticamente a las hojas de datos de actividad y factores de emisión.
- En las hojas de trabajo los valores de nivel país fueron generados tanto por la suma de los valores regionales, como por el ingreso directo a las planillas de los valores nacionales, no debiendo existir diferencia alguna entre ambas derivaciones. De esta forma, en cada planilla de trabajo se cuenta con tres cuadros de datos país: país por suma de regiones, país por datos nacionales directamente ingresados y país por la diferencia entre los dos cuadros anteriores, que debe dar cero (sin diferencia alguna entre los primeros dos cuadros).

Revisión interna:

- Para asegurar que los datos fueran reales, completos y consistentes, se efectuó una verificación cruzada de la información con otras fuentes y con datos utilizados en actualizaciones de años anteriores.
- Se realizó una revisión de las planillas de cálculo y hojas de trabajo por parte de revisores internos del proceso de actualización en cada institución que forma parte del Equipo Técnico de Agricultura.

5.3.9.6.2 Garantía de la calidad

Previo a la actualización del sector *Agricultura*, el Equipo Técnico ha desarrollado un análisis de la inclusión de las recomendaciones levantadas durante la revisión externa, tanto del ISGEI de Agricultura como del INGEI de Chile, para evaluar la factibilidad de su aplicación. Las recomendaciones realizadas por los revisores expertos han sido listadas y documentadas dentro del SRT del SNICHILE, correspondiente al libro de cálculo *2022_SGCC_3AGRI*.

5.3.9.6.3 Verificación

Se empleó el mismo proceso de verificación explicado para la sección *5.2.5.6.3 de Verificación de Fermentación entérica*.

5.3.9.7 Nuevos cálculos

5.3.9.7.1 Justificaciones de los nuevos cálculos y mejoras

Son las mismas que se pueden observar en el punto *5.2.5.7.1 Justificación de los nuevos cálculos y mejoras*.

5.3.9.7.2 Implicaciones para los niveles de emisión

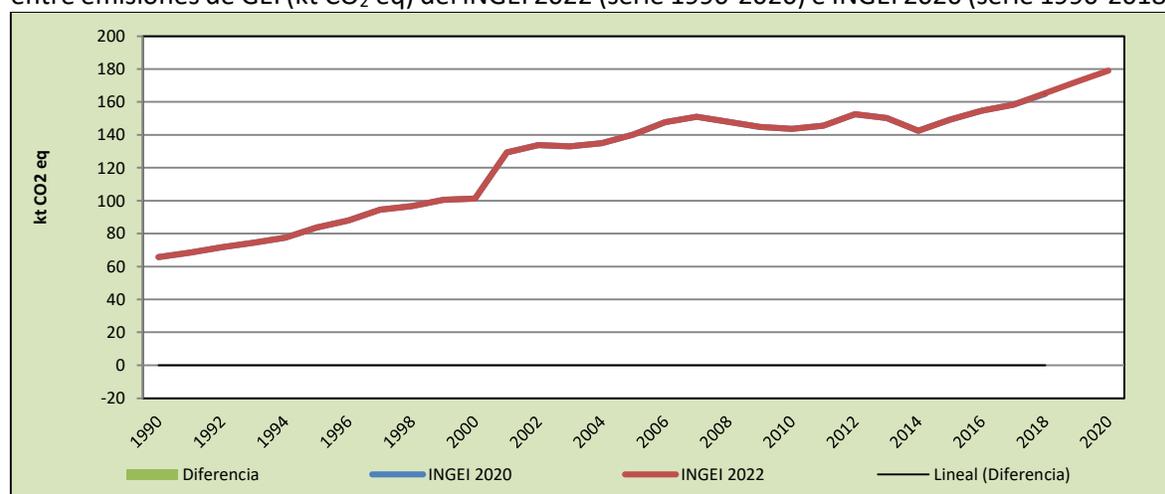
En la Tabla 5-70 y Figura 5-25 se observa cómo variaron las emisiones de GEI de esta subcategoría respecto del inventario anterior (INGEI 2020).

Tabla 5-70. 3.B.5. Emisiones indirectas de N₂O resultantes de la gestión del estiércol: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI 2022 (serie 1990-2020) e INGEI 2020 (serie 1990-2018)

INGEI	1990	2000	2010	2013	2016	2017	2018	2019	2020
INGEI 2020	65,7	101,2	143,7	150,2	154,7	158,4	165,1		
INGEI 2022	65,7	101,2	143,7	150,2	154,7	158,4	165,3	172,2	179,2
Diferencia	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2		
Diferencia %	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%		

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI con base en INGEI 2020 e INGEI 2022.

Figura 5-25. 3.B.5. Emisiones indirectas de N₂O resultantes de la gestión del estiércol: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI 2022 (serie 1990-2020) e INGEI 2020 (serie 1990-2018).



Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI con base en INGEI 2020 e INGEI 2022.

5.3.9.8 Plan de mejoramiento

En respuesta al análisis propio del Equipo Técnico de Agricultura y a las recomendaciones de la revisión experta del INGEI de Chile, las mejoras planificadas del sector son las siguientes:

- Un avance significativo se alcanzará en esta categoría por la incorporación de preguntas claves sobre esta temática en el nuevo Censo Agropecuario a ejecutar el segundo semestre de 2020, que permitirá validar la información de distribución por categoría animal y región para diferentes SGE;
- INIA se encuentra ejecutando dos proyectos de investigación con financiamiento internacional (Ministry of Primary Industries, Nueva Zelandia) que aportarán FE mejorados para emisiones de N₂O por manejo del estiércol bajo diferentes SGE y ambientes. Los resultados de este trabajo fueron recientemente publicados (publicación científica). Si atingentes, se espera que los resultados de estos trabajos se encuentren disponible para la siguiente ronda de INGEI.

5.4 Cultivo del arroz (3.C.)

5.4.1 Descripción de la categoría

Esta categoría incluye emisiones de CH₄ generadas por la descomposición anaeróbica de material orgánico en arrozales inundados, que se libera a la atmósfera fundamentalmente a través de burbujas de agua y mediante el transporte a través de las plantas del arroz. La cantidad emitida es función de las variedades de arroz, de la extensión del período de inundación, de la cantidad de ciclos de cultivo y de la duración de cada ciclo de cultivo, de la temperatura del suelo, del método de riego y de la incorporación de sustratos orgánicos. Toda emisión de N₂O por el uso de fertilizantes basados en nitrógeno en el cultivo de arroz se incluye como emisión en la categoría de emisiones de N₂O de los suelos gestionados.

En el contexto nacional, este cultivo se ubica en tres regiones administrativas de la zona central del país (regiones de O'Higgins, Maule y Ñuble), y realizándose sólo una cosecha por año. Desde el año 2013 sólo dos regiones realizan este cultivo (Maule y Ñuble), como consecuencia del déficit hídrico. Además, en el INGEI 2022, se incluye la incorporación de sustrato orgánico al suelo (rastros), el cual se corrigió para toda la serie de tiempo 1990-2020.

5.4.2 Tendencia de las emisiones de GEI

La categoría *Cultivo de arroz* es la quinta categoría emisora de GEI del sector *Agricultura*, representando el 1,6 % de las emisiones de GEI del sector. En 2020, sus emisiones de GEI contabilizaron 192,4 kt CO₂ eq, disminuyendo en un 19 % desde 1990, y un 10,6 % desde 2018. 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).

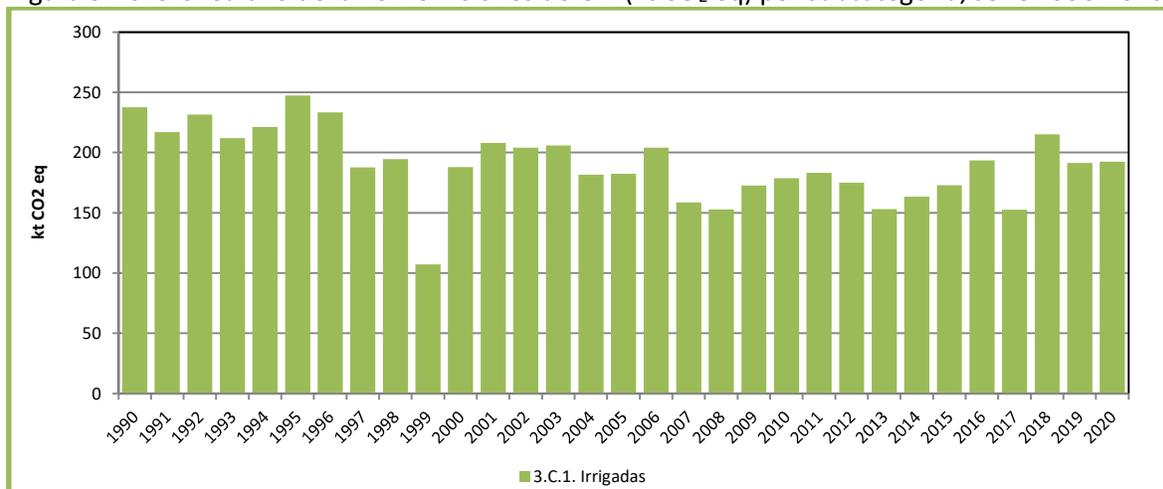
Respecto a las subcategorías, solo se registran emisiones para condiciones *Irrigadas*, único tipo de práctica efectuada en el país para el cultivo del arroz.

Tabla 5-71. 3.C. Cultivo del arroz: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por subcategoría, serie 1990-2020.

Subcategoría	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020
3.C.1. Irrigadas	237,5	187,8	178,7	153,0	193,4	215,2	192,4
Total	237,5	187,8	178,7	153,0	193,4	215,2	192,4

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

Figura 5-26. 3.C. Cultivo del arroz: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por subcategoría, serie 1990-2020.



Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

5.4.3 Aspectos metodológicos de la categoría

Para la estimación de las emisiones de CH₄ de esta categoría se aplicó un método Nivel 1 para toda la categoría, mediante datos de actividad desagregados por regiones administrativas y factores de emisión por defecto. En la Tabla 5-72 se observa un resumen de los métodos aplicados por subcategoría y por tipo de GEI.

Tabla 5-72. 3.C. Cultivo del arroz: métodos aplicados por subcategoría

Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero		CO ₂		CH ₄		N ₂ O	
		Método aplicado	Factor de emisión	Método aplicado	Factor de emisión	Método aplicado	Factor de emisión
3.C.1.	Irrigadas			T1	D		
3.C.2.	Alimentadas a lluvia			NE	NE		
3.C.3.	Aguas profundas			NE	NE		
3.C.4.	Otros			NO	NO		

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

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

Las emisiones de CH₄ se estiman multiplicando los factores de emisión diaria por período de cultivo⁶² de arroz y por superficies de cosecha anual⁶³ (Ecuación 5-4). En su forma más simple, esta ecuación se aplica utilizando datos de la actividad nacionales (es decir, período de cultivo de arroz promedio y superficie cosechada a nivel nacional) y un único factor de emisión. Sin embargo, las condiciones naturales y la gestión agrícola de la producción de arroz pueden ser muy variables dentro de un mismo país. Constituye una buena práctica tener en cuenta esta variabilidad desagregando la superficie total cosechada a nivel nacional en subunidades (p. ej. superficies cosechadas bajo diferentes regímenes hídricos). La superficie cosechada de cada subunidad se multiplica por el

⁶² En caso de cultivos bianuales, el «período de cultivo» deben ampliarse según la cantidad respectiva de días.

⁶³ En caso de múltiples cultivos durante el mismo año, la «superficie de cosecha» será igual a la suma de las superficies utilizadas para cada cultivo.

período de cultivo respectivo, y por el factor de emisión representativo de las condiciones que definen la subunidad. Con este método desagregado, las emisiones totales anuales equivalen a la suma de emisiones de cada subunidad de superficie cosechada.

Ecuación 5-4. 3.C. Cultivo del arroz: emisiones anuales de metano.

$$CH_4 \text{ Arroz} = \sum_{i,j,k} (EF_{i,j,k} \times t_{i,j,k} \times A_{i,j,k} \times 10^{-6})$$

Fuente: Ecuación 5.1; Capítulo 5; Volumen 4; *Directrices del IPCC de 2006*.

Donde:

- $CH_4 \text{ Arroz}$ = Emisiones anuales de metano producidas por el cultivo del arroz (kt CH₄ año⁻¹),
- $EF_{i,j,k}$ = Factor de emisión diario para las condiciones i, j, y k (kg CH₄ ha⁻¹ día⁻¹),
- $t_{i,j,k}$ = Período de cultivo del arroz para las condiciones i, j, y k (días),
- $A_{i,j,k}$ = Superficie de cosecha anual de arroz para las condiciones i, j, y k (ha año⁻¹),
- i,j,k = Representan los diferentes ecosistemas, regímenes hídricos, tipo y cantidad de abonos orgánicos y otras condiciones bajo las cuales pueden variar las emisiones de CH₄ producidas por el arroz.

Existen distintas condiciones que inciden sobre las emisiones de CH₄ producidas por el cultivo del arroz, como, 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 (p. ej., pautas de inundación), se debe realizar un conjunto de cálculos individual para cada región. Esto no ocurre en Chile dado que la producción se concentra entre las regiones del Maule y Ñuble.
- 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. Para este inventario (INGEI 2022) existe antecedente sobre la aplicación de abonos orgánicos en el cultivo de arroz⁶⁴, incorporando aproximadamente 3 t ha⁻¹ de rastrojos en el cultivo.
- Otras condiciones: el cultivar del arroz y el contenido de sulfatos de los abonos.

Dado que el país no cuenta con información suficiente como para desagregar la superficie total cosecha bajo ninguna de las condiciones nombradas en el párrafo anterior, es que el nivel metodológico utilizado para calcular las emisiones de esta categoría corresponde a emplear el factor de emisión por defecto de Nivel 1 y factores de ajuste, junto con datos de la actividad en cuanto a superficie de cosecha y período de cultivo. Cabe destacar que se asumió un valor único de 1, para todos los factores de ajuste señalados en la Ecuación 5-5.

⁶⁴Con base en el juicio experto de Álvaro Vega (zonal negocios tecnológicos de INIA, zona centro-sur, INIA Quilamapu, Chillán).

Ecuación 5-5. 3.C. Cultivo del arroz: factor de emisión diaria ajustado para una superficie de cosecha dada.

$$EF_i = EF_c \times SF_w \times SF_p \times SF_o \times SF_{s,r}$$

Fuente: Ecuación 5.2; Capítulo 5; Volumen 4; *Directrices del IPCC de 2006*.

Donde:

- EF_i = Factor de emisión diaria ajustado para una superficie de cosecha dada,
- EF_c = Factor de emisión básico para Tierras inundadas permanentemente sin abonos orgánicos,
- SF_w = Factor de ajuste para compensar las diferencias del régimen hídrico durante el período de cultivo,
- SF_p = Factor de ajuste para compensar las diferencias del régimen hídrico durante la temporada previa al cultivo,
- SF_o = El factor de ajuste deberá variar según el tipo y a cantidad de abono orgánico aplicado,
- $SF_{s,r}$ = Factor de ajuste para tipo de suelo, cultivar del arroz, etc., si está disponible.

Además, se incorporó factores de ajuste de emisión (Ecuación 5-6), debido a la incorporación de agregados orgánicos (rastros) en el cultivo de arroz.

Ecuación 5-6. 3.C. Cultivo del arroz: factor ajuste de emisión de CH₄ adaptado para agregados orgánicos.

$$SF_o = \left(1 + \sum_i ROA_i \times CFOA_i \right)^{0,59}$$

Fuente: Ecuación 5.3; Capítulo 5; Volumen 4; *Directrices del IPCC de 2006*.

Donde:

- SF_o = Factor de ajuste para tipo y cantidad de abono orgánico aplicado,
- ROA_i = Tasa de aplicación de abono orgánico i , en peso seco para paja y en peso fresco para los demás, en ton ha⁻¹,
- $CFOA_i$ = Factor de conversión para abono orgánico i (en términos de su efecto relativo con respecto a la paja aplicada poco antes del cultivo), en este caso corresponde al valor 0,29 que es paja incorporada mucho antes del cultivo (> 30 días), como se indica en el Cuadro 5.14, Capítulo 5, Volumen 4.

5.4.3.1 Datos de actividad de la categoría

La superficie de cosecha anual se obtuvo de los *Censos Agropecuarios y Forestales 1997 y 2007* y de las Estadística de Cultivos elaboradas por ODEPA. La información entregada permite desagregar los datos por región geográfica de interés (Tabla 5-73).

Tabla 5-73. 3.C. Cultivo del arroz: superficie de arroz cosechada anualmente (ha).

Año	Superficie (ha)
1990	32.590
1991	29.750
1992	31.760
1993	29.080

Año	Superficie (ha)
1994	30.360
1995	33.930
1996	32.030
1997	25.748
1998	26.702
1999	14.696
2000	25.768
2001	28.550
2002	27.980
2003	28.230
2004	24.900
2005	25.030
2006	27.980
2007	21.765
2008	20.960
2009	23.680
2010	24.527
2011	25.121
2012	23.991
2013	21.000
2014	22.398
2015	23.714
2016	26.540
2017	20.937
2018	29.522
2019	26.242
2020	26.394

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI con base en ODEPA e INE.

El dato paramétrico respecto al período de siembra a cosecha del cultivo, de acuerdo con información de ODEPA, la siembra es entre octubre y noviembre, para ser cosechado entre marzo y abril, pudiendo asumirse, para toda la superficie arroceras nacional, un período promedio de 155 días.

5.4.3.2 Factores de emisión

Para las emisiones de CH₄ se aplicó un factor de emisión por defecto de las *Directrices del IPCC de 2006* suponiendo (1) que no hay inundación durante menos de 180 días previos al cultivo del arroz, (2) permanentemente inundados durante el período de cultivo. También se incluye una corrección, a través de factores de ajuste de emisión (Ecuación 5-6), debido a la incorporación de agregados orgánicos (rastros) en el cultivo de arroz en este inventario, como es mencionado anteriormente.

Tabla 5-74. 3.C.1 Irrigadas: factor de emisión por defecto (kg CH₄ ha⁻¹ día⁻¹).

Cultivo de Arroz	Factores de Emisión (kg CH ₄ ha ⁻¹ día ⁻¹)
Irrigadas	1,3

Fuente: Cuadro 5.11. Volumen 4, Capítulo 5, *Directrices del IPCC de 2006*.

5.4.4 Incertidumbre

La incertidumbre combinada de esta subcategoría para el 2020, ha sido estimada para el CH₄. Un resumen de los resultados de la incertidumbre combinada se presenta en la Tabla 5-75.

Tabla 5-75. 3.C. Cultivo del arroz: resumen de la incertidumbre combinada 2020.

Código o IPCC	Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero	Incertidumbre en los datos de actividad		Incertidumbre en el factor de emisión		Incertidumbre combinada	
		(-)%	(+)%	(-)%	(+)%	(-)%	(+)%
3.C.1	Irrigadas	44%	44%	38%	69%	58%	82%

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

5.4.5 Consistencia de la serie temporal

Para mantener la consistencia de la serie temporal 1990-2020 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 para este inventario (INGEI 2022), realizando los nuevos cálculos para la serie de tiempo completa 1990-2020.

5.4.6 Procedimientos de garantía y control de la calidad y verificación

5.4.6.1 Control de la calidad

Durante la actualización del ISGEI de Agricultura se han aplicado las recomendaciones de control de calidad de las *Directrices del IPCC de 2006* para la subcategoría y las actividades propias del Equipo Técnico de Agricultura. Todas estas actividades están listadas y documentadas dentro del SRT del SNICHILE, correspondiente al libro de cálculo *2022_SGCC_3AGRI*.

Gestión de los datos de actividad estadísticos:

- Los datos de actividad estadísticos fueron ingresados a las planillas de forma semiautomática, directamente desde su fuente de origen, evitando errores asociados a la transcripción manual.
- Los totales nacionales de los datos de actividad fueron confeccionados por la suma de los totales regionales, realizando un chequeo cruzado para comprobar que no exista diferencia entre ellos.

Gestión de factores de emisión, factores de conversión y constantes:

- Todos los principales datos paramétricos se encuentran compilados en una sola planilla denominada "FE_DA_Agricola_2021", que está vinculada a las hojas de trabajo. Esto permite que esté centralizada la información para una rápida revisión y actualización cuando corresponda.

Gestión de las hojas de trabajo:

- Todas las hojas de trabajo están vinculadas automáticamente a las hojas de datos de actividad y factores de emisión.
- En las hojas de trabajo los valores de nivel país fueron generados tanto por la suma de los valores regionales, como por el ingreso directo a las planillas de los valores nacionales, no

debiendo existir diferencia alguna entre ambas derivaciones. De esta forma, en cada planilla de trabajo se cuenta con tres cuadros de datos país: país por suma de regiones, país por datos nacionales directamente ingresados y país por la diferencia entre los dos cuadros anteriores, que debe dar cero (sin diferencia alguna entre los primeros dos cuadros).

Revisión interna

- Para asegurar que los datos fueran reales, completos y consistentes, se efectuó una verificación cruzada de la información con otras fuentes y con datos utilizados en actualizaciones de años anteriores.
- Se realizó una revisión de las planillas de cálculo y hojas de trabajo por parte de revisores internos del proceso de actualización en cada institución que forma parte del Equipo Técnico de Agricultura.

5.4.6.2 Garantía de la calidad

Previo a la actualización del sector *Agricultura*, el Equipo Técnico de Agricultura ha desarrollado un análisis de la inclusión de las recomendaciones levantadas durante la revisión externa, tanto del ISGEI de Agricultura como del INGEI de Chile, para evaluar la factibilidad de su aplicación. Las recomendaciones realizadas por los revisores expertos han sido listadas y documentadas dentro del SRT del SNICHILE, correspondiente al libro de cálculo 2022_SGCC_3AGRI.

5.4.6.3 Verificación

No hubo verificación con fuentes externas para esta categoría.

5.4.7 Nuevos cálculos

5.4.7.1 Justificaciones de los nuevos cálculos y mejoras

Se realizó el nuevo cálculo de la serie completa 1990-2020 dado la incorporación de factores de ajuste de emisión de CH₄, debido a la incorporación de agregados orgánicos (rastros) en el cultivo de arroz, permitiendo una estimación más precisa de la emisión de metano en este cultivo.

5.4.7.2 Implicaciones para los niveles de emisión

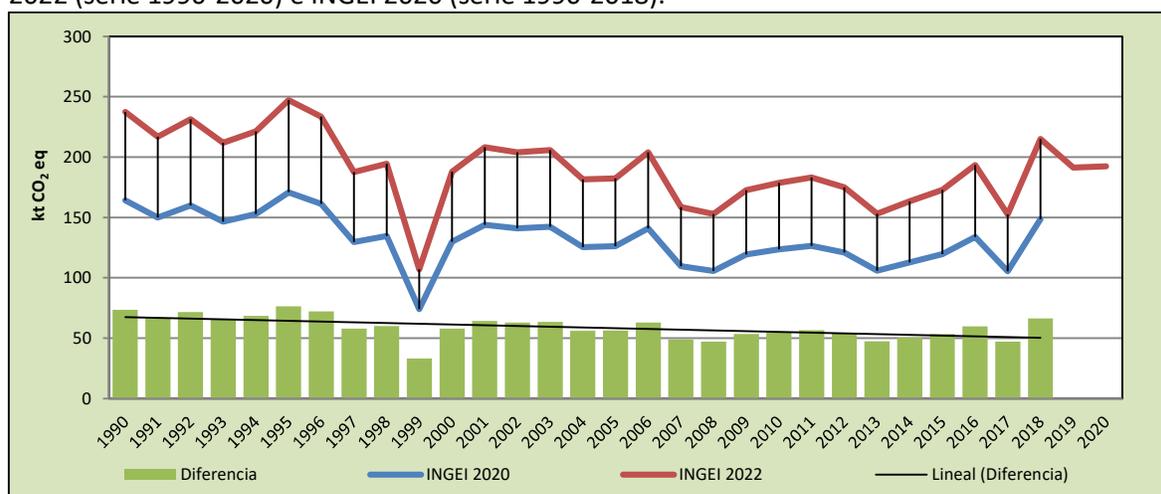
En la Tabla 5-76 y Figura 5-27 se observa cómo variaron las emisiones de GEI de esta categoría respecto del inventario anterior (INGEI 2020). Tal como se observa, existe variación en las emisiones debido a la incorporación de factores de ajuste de emisión de CH₄, producto de la incorporación de agregados orgánicos (rastros) en el cultivo, incrementando en promedio 67,5 kt CO₂ eq en el INGEI 2022 respecto el inventario anterior (INGEI 2020).

Tabla 5-76. 3.C. Cultivo del arroz: comparación entre las emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI 2022 (serie 1990-2020) e INGEI 2020 (serie 1990-2018).

INGEI	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2019	2020
INGEI 2020	164,2	129,8	123,6	105,8	133,7	148,7		
INGEI 2022	237,5	187,8	178,7	153,0	193,4	215,2	191,2	192,4
Diferencia	73,3	58,0	55,2	47,3	59,7	66,4		
Diferencia %	30,9%	30,9%	30,9%	30,9%	30,9%	30,9%		

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

Figura 5-27. 3.C. Cultivo del arroz: comparación entre las emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI 2022 (serie 1990-2020) e INGEI 2020 (serie 1990-2018).



Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

5.4.8 Plan de mejoramiento

En los últimos años ha existido un esfuerzo a nivel de investigación por favorecer la validación y adopción de sistemas de producción de arroz con menor impacto ambiental, al incorporar un Sistema Intensivo del Cultivo de Arroz (SRI, por sus siglas en inglés). En la actualidad, estas validaciones ofrecen resultados promisorios por lo que se espera en un futuro próximo sean adoptadas por los productores. Adicionalmente, INIA se encuentra desarrollando proyectos de investigación con financiamiento internacional del Fondo Tecnológico Agropecuario (FONTAGRO) para el desarrollo de factores de emisión país-específicos para emisiones de metano y óxido nítrico, reflejando las condiciones únicas del arroz producido en Chile, especialmente sus condiciones climáticas.

5.5 Suelos agrícolas (3.D.)

5.5.1 Descripción de la categoría

Esta categoría incluye emisiones directas e indirectas de N₂O generadas desde la superficie de los suelos producto de procesos microbianos asociados a la aplicación de nitrógeno en forma de fertilizantes sintético; nitrógeno orgánico aplicado como fertilizante (estiércol animal, abono orgánico, compost, lodos de aguas servidas, residuos); nitrógeno de orina y de estiércol depositado en pasturas, praderas, prados por animales en pastoreo; nitrógeno en residuos de cultivos (sobre la superficie y debajo de esta), mineralización/inmovilización de nitrógeno vinculada a la ganancia/pérdida de materia orgánica del suelo resultante del cambio del uso de la tierra o de la gestión de suelos minerales; y el drenaje/gestión de suelos orgánicos (histosoles).

En el contexto nacional, las emisiones directas e indirectas de N₂O desde suelos agrícolas provienen de las siguientes fuentes:

- Nitrógeno aplicado desde fertilizantes sintéticos (N-fertilizantes sintéticos),
- Nitrógeno orgánico proveniente de fertilizantes orgánicos (N-estiércol),

- Nitrógeno 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 y la información obtenida de los suelos Ñadi existentes (hectáreas de suelos) en el país de las regiones de Los Lagos y Los Ríos.

5.5.2 Tendencia de las emisiones de GEI

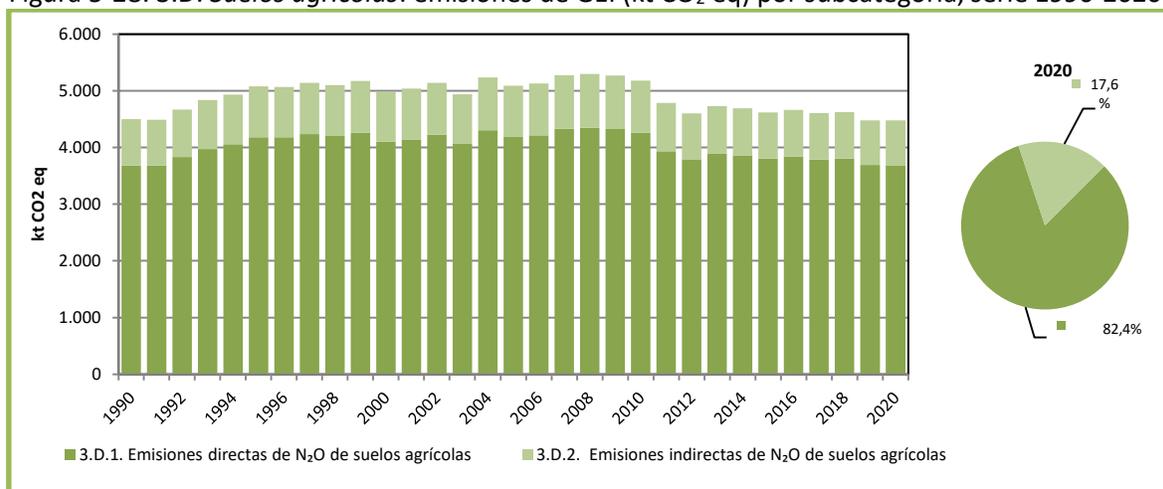
La categoría *Suelos agrícolas* es la segunda categoría emisora de GEI del sector *Agricultura*, representando el 39,8 % de las emisiones de GEI del sector. En 2020, sus emisiones de GEI contabilizaron 4.475,2 kt CO₂ eq, disminuyendo en un 0,5 % desde 1990 y en un 3,1 % desde 2018. El principal causante 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 82,4 %, y de un 17,6 % de *Emisiones indirectas de N₂O de suelos agrícolas*.

Tabla 5-77. 3.D. *Suelos agrícolas*: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por subcategoría, serie 1990-2020.

Subcategoría	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020
3.D.1. Emisiones directas de N ₂ O de suelos agrícolas	3.681,0	4.100,7	4.256,1	3.889,0	3.837,4	3.800,7	3.686,7
3.D.2. Emisiones indirectas de N ₂ O de suelos agrícolas	816,0	881,5	922,8	841,7	824,5	819,5	788,5
Total	4.497,0	4.982,2	5.179,0	4.730,7	4.661,9	4.620,2	4.475,2

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

Figura 5-28. 3.D. Suelos agrícolas: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por subcategoría, serie 1990-2020.

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

5.5.3 Aspectos metodológicos de la categoría

Para la estimación de las emisiones de N₂O de esta subcategoría se aplicó un método Nivel 1 para todas sus componentes a excepción de la componente *Fertilizantes Inorgánicos*, que contó con método Nivel 2 para ciertas regiones del sur del país (Región de Ñuble, Biobío, La Araucanía, Los Lagos y Los Ríos) mediante datos de actividad desagregados por regiones administrativas y factores de emisión por defecto. En la Tabla 5-78 se observa un resumen de los métodos aplicados por subcategoría y por tipo de GEI.

Tabla 5-78. 3.D. Suelos agrícolas: métodos aplicados por subcategoría.

Código IPCC	Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero	CO ₂		CH ₄		N ₂ O	
		Método aplicado	Factor de emisión	Método aplicado	Factor de emisión	Método aplicado	Factor de emisión
3.D.1.	Emisiones directas de N ₂ O de suelos agrícolas					T1, T2	D, CS
3.D.2.	Emisiones indirectas de N ₂ O de suelos agrícolas					T1	D

T1 = Nivel 1; T2 = Nivel 2; CS = País específico; D = Por defecto.

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

5.5.4 Emisiones directas de N₂O de suelos agrícolas (3.D.1.)

5.5.4.1 Descripción de la subcategoría

Esta subcategoría incluye emisiones directas de N₂O generadas desde la superficie de los suelos producto de procesos microbianos asociados a la aplicación de nitrógeno en forma de fertilizantes sintético; nitrógeno orgánico aplicado como fertilizante (estiércol animal, abono orgánico, compost, lodos de aguas servidas, residuos); nitrógeno de orina y de estiércol depositado en pasturas, praderas, prados por animales en pastoreo; nitrógeno en residuos de cultivos (sobre la superficie y debajo de esta); mineralización/inmovilización de nitrógeno vinculada a la ganancia/pérdida de materia orgánica del suelo resultante del cambio del uso de la tierra o de la gestión de suelos minerales; y el drenaje/gestión de suelos orgánicos (histosoles).

En el contexto nacional, las emisiones directas de N₂O desde suelos agrícolas provienen de las siguientes fuentes:

- Nitrógeno aplicado desde fertilizantes sintéticos (N-fertilizantes sintéticos),
- Nitrógeno orgánico proveniente de Fertilizantes orgánicos (N-estiércol),
- Nitrógeno 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.

5.5.4.2 Tendencia de las emisiones de GEI

En 2020, las emisiones de GEI de esta subcategoría contabilizaron 3.686,7 kt CO₂ eq (representando el 82,4 % de las emisiones de GEI de la categoría), aumentando en un 0,2 % desde 1990 y disminuyendo un 3,0 % desde 2018 (Tabla 5-79 y Figura 5-29). El principal causante de la tendencia y las variaciones interanuales es la disminución de la componente *Orina y estiércol depositado en pastizales, prados y praderas*, aunque la disminución ha sido compensada por el aumento en las emisiones provenientes de la componente *Fertilizantes inorgánicos* y la incorporación de lodos cloacales generadas en Plantas de Tratamientos de Aguas Servidas, desde 2010 en adelante.

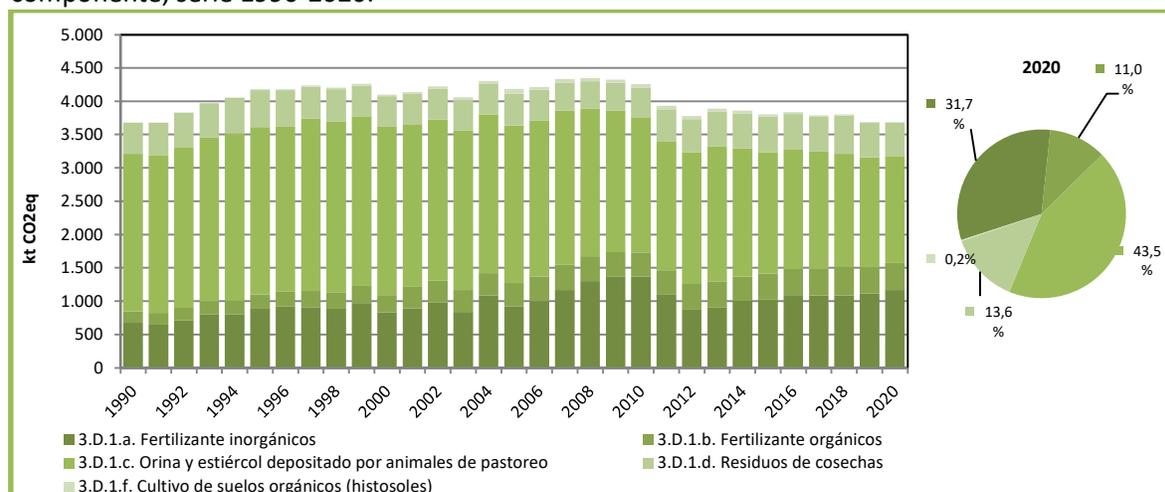
A nivel de componente, en *Emisiones directas de N₂O de suelos agrícolas, Orina y estiércol depositado por animales en pastoreo* es el de mayor importancia con un 43,5 %, seguido de 31,7 % de *Fertilizantes inorgánicos*, 13,6 % de *Residuos de Cosecha*, seguido de 11,0 % de *Fertilizantes orgánicos*, mientras que el porcentaje restante 0,20 % corresponde a *Cultivos de suelos orgánicos* (histosoles) (Tabla 5-79 y Figura 5-29).

Tabla 5-79. 3.D. *Suelos agrícolas*: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por componente, serie 1990-2020.

Componente	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020
3.D.1.a. Fertilizantes inorgánicos	674,9	831,5	1.367,4	910,1	1.089,8	1.088,0	1.168,3
3.D.1.b. Fertilizante orgánicos	170,8	260,6	364,3	382,4	394,9	420,9	405,6
3.D.1.c. Orina y estiércol depositado por animales de pastoreo	2.365,3	2.525,3	2.027,0	2.031,0	1.787,5	1.704,2	1.604,2
3.D.1.d. Residuos de cosechas	470,0	456,1	442,6	523,5	536,8	570,2	500,9
3.D.1.f. Cultivo de suelos orgánicos (Histosoles)	0,0	27,0	54,8	42,0	28,4	17,4	7,5
Total	3.681,0	4.100,7	4.256,1	3.889,0	3.837,4	3.800,7	3.686,7

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

Figura 5-29. 3.D.1. Emisiones directas de N₂O de suelos agrícolas: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por componente, serie 1990-2020.



Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

5.5.4.3 Aspectos metodológicos de la subcategoría

Para la estimación de las emisiones de N₂O de esta subcategoría se aplicó un método Nivel 1 para la mayoría de sus componentes mediante datos de actividad desagregados por regiones administrativas y factores de emisión por defecto, excepto para para ciertas regiones del país de la componente *Fertilizantes Inorgánicos*. En la Tabla 5-80 se observa un resumen de los métodos aplicados por categoría y por tipo de GEI.

Tabla 5-80. 3.D.1. Emisiones directas de N₂O de suelos agrícolas: métodos aplicados por componente.

Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero	CO ₂		CH ₄		N ₂ O	
	Método aplicado	Factor de emisión	Método aplicado	Factor de emisión	Método aplicado	Factor de emisión
3.D.1.a. Fertilizante inorgánicos					T1, T2	D, CS
3.D.1.b.i. Fertilizantes orgánicos					T1	D
3.D.1.c. Orina y estiércol depositado por animales de pastoreo					T1	D
3.D.1.d. Residuos de cosechas					T1	D
3.D.1.f. Cultivo de suelos orgánicos (Histosoles)					T1	D

T1 = Nivel 1; T2 = Nivel 2 CS = País específico; D = Por defecto.

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

Se trabajó con las siguientes ecuaciones:

Ecuación 5-7. 3.D.1. Emisiones directas de N₂O de suelos agrícolas: emisiones directas de N₂O en suelos gestionados (Nivel 1).

$$N_2O_{Directas} - N = N_2O - N_{N\text{ aportes}} + N_2O - N_{PRP}$$

Fuente: Ecuación 11.1; Capítulo 11; Volumen 4; *Directrices del IPCC de 2006*.

Donde:

- $N_2O_{Directas} - N$ = Emisiones directas anuales de N_2O-N producidas a partir de suelos gestionados ($kg\ N_2O-N\ año^{-1}$),
- $N_2O - N_{N\ aportes}$ = Emisiones directas anuales de N_2O-N producidas por aportes de N a suelos gestionados ($kg\ N_2O-N\ año^{-1}$),
- $N_2O - N_{PRP}$ = Emisiones directas anuales de N_2O-N de aportes de orina y estiércol a Tierras de pastoreo ($kg\ N_2O-N\ año^{-1}$).

Ecuación 5-8. 3.D.1. Emisiones directas de N_2O de suelos agrícolas: emisiones directas anuales de N_2O producidas por aportes de N a suelos gestionados.

$$N_2O - N_{N\ aportes} = [(F_{SN} + F_{ON} + F_{CR}) \times EF_1]$$

Fuente: Ecuación 11.1; Capítulo 11; Volumen 4; *Directrices del IPCC de 2006*.

Donde:

- $N_2O - N_{N\ aportes}$ = Emisiones directas anuales de N_2O-N producidas por aportes de N a suelos gestionados ($kg\ N_2O-N\ año^{-1}$),
- F_{SN} = Cantidad anual de N aplicado a los suelos en forma de fertilizante sintético ($kg\ N\ año^{-1}$),
- F_{ON} = Cantidad anual de estiércol animal, compost, lodos cloacales y otros aportes de N aplicada a suelos ($kg\ N\ año^{-1}$),
- F_{CR} = Cantidad anual de N en los residuos agrícolas (aéreos y subterráneos), incluyendo los cultivos fijadores de N y la renovación de forraje/pastura, que se regresan a los suelos ($kg\ N\ año^{-1}$),
- EF_1 = Factor de emisión para emisiones de N_2O de aportes de N ($kg\ N_2O-N\ ((kg\ aporte\ de\ N)^{-1})$).

Ecuación 5-9. 3.D.1. Emisiones directas de N_2O de suelos agrícolas: emisiones directas anuales de N_2O producidas por orina y estiércol de animales en pastoreo.

$$N_2O - N_{PRP} = [(F_{PRP, CPP} \times EF_{3PRP, CPP}) + (F_{PRP, SO} \times EF_{3PRP, SO})]$$

Fuente: Ecuación 11.1; Capítulo 11; Volumen 4; *Directrices del IPCC de 2006*.

Donde:

- $N_2O - N_{PRP}$ = Emisiones directas anuales de N_2O-N de aportes de orina y estiércol a tierras de pastoreo ($kg\ N_2O-N\ año^{-1}$),
- F_{PRP} = Cantidad anual de N de la orina y el estiércol depositada por los animales en pastoreo sobre pasturas, prados y praderas ($kg\ N\ año^{-1}$) (Nota: los subíndices CPP y SO se refieren a Vacunos, Aves de corral y Porcinos, y a Ovinos y Otros animales, respectivamente),
- EF_3 = Factor de emisión para emisiones de N_2O de aportes de N $kg\ N_2O-N\ ((kg\ aporte\ de\ N)^{-1})$.

5.5.4.3.1 Datos de actividad estadísticos y paramétricos

Fertilizantes

Para el caso de los fertilizantes inorgánicos, los datos recopilados corresponden a las toneladas de nitrógeno de fertilizantes inorgánicos que se consumen en Chile anualmente, de acuerdo con lo

reportado por ODEPA. Esta información, es depurada de aquella recibida desde el Servicio de Aduanas, y da cuenta 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, en base a aquella de importación, generada por el Servicio Nacional de Aduanas, se estima que entre el 89 y el 100% del nitrógeno empleado anualmente con fines agrícolas se usó como urea, para el periodo 1998-2020. Así, para obtener el contenido de nitrógeno empleado se utiliza por defecto el valor de 46%, que corresponde al contenido de N de la urea, expresado en porcentaje, el cual es multiplicado por las toneladas de consumo aparente de fertilizantes.

El país no cuenta con datos de actividad que permitan desagregar el uso de fertilizante por tipo de uso de suelo o región del país, por lo que no es posible estimar las emisiones regionales siguiendo una aproximación bottom-up.

Distribución de los residuos de cultivo

Para estimar la fracción de residuos agrícolas que es destinada a cada uso final, se requieren numerosos datos paramétricos, pues estos varían según los distintos tipos de cultivo. La determinación de estos datos paramétricos, entre los que destaca la desagregación de los residuos en sus posibles destinos finales, se realiza principalmente en base al juicio de expertos. Los destinos finales designados a cada tipo de residuos son (1) quema *in-situ*, (2) consumo animal en campo, (3) enfardado y extraído del campo, y (4) incorporación al suelo, lo que fue definido como el porcentaje remanente después de determinar los previos tres destinos. Con la quema *in-situ* definido según los métodos descritos el consumo animal en campo y el enfardado fueron evaluados para cuatro rubros, a saber, cultivos anuales, huertos frutales, hortalizas, y forrajeras. Generalmente los destinos a enfardado y consumo animal en campo se mantuvieron estáticos a través de años, donde el arroz, tomate, y cereales no-maíz fueron las excepciones.

El detalle de la obtención de los datos (población animal) para las subcategorías relacionadas con estiércol animal, así como los datos de actividad paramétricos (tasa de excreción animal y su distribución), deben consultarse en el capítulo de la categoría *Gestión del estiércol*.

Histosoles

La superficie de Histosoles (suelos orgánicos drenados), viene de información entregada por ODEPA a través de la Comisión Nacional de Riego (CNR).

5.5.4.3.2 Factores de emisión

Los factores de emisión para la subcategoría corresponden a valores por defecto de acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006* (Tabla 5-81).

Tabla 5-81. 3.D.1. Emisiones directas de N₂O de suelos agrícolas: factores de emisión por defecto.

Factor de emisión	Valor por defecto
EF ₁ para aportes de N de fertilizantes minerales, abonos orgánicos y residuos agrícolas, y N mineralizado de suelos minerales a causa de pérdida de carbono del suelo [kg N ₂ O-N (kg N) ⁻¹]	0,01
EF _{3PRP, CPP} para vacunos (lecheros y no lecheros, y búfalos), aves de corral y porcinos [kg N ₂ O-N (kg N) ⁻¹]	0,02
EF _{3PRP, SO} para ovinos y «otros animales» [kg N ₂ O-N (kg N) ⁻¹]	0,01
EF _{1FR} para arrozales inundados [kg N ₂ O-N (kg N) ⁻¹]	0,003
EF _{2GC, Temp} para suelos orgánicos templados de cultivos y con pastizales [kg N ₂ O-N (ha) ⁻¹]	8

Factor de emisión	Valor por defecto
EF país-específico para aportes de N de fertilizantes minerales causa de pérdida de carbono del suelo [kg N ₂ O-N (kg N) ⁻¹]	0,0025

Fuente: Cuadro 11.1; Capítulo 11; Volumen 4; *Directrices del IPCC de 2006*.

Los factores de emisión para la categoría corresponden a valores de acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006* más un factor de emisión de valor local para un grupo contiguo de regiones dominados por suelos de cenizas volcánicas, estas regiones son Ñuble, Biobío, La Araucanía, Los Ríos y Los Lagos. Los factores de emisión en estos suelos se han investigado desde 2011 a través de ensayos y estudios realizados por INIA Remehue, bajo distintos tipos de praderas (por ej. *Vistoso et al., 2012*), y cultivos (*Hube et al., 2016*), y distintas dosis de fertilizante nitrogenado. En base a estos estudios se utiliza un valor promedio de 0,0025 [kg N₂O-N (kg N)⁻¹]. Este valor es más bajo que el 1% reportado como FE de emisión por defecto por las *Directrices del IPCC de 2006* para esta categoría, sin embargo, puede ser explicado por las particularidades del ciclo biogeoquímico de N en suelos volcánicos (*Dixon et al., 2011; Cárdenas et al., 2013*), incluyendo una baja disponibilidad de NO₃ (*Salazar et al., 2014*), sustrato del N₂O, y una baja presencia de organismos desnitrificadores (*Carvajal et al., 2016*).

5.5.4.4 Incertidumbre

La incertidumbre combinada de esta subcategoría para el 2020, ha sido estimada para el N₂O. Un resumen de los resultados de la incertidumbre combinada se presenta en Tabla 5-82.

Tabla 5-82. 3.D.1. Emisiones directas de N₂O de suelos agrícolas: resumen de la incertidumbre combinada 2020.

Código IPCC	Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero	Incertidumbre en los datos de actividad		Incertidumbre en el factor de emisión		Incertidumbre combinada	
		(-)%	(+)%	(-)%	(+)%	(-)%	(+)%
3.D.1.a.	Fertilizantes inorgánicos	83%	83%	70%	67%	109%	107%
3.D.1. b.	Fertilizantes orgánicos	67%	67%	70%	67%	97%	94%
3.D.1. c.	Orina y estiércol depositado por animales de pastoreo	67%	67%	70%	67%	97%	94%
3.D.1. d.	Residuos de cosechas	83%	83%	70%	67%	109%	107%
3.D.1. f.	Cultivo de suelos orgánicos (Histosoles)	33%	33%	100%	67%	105%	75%

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

5.5.4.5 Consistencia de la serie temporal

Para mantener la consistencia de la serie temporal 1990-2020 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 nuevos cálculos realizados cubrieron la serie temporal completa.

5.5.4.6 Procedimiento de garantía y control de la calidad y verificación

5.5.4.6.1 Control de la calidad

Durante la actualización del ISGEI de Agricultura se han aplicado las recomendaciones de control de calidad de las *Directrices del IPCC de 2006* para la subcategoría y las actividades propias del Equipo Técnico de Agricultura. Todas estas actividades están listadas y documentadas dentro del SRT del

SNICHILE, correspondiente al libro de cálculo 2022_SGCC_3AGRI. Algunas de estas actividades rutinarias para el control de la calidad son las siguientes:

Gestión de los datos de actividad estadísticos:

- Los datos de actividad estadísticos fueron ingresados a las planillas de forma automática, directamente desde su fuente de origen, evitando errores asociados a la transcripción manual.
- Los totales nacionales de los datos de actividad fueron confeccionados por la suma de los totales regionales, realizando un chequeo cruzado para comprobar que no exista diferencia entre ellos.

Gestión de factores de emisión, factores de conversión y constantes:

- Todos los principales datos paramétricos se encuentran compilados en dos planillas denominadas “FE_DA_Ganado_v15102021” y “FE_DA_Agricola_2021”, que están vinculadas a las hojas de trabajo. Esto permite que esté centralizada la información para una rápida revisión y actualización cuando corresponda.

Gestión de las hojas de trabajo:

- Todas las hojas de trabajo están vinculadas automáticamente a las hojas de datos de actividad y factores de emisión.
- En las hojas de trabajo los valores de nivel país fueron generados tanto por la suma de los valores regionales, como por el ingreso directo a las planillas de los valores nacionales, no debiendo existir diferencia alguna entre ambas derivaciones. De esta forma, en cada planilla de trabajo se cuenta con tres cuadros de datos país: país por suma de regiones, país por datos nacionales directamente ingresados y país por la diferencia entre los dos cuadros anteriores, que debe dar cero (sin diferencia alguna entre los primeros dos cuadros).

Revisión interna:

- Para asegurar que los datos fueran reales, completos y consistentes, se efectuó una verificación cruzada de la información con otras fuentes y con datos utilizados en actualizaciones de años anteriores.
- Se realizó una revisión de las planillas de cálculo y hojas de trabajo por parte de revisores internos del proceso de actualización en cada institución que forma parte del Equipo Técnico de Agricultura.

5.5.4.6.2 Garantía de la calidad

Previo a la actualización del sector Agricultura, el Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI ha desarrollado un análisis de la inclusión de las recomendaciones levantadas durante la revisión externa, tanto del ISGEI de como del INGEI de Chile, para evaluar la factibilidad de su aplicación. Las recomendaciones realizadas por los revisores expertos han sido listadas y documentadas dentro del SRT del SNICHILE, correspondiente al libro de cálculo 2022_SGCC_3AGRI.

5.5.4.6.3 Verificación

Con respecto a la cantidad de fertilizante utilizada en el país, las importaciones y exportaciones están agrupadas por categorías lo que ha permitido una estimación de su probable cantidad de N, persistiendo cierto grado de incertidumbre. Los datos utilizados en este INGEI 2022 corresponden a los datos depurados y entregados por ODEPA, distribuidos por región en base de superficie

cultivada, que reflejan las distintas variables existentes en la serie de tiempo, como lo son el precio de los fertilizantes, variables climáticas (sequía), crisis económica, tasas de aplicación por agricultores pequeños, entre varias otras.

5.5.4.7 Nuevos cálculos

5.5.4.7.1 Justificaciones de los nuevos cálculos y mejoras

En esta actualización, se utilizaron datos depurados (fertilizantes nitrogenados) entregados por ODEPA, y la incorporación del factor país específico para emisiones directas de N₂O para fertilizantes nitrogenados minerales (regiones del Ñuble, Biobío, La Araucanía, Los Ríos y Los Lagos). Además, en esta categoría se agrega la información sobre la incorporación de lodos en el ítem de fertilizantes orgánicos⁶⁵, desde 2010 en adelante.

5.5.4.7.2 Implicaciones para los niveles de emisión

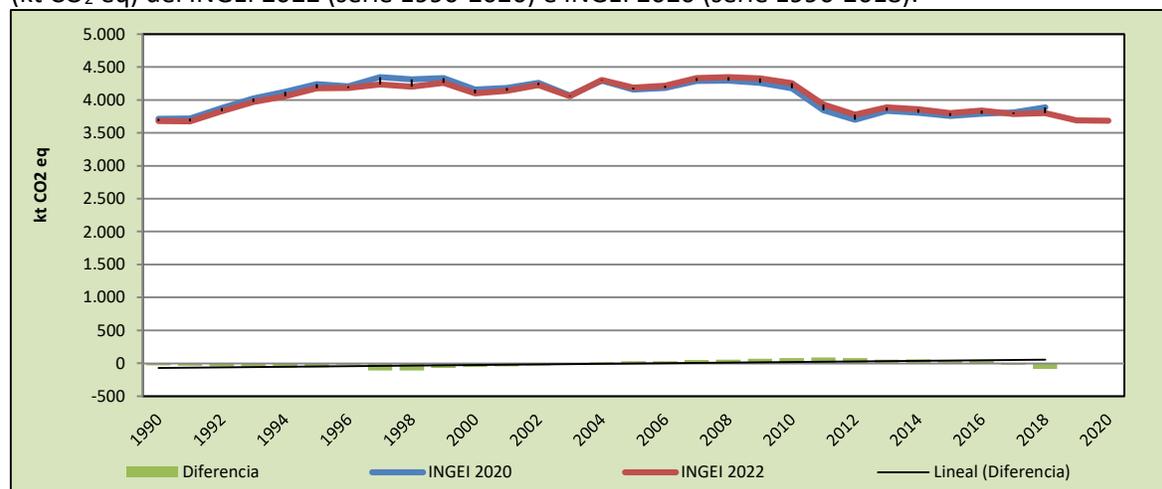
En la Tabla 5-83 y Figura 5-30 se observa cómo variaron las emisiones de GEI de esta subcategoría respecto del inventario anterior (INGEI 2020). Esta variación en las emisiones se debe principalmente a la actualización de las estimaciones de nitrógeno excretado.

Tabla 5-83. 3.D.1. Emisiones directas de N₂O de suelos agrícolas: comparación entre emisiones de CH₄ (kt CO₂ eq) del INGEI 2022 (serie 1990-2020) e INGEI 2020 (serie 1990-2018).

INGEI	1990	2000	2010	2013	2016	2017	2018	2019	2020
INGEI 2020	3.714,6	4.158,3	4.179,3	3.833,5	3.791,1	3.808,5	3.888,9		
INGEI 2022	3.681,0	4.100,7	4.256,1	3.889,0	3.837,4	3.786,9	3.800,7	3.689,6	3.686,7
Diferencia	-33,6	-57,6	76,8	55,5	46,3	-21,6	-88,2		
Diferencia %	-0,9%	-1,4%	1,8%	1,4%	1,2%	-0,6%	-2,3%		

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI con base en INGEI 2020 e INGEI 2022.

Figura 5-30. 3.D.1. Emisiones directas de N₂O de suelos agrícolas: comparación entre emisiones (kt CO₂ eq) del INGEI 2022 (serie 1990-2020) e INGEI 2020 (serie 1990-2018).



Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI con base en INGEI 2020 e INGEI 2022.

⁶⁵ Con base a información reportado por Camila Labarca Wyneken (Coordinadora del Sistema Nacional de Inventarios de GEI, Oficina de Cambio Climático, Ministerio del Medio Ambiente).

5.5.4.8 Plan de mejoramiento

En el caso de los Fertilizantes sintéticos se requiere contar con información por región administrativa sobre el uso de fertilizantes, con el fin de disminuir la incertidumbre asociada a la utilización de métodos de desagregación regional, basados en la importancia relativa de la actividad agrícola en cada una de las regiones. Esto incluye forma química, región y cultivo. Igualmente, importante es que estos datos deben ser periódicamente publicados y de libre acceso.

Los artículos científicos asociados al desarrollo del FE país específico de esta categoría se reportarán para ser considerados por la EFDB del IPCC.

Respecto a las fuentes de nitrógeno animal, en la actualidad el país no cuenta con factores de emisión país específico para aplicar métodos superiores. Sin embargo, se encuentra en marcha una investigación científica por parte de INIA-Remehue, con el apoyo de la Global Research Alliance (GRA), para determinar estos factores.

5.5.5 Emisiones indirectas de N₂O de suelos agrícolas (3.D.2.)

5.5.5.1 Descripción de la subcategoría

Esta subcategoría incluye emisiones indirectas de N₂O generadas por (a) la volatilización de nitrógeno (como NH₃ y NO_x) después de la aplicación de fertilizantes con nitrógeno sintético y orgánico y/o deposición de orina y estiércol de animales en pastoreo y la subsiguiente deposición del nitrógeno como amoníaco (NH₄⁺) y óxidos de nitrógeno (NO_x) en suelos y aguas y (b) la lixiviación y el agotamiento de nitrógeno de fertilizantes añadidos con nitrógeno sintético y orgánico, residuos de cultivos, mineralización/inmovilización vinculada a la ganancia/pérdida de carbono del suelo resultante del cambio del uso de la tierra o de las prácticas de gestión de suelos minerales; y orina y estiércol depositado por animales en pastoreo en aguas subterráneas.

5.5.5.2 Tendencia de las emisiones de GEI

En 2020, las emisiones de GEI de esta subcategoría contabilizaron 788,5 kt CO₂ eq (representando el 17,6 % de las emisiones de GEI de la categoría), disminuyendo en un 3,4 % desde 1990 y en un 3,8 % desde 2018 (Tabla 5-84 y Figura 5-31). La principal causante de la tendencia son las variaciones interanuales del N proveniente del estiércol animal y fertilizantes orgánicos e inorgánicos.

Respecto a las fuentes, la componente de *Orina y estiércol depositado por animales de pastoreo* acumula la mayoría de las emisiones, representando un 48,3 % de la subcategoría, seguida de un 30,7 % de *Fertilizantes inorgánicos*, un 11,4 % de *Fertilizantes orgánicos*, y un 9,5 % de *Residuos de cosecha*.

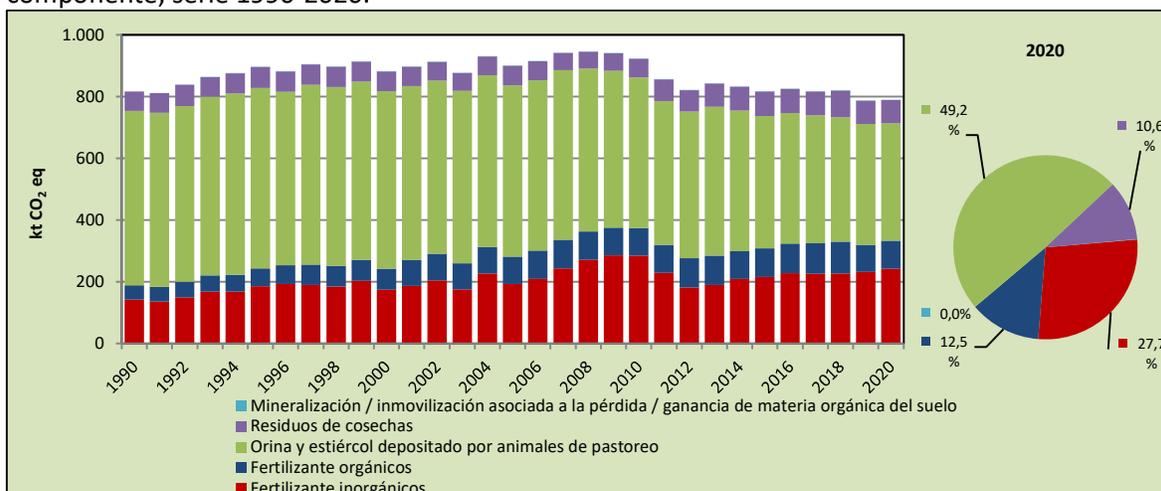
Tabla 5-84. 3.D.2. Emisiones indirectas de N₂O de suelos agrícolas: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por componente, serie 1990-2020.

Componente	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020
Fertilizantes inorgánicos	141,3	173,4	284,4	189,4	226,9	226,8	242,1
Fertilizantes orgánicos	46,7	68,7	89,5	94,4	96,5	102,6	90,3
Orina y estiércol depositado por animales de pastoreo	565,9	574,9	487,8	482,4	422,2	403,5	381,0
Residuos de cosechas	62,2	64,5	61,1	75,4	78,8	86,6	75,2

Componente	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020
Mineralización asociada a la pérdida/ganancia de MO del suelo	0	0,061	0,123	0,095	0,064	0,039	0,017
Total	816,0	881,5	922,8	841,7	824,5	819,5	788,5

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

Figura 5-31. 3.D.2. Emisiones indirectas de N₂O de suelos agrícolas: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por componente, serie 1990-2020.



Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

5.5.5.3 Aspectos metodológicos de la subcategoría

Para la estimación de las emisiones de N₂O de esta subcategoría se aplicó un método Nivel 1 para todas sus componentes, mediante datos de actividad desagregados por región administrativa y factores de emisión por defecto. En la Tabla 5-85 se observa un resumen de los métodos aplicados por categoría y por tipo de GEI.

Tabla 5-85. 3.D.2. Emisiones indirectas de N₂O de suelos agrícolas: métodos aplicados por componente.

Código IPCC	Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero	CO ₂		CH ₄		N ₂ O	
		Método aplicado	Factor de emisión	Método aplicado	Factor de emisión	Método aplicado	Factor de emisión
3.D.2.a.i	Fertilizantes inorgánicos					T1	D
3.D.2.a.ii	Fertilizantes orgánicos					T1	D
3.D.2.a.iii	Orina y estiércol depositado por animales de pastoreo					T1	D
3.D.2. b.i.	Fertilizantes inorgánicos					T1	D
3.D.2.b. ii	Fertilizantes orgánicos					T1	D
3.D.2.b.iii.	Orina y estiércol depositado por animales de pastoreo					T1	D
3.D.2.b.iv.	Residuos de cosechas					T1	D
3.D.2. b.v.	Mineralización / inmovilización asociada a la pérdida / ganancia de materia orgánica del suelo					T1	D

T1 = Nivel 1; D = Por defecto

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

Un punto importante de mencionar es lo relacionado con la subcategoría *Lixiviación y escurrimiento*. Las *Directrices del IPCC de 2006*, indican que se produce lixiviación o escurrimiento en regiones húmedas o en regiones secas en donde se emplea irrigación y en las regiones que presentan estas características la fracción de lixiviación que se debe ocupar es de 0,3 ($Frac_{Lixiviación-(H)}$). Pero en regiones secas, donde las precipitaciones son menores a la evapotranspiración durante la mayor parte del año y es poco factible que se produzca lixiviación, la fracción de lixiviación es igual a cero. Es por este punto y siguiendo lo que se indica sobre la evapotranspiración en el Atlas Agroclimático de Chile, sólo en las regiones de Ñuble al sur ocurría lixiviación, no así en las regiones al norte de ésta.

Ecuación 5-10. 3.D.2. Emisiones indirectas de N_2O producido por disposición atmosférica de N volatilizado de suelos agrícolas (Nivel 1).

$$N_2O_{(ATD)} = N - [(F_{SN} \times Frac_{GASF}) + (F_{ON} + F_{PRP}) \times Frac_{GASM}] \times EF_4$$

Fuente: Ecuación 11.9; Capítulo 11; Volumen 4; *Directrices del IPCC de 2006*.

Donde:

- $N_2O_{(ATD)}$ = Cantidad anual de N_2O -N producida por disposición atmosférica de N volatilizado de suelos agrícolas ($kg\ N_2O-N\ año^{-1}$),
- F_{SN} = Cantidad anual de fertilizantes sintéticos aplicado a los suelos ($kg\ N\ año^{-1}$),
- $Frac_{GASF}$ = Fracción de N de fertilizantes sintéticos que se volatiliza como NH_3 y NO_x , $kg\ N$ volatilizado ($kg\ de\ N\ aplicado$)⁻¹
- F_{ON} = cantidad anual de estiércol animal gestionado, *compost*, lodos cloacales y otros agregados de N orgánico-aplicada a los suelos, $kg\ N\ año^{-1}$
- F_{PRP} = cantidad anual de N de la orina y el estiércol depositada por animales de pastoreo en pasturas, prados y praderas, $kg\ N\ año^{-1}$
- $Frac_{GASM}$ = fracción de materiales fertilizantes de N orgánico (F_{ON}) y de N de orina y estiércol depositada por animales de pastoreo (F_{PRP}) que se volatiliza como NH_3 y NO_x , $kg\ N$ volatilizado ($kg\ de\ N\ aplicado\ o\ depositado$)⁻¹
- EF_4 = factor de emisión correspondiente a las emisiones de N_2O de la deposición atmosférica de N en los suelos y en las superficies del agua [$kg\ N-N_2O\ (kg\ NH_3-N + NO_x-N\ volatilizado)$]⁻¹

Ecuación 5-11. 3.D.2. Emisiones indirectas de N_2O por lixiviación/escurrimiento de N de suelos agrícolas en regiones donde se produce este fenómeno (Nivel 1).

$$N_2O_{(L)} - N = \left[(F_{SN} + F_{ON} + F_{CR} + F_{PRP} + F_{SOM}) \times Frac_{Lixiviación-(H)} \times EF_5 \right]$$

Fuente: Ecuación 11.10; Capítulo 11; Volumen 4; *Directrices del IPCC de 2006*.

Donde:

- $N_2O_{(L)} - N$ = Cantidad anual de N_2O -N producida por lixiviación y escurrimiento de agregados de N a suelos gestionados en regiones donde se producen estos fenómenos, ($kg\ N_2O-N\ año^{-1}$),
- F_{SN} = Cantidad anual de N de fertilizantes sintéticos aplicada a los suelos en regiones donde se produce lixiviación/escurrimiento, ($kg\ N\ año^{-1}$),
- F_{ON} = Cantidad anual de estiércol animal gestionado, *compost*, lodos cloacales y otros agregados de N orgánico-aplicada a los suelos en regiones donde se produce lixiviación/escurrimiento, ($kg\ N\ año^{-1}$),

- F_{CR} = cantidad de N en los residuos agrícolas (aéreos y subterráneos), incluyendo los cultivos fijadores de N y de la renovación de forraje/pastura, devuelta a los suelos anualmente en regiones donde se produce lixiviación/escorrimento, (kg N año⁻¹),
- F_{PRP} = Cantidad anual de N de la orina y el estiércol depositada por los animales en pastoreo en regiones donde se produce lixiviación/escorrimento, (kg N año⁻¹),
- F_{SOM} = Cantidad anual de N mineralizado en suelos minerales relacionada con la pérdida de C del suelo de la materia orgánica del suelo, como resultado de cambios en el uso o la gestión de la tierra en regiones donde se produce lixiviación/escorrimento
- $Frac_{Lixiviación-(H)}$ = Fracción de todo el N agregado a/mineralizado en suelos gestionados en regiones donde se produce lixiviación/escorrimento, kg N (kg de agregados de N)⁻¹
- EF_5 = Factor de emisión para emisiones de N₂O por lixiviación y escorrimento de N, kg N₂O-N (kg N por lixiviación y escorrimento)⁻¹

5.5.5.3.1 Datos de actividad estadísticos y paramétricos

Los datos utilizados para esta subcategoría fueron los mismos utilizados en *Emisiones directas de N₂O desde suelos agrícolas*. De acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006* para las emisiones indirectas se debe descontar la superficie bajo riego mecanizado, ya que este sistema de riego elimina la lixiviación y la escorrentía.

Para la desagregación del consumo de fertilizantes inorgánicos, se recopiló información sobre la superficie regional de cada uno de los rubros de cultivos y las superficies regadas bajo los distintos métodos disponibles en del *Censo Agropecuario y Forestal 2007*. Así, se desagregaron los datos a nivel regional, de acuerdo con la distribución porcentual de la superficie cultivada, diferenciando la superficie cultivada que es regada con riego mecanizado, de aquella no regada o que es regada con riego no mecanizado. Esto permitió hacer una distinción entre el N que se volatiliza del que lixivia y escurre superficialmente, datos que son utilizados para la categoría *Emisiones indirectas de N₂O de suelos agrícolas*.

5.5.5.3.2 Factores de emisión

Los factores de emisión para la subcategoría corresponden a valores por defecto de acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006* (Tabla 5-86).

Tabla 5-86. 3.D.2. Emisiones indirectas de N₂O de suelos agrícolas: factores de emisión por defecto.

Factor de emisión	Valor por defecto
EF ₄ [volatilización y re-deposición de N], kg N ₂ O-N (kg NH ₃ -N + NO _x -N volatilizado) ^{-1 19}	0,010
EF ₅ [lixiviación/escorrimento], kg N ₂ O-N (kg N lixiviación/escorrimento) ^{-1 20}	0,0075
Frac _{GASF} [Volatilización de fertilizante sintético], (kg NH ₃ -N + NO _x -N) (kg N aplicado) ⁻¹	0,10
Frac _{GASM} [Volatilización de todos los fertilizantes de N orgánicos aplicados, y de estiércol y orina depositados por animales en pastoreo], (kg NH ₃ -N + NO _x -N) (kg N aplicado o depositado) ⁻¹	0,20
Frac _{LIXIVIACIÓN-(H)}} [pérdidas de N por lixiviación/escorrimento en regiones donde Σ(luvia en la estación lluviosa) - Σ (EP en el mismo período) > capacidad de retención del agua del suelo, O donde se emplea irrigación (excepto por goteo)], kg N (kg N agregado o por deposición de animales en pastoreo) ⁻¹	0,30

Fuente: Cuadro 11.3; Capítulo 11; Volumen 4; *Directrices del IPCC de 2006*.

5.5.5.4 Incertidumbre

La incertidumbre combinada de esta subcategoría para el 2020, ha sido estimada para el N₂O. Un resumen de los resultados de la incertidumbre combinada se presenta en la Tabla 5-87. Se aprecia

que, en general, la mayor fuente de incertidumbre está relacionada al factor de emisión por defecto aplicado más que a los datos de actividad.

Tabla 5-87. 3.D.2. Emisiones indirectas de N₂O de suelos agrícolas: resumen de la incertidumbre combinada 2020.

Código IPCC	Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero	Incertidumbre en los datos de actividad		Incertidumbre en el factor de emisión		Incertidumbre combinada	
		(-)%	(+)%	(-)%	(+)%	(-)%	(+)%
3.D.2.a.i	Fertilizantes inorgánicos	87	87	80	400	118	409
3.D.2.a.ii.1.	Fertilizantes orgánicos	67	67	80	400	104	405
3.D.2.a.iii.	Orina y estiércol depositado por animales de pastoreo	67	67	93	233	114	242
3.D.2. b.i.	Fertilizantes inorgánicos	67	67	93	233	115	242
3.D.2.b.ii.1.	Fertilizantes orgánicos	67	67	93	233	114	242
3.D.2.b.iii.	Orina y estiércol depositado por animales de pastoreo	67	67	93	150	114	164
3.D.2.b.iv.	Residuos de cosechas	67	67	93	167	115	180
3.D.2. b.v.	Mineralización / inmovilización asociada a la pérdida / ganancia de materia orgánica del suelo	33	33	93	167	99	170

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

5.5.5.5 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. Cuando se realizaron cambios de actividad paramétrica o de factor de emisión, los nuevos cálculos realizados cubrieron la serie temporal completa.

5.5.5.6 Procedimiento de garantía y control de la calidad y verificación

5.5.5.6.1 Control de la calidad

Durante la actualización del ISGEI de Agricultura se han aplicado las recomendaciones de control de calidad de las *Directrices del IPCC de 2006* para la subcategoría y las actividades propias del Equipo Técnico de Agricultura. Todas estas actividades están listadas y documentadas dentro del SRT del SNICHILE, correspondiente al libro de cálculo *2022_SGCC_3AGRI*. Algunas de estas actividades rutinarias para el control de la calidad son las siguientes:

Gestión de los datos de actividad estadísticos:

- Los datos de actividad estadísticos fueron ingresados a las planillas de forma semiautomática, directamente desde su fuente de origen, evitando errores asociados a la transcripción manual.
- Los totales nacionales de los datos de actividad fueron confeccionados por la suma de los totales regionales, realizando un chequeo cruzado para comprobar que no exista diferencia entre ellos.

Gestión de factores de emisión, factores de conversión y constantes:

- Todos los principales datos paramétricos se encuentran compilados en dos planillas denominadas "FE_DA_Ganado_v15102021" y "FE_DA_Agricola_2021", que está vinculada

a las hojas de trabajo. Esto permite que esté centralizada la información para una rápida revisión y actualización cuando corresponda.

Gestión de las hojas de trabajo:

- Todas las hojas de trabajo están vinculadas automáticamente a las hojas de datos de actividad y factores de emisión.
- En las hojas de trabajo los valores de nivel país fueron generados tanto por la suma de los valores regionales, como por el ingreso directo a las planillas de los valores nacionales, no debiendo existir diferencia alguna entre ambas derivaciones. De esta forma, en cada planilla de trabajo se cuenta con tres cuadros de datos país: país por suma de regiones, país por datos nacionales directamente ingresados y país por la diferencia entre los dos cuadros anteriores, que debe dar cero (sin diferencia alguna entre los primeros dos cuadros).

Revisión interna:

- Para asegurar que los datos fueran reales, completos y consistentes, se efectuó una verificación cruzada de la información con otras fuentes y con datos utilizados en actualizaciones de años anteriores.
- Se realizó una revisión de las planillas de cálculo y hojas de trabajo por parte de revisores internos del proceso de actualización en cada institución que forma parte del Equipo Técnico de Agricultura.

5.5.5.6.2 Garantía de la calidad

Previo a la actualización del sector *Agricultura*, el Equipo Técnico Agricultura del MINAGRI ha desarrollado un análisis de la inclusión de las recomendaciones levantadas durante la revisión externa, tanto del ISGEI de AFOLU como del INGEI de Chile, para evaluar la factibilidad de su aplicación. Las recomendaciones realizadas por los revisores expertos han sido listadas y documentadas dentro del SRT del SNICHILE, correspondiente al libro de cálculo *2022_SGCC_3AGRI*.

5.5.5.6.3 Verificación

No se realizaron actividades de verificación.

5.5.5.7 Nuevos cálculos

5.5.5.7.1 Justificaciones de los nuevos cálculos y mejoras

Al igual que en la subcategoría *Emisiones directas de N₂O de suelos agrícolas* se cuenta con la actualización estimaciones del N proveniente de nitrógeno animal excretado para bovinos y porcinos. Para mayor detalle revisar categoría *Gestión del estiércol*. La principal causante de la tendencia son las variaciones interanuales del N proveniente del estiércol animal y fertilizantes orgánicos e inorgánicos. La principal causante de la tendencia son las variaciones interanuales del N proveniente del estiércol animal y fertilizantes orgánicos e inorgánicos.

5.5.5.7.2 Implicaciones para los niveles de emisión

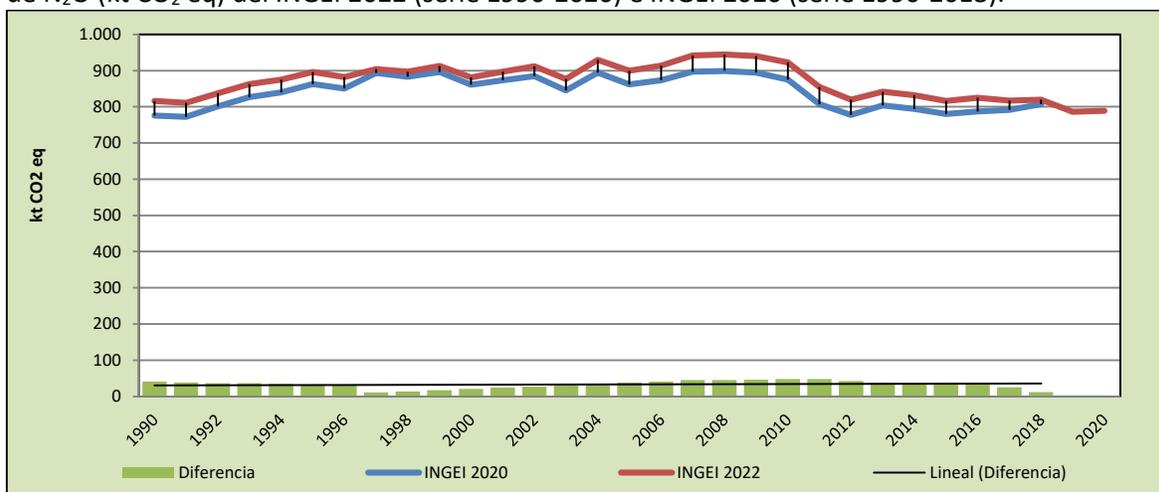
En la Tabla 5-88 y Figura 5-32 se observa cómo variaron las emisiones de GEI de esta subcategoría respecto del inventario anterior (INGEI 2020).

Tabla 5-88. 3.D.2. Emisiones indirectas de N₂O de suelos agrícolas: comparación entre emisiones de N₂O (kt CO₂ eq) del INGEI 2022 (serie 1990-2020) e INGEI 2020 (serie 1990-2018).

INGEI	1990	2000	2010	2013	2016	2017	2018	2019	2020
INGEI 2020	775,4	860,6	875,2	803,4	787,1	791,4	807,7		
INGEI 2022	816,0	881,5	922,8	841,7	824,5	816,6	819,5	786,3	788,5
Diferencia	40,6	20,9	47,6	38,2	37,4	25,2	11,8		
Diferencia %	5,0%	2,4%	5,2%	4,5%	4,5%	3,1%	1,4%		

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI con base en INGEI 2020 e INGEI 2022.

Figura 5-32. 3.D.2. Emisiones indirectas de N₂O de suelos agrícolas: comparación entre emisiones de N₂O (kt CO₂ eq) del INGEI 2022 (serie 1990-2020) e INGEI 2020 (serie 1990-2018).



Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI con base en INGEI 2020 e INGEI 2022.

5.5.5.8 Plan de mejoramiento

En general, el mismo plan de mejoramiento asociado a la generación de datos de actividad de *Emisiones indirectas de N₂O de suelos agrícolas*, previamente descrito, es aplicable para esta subcategoría.

Quema prescrita de sabanas (3.E.)

5.5.6 Descripción de la categoría

En el contexto nacional, esta categoría no ocurre ya que el país no tiene este tipo de ecosistema en su territorio nacional.

5.6 Quema de residuos agrícolas en el campo (3.F.)

5.6.1 Descripción de la categoría

Esta categoría incluye las emisiones de N₂O y CH₄ generadas por la quema de residuos agrícolas en el campo.

En el contexto nacional, esta categoría incluye diversos cultivos agrupados en los siguientes componentes:

- Cereales y otros cultivos (cultivos industriales, leguminosas y tubérculos);
- Huertos frutales (frutales mayores, frutales menores, viñas y parronales).

5.6.2 Tendencia de las emisiones de GEI

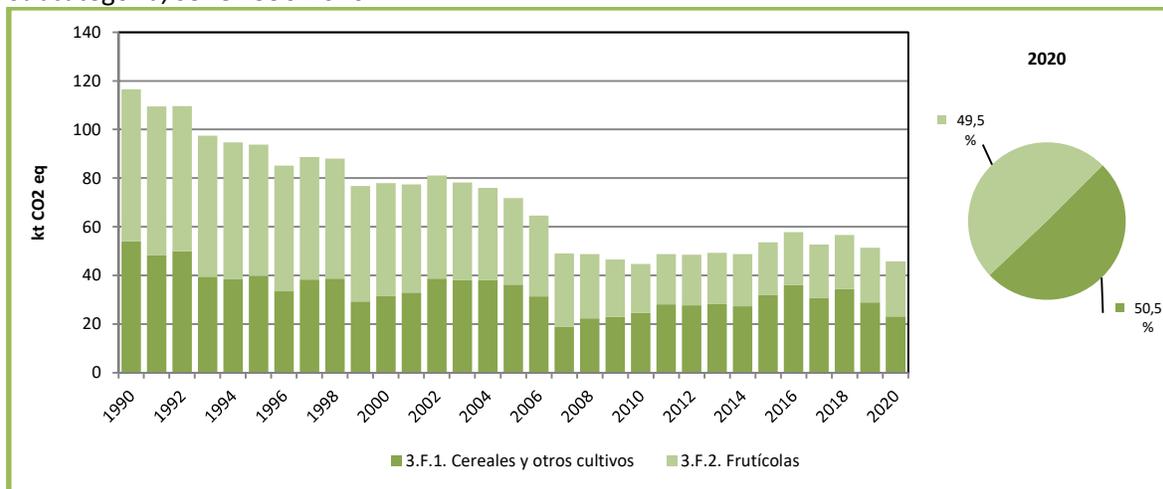
La categoría *Quema de residuos agrícolas en el campo* es la séptima categoría emisora de GEI del sector Agricultura, representando 0,4 % de las emisiones de GEI del sector. En 2020, sus emisiones de GEI contabilizaron 45,7 kt CO₂ eq, disminuyendo en un 60,8 % desde 1990 y en un 19,2 % desde 2018. El principal causante de la tendencia y las variaciones interanuales es la implementación de las leyes que prohíben la quema de estos residuos y, por otra parte, el mejor aprovechamiento de los residuos para consumo animal o incorporación al suelo. Respecto a las subcategorías, *Cereales y otros cultivos* es la de mayor relevancia con un 50,5 %, seguida de un 49,5 % de *Frutícolas*.

Tabla 5-89. 3.F. Quema de residuos agrícolas en el campo: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por subcategoría, serie 1990-2020.

Subcategoría	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020
3.F.1. Cereales y otros cultivos	54,0	31,6	24,6	28,3	36,0	34,3	23,1
3.F.2. Frutícolas	62,5	46,4	20,1	20,9	21,8	22,3	22,6
Total	116,5	78,0	44,7	49,2	57,8	56,6	45,7

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

Figura 5-33. 3.F. Quema de residuos agrícolas en el campo: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por subcategoría, serie 1990-2020.



Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

5.6.3 Aspectos metodológicos de la categoría

Para la estimación de las emisiones de GEI de esta subcategoría se aplicó un método Nivel 1 para todas sus componentes, mediante datos de actividad desagregados por regiones administrativas y factores de emisión por defecto. En la Tabla 5-90 se observa un resumen de los métodos aplicados por subcategoría y por tipo de GEI.

Tabla 5-90. 3.F. Quema de residuos agrícolas en el campo: métodos aplicados por subcategoría.

Código IPCC	Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero	CO ₂		CH ₄		N ₂ O	
		Método aplicado	Factor de emisión	Método aplicado	Factor de emisión	Método aplicado	Factor de emisión
3.F.1.	Cereales			T1	D	T1	D
3.F.2.	Huertos frutales			T1	D	T1	D

T1 = Nivel 1; D = Por defecto

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

El cálculo de las emisiones para esta categoría se realizó a través de libros de cálculo elaborados por el Equipo Técnico de Agricultura con base en las hojas de trabajo de las *Directrices del IPCC de 2006*.

5.6.4 Datos de actividad de la categoría

Los datos de actividad y paramétricos necesarios fueron una combinación de valores por defecto de las *Directrices del IPCC de 2006*, valores nacionales de ODEPA, INE, CONAF, CIREN y juicio de expertos.

5.6.5 Cereales y otros cultivos (3.F.1.)

5.6.5.1 Descripción de la subcategoría

Esta categoría incluye las emisiones de N₂O y CH₄, generadas por la quema de residuos agrícolas en los cultivos de cereales y otros cultivos como leguminosas, cultivos industriales y tubérculos.

5.6.5.2 Tendencia de las emisiones de GEI

En 2020, las emisiones de GEI de esta subcategoría contabilizaron 23,1 kt CO₂ eq, representando un 50,5 % de las emisiones de la categoría quemados de residuos agrícolas; disminuyendo en un 57,2 % desde 1990 y en un 32,7 % desde 2018. El principal causante de la tendencia y las variaciones interanuales es la prohibición y control existente sobre la quema de residuos de cereales, lo que ha generado cambios en la disposición final y reutilización de estos residuos.

5.6.5.3 Aspectos metodológicos de la subcategoría

Para la estimación de las emisiones de GEI de esta subcategoría se aplicó un método Nivel 1 para todas sus componentes, mediante datos de actividad desagregados por regiones administrativas y factores de emisión por defecto. En la Tabla 5-91 se observa un resumen de los métodos aplicados por categoría y por tipo de GEI.

Tabla 5-91. 3.F.1. Cereales y otros cultivos: métodos aplicados por tipo de cultivo.

Código IPCC	Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero	CO ₂		CH ₄		N ₂ O	
		Método aplicado	Factor de emisión	Método aplicado	Factor de emisión	Método aplicado	Factor de emisión
3.F.1.	Cereales			T1	D	T1	D

T1 = Nivel 1; D = Por defecto

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

Para determinar las emisiones de GEI se aplicó una metodología país específica, pues se desarrolló una desagregación a nivel regional y una desagregación por componente operacional, que consistió en la utilización de criterio experto país específico, para determinar la fracción de los residuos de los principales tipos de cultivos que se destinan a la quema en el campo.

El cálculo de las emisiones para esta subcategoría se realizó a través de libros de cálculo elaborados por el Equipo Técnico de Agricultura con base en las hojas de cálculo de las *Directrices del IPCC de 2006*.

Ecuación 5-12. 3.F.1. Estimación de emisiones de gases de efecto invernadero a causa del fuego.

$$L_{quema} = A \times M_B \times C_f \times G_{ef} \times 10^{-3}$$

Fuente: Ecuación 2.27; Capítulo 2; Volumen 4; *Directrices del IPCC de 2006*.

- L_{quema} = Cantidad de gases de efecto invernadero provocados por el fuego, t de GEI
- A = Superficie quemada, ha
- M_B = Masa de combustible disponible para la combustión, t ha⁻¹
- C_f = Factor de combustión, sin dimensión
- G_{ef} = Factor de emisión, g kg⁻¹ de materia seca quemada.

5.6.5.3.1 Datos de actividad estadísticos y paramétricos

Los datos de actividad y paramétricos necesarios fueron una combinación de valores por defecto de las *Directrices del IPCC de 2006*, valores nacionales de ODEPA, INE, CONAF y juicio de expertos.

Residuos agrícolas

Los datos de producción de residuos de cosechas se generaron a partir de datos estadísticos de superficie y de datos de productividad de los cultivos, recopilados de los *Censos Agropecuarios y Forestales 1997 y 2007*, de las estadísticas anuales de ODEPA y los catastros frutícolas realizados por CIREN, que fueron combinados con datos de actividad paramétricos correspondientes a juicio de expertos e investigaciones, lo que permite hacer una división de los residuos de cultivo según su destino final. Esta clasificación sirvió para obtener valores más precisos acerca de la cantidad de restos de poda generados y de la biomasa viva presente en dichas superficies, variables que difieren según la edad y especie.

Con respecto a los cereales (sin incluir al maíz y al arroz en este ítem), los residuos representan la mayor parte de biomasa para trigo, avena, cebada, centeno, y triticale. Las superficies totales por región que se destinan a la quema fueron cuantificadas para los años 2008-2020, utilizando los datos entregados por CONAF. Para la superficie de quema, del inicio de la serie (1990) fue estimada por juicio experto y para luego realizar una interpolación lineal entre 1990 y 2007.

Distribución de los residuos de cultivo

Para estimar la fracción de residuos agrícolas que es destinada a cada uso final, son numerosos los datos paramétricos que se requieren, pues estos varían según los distintos tipos de cultivo. La determinación de estos datos paramétricos, entre los que destaca la desagregación de los residuos en sus posibles destinos finales, se construyó en base a datos disponibles de investigación (boletines técnicos INIA) y juicio de expertos. Los destinos finales designados a cada tipo de residuos fueron (1) quema in-situ, (2) consumo animal en campo, (3) enfardado, y (4) incorporación al suelo, lo que fue definido como el porcentaje remanente después de determinar los previos 3 destinos. Con la

quema *in-situ* definido según los métodos descritos, el consumo animal en campo y el enfardo fueron evaluados para 4 rubros (cultivos anuales, huertos frutales, hortalizas, y forrajeras). Generalmente los destinos a enfardado y consumo animal en campo se mantuvieron estáticos a través de la serie de tiempo.

Para generar los datos del cuadro anterior se requirió de una gran cantidad de datos de actividad paramétricos, los cuales se resumen en la Tabla 5-92.

Tabla 5-92. 3.F.1. Cereales y otros cultivos: datos de actividad paramétricos de cultivos anuales.

Especie	Índice de cosecha	Factor Residuos	Fracción de Materia Seca	Factor Residuos (ms)	Rendimiento (t ms ha ⁻¹)	Fracción de Carbono	Relación C/N	Relación N/C	Fracción de N
Cereales									
Arroz	0,48	1,08	0,89	0,96	5,13	0,45	65,00	0,015	0,011
Maíz	0,50	1,00	0,95	0,95	10,81	0,42	60,00	0,017	0,006
Avena	0,44	1,27	0,88	1,12	4,12	0,42	61,00	0,016	0,007
Cebada	0,44	1,27	0,88	1,12	4,58	0,42	60,00	0,017	0,007
Centeno	0,44	1,27	0,85	1,08	3,57	0,42	60,00	0,017	0,006
Trigo	0,42	1,38	0,90	1,24	4,76	0,42	60,00	0,017	0,006
Triticale	0,42	1,38	0,90	1,24	4,95	0,42	60,00	0,017	0,006
Cultivos industriales principales									
Lupino	0,38	1,63	0,86	1,40	2,07	0,42	35,00	0,029	0,016
Maravilla	0,36	1,78	0,90	1,60	1,86	0,42	52,00	0,019	0,019
Raps	0,30	2,33	0,80	1,87	3,13	0,42	52,00	0,019	0,054
Remolacha	0,65	1,00	0,18	0,18	80,01	0,42	28,00	0,036	0,021
Tabaco	0,62	1,00	0,18	1,87	3,13	0,42	30,00	0,033	0,011
Leguminosas y tubérculos									
Poroto	0,40	1,50	0,90	1,35	1,63	0,42	53,00	0,019	0,033
Lenteja	0,37	1,70	0,91	1,55	0,69	0,42	54,00	0,019	0,020
Arveja	0,31	2,23	0,77	1,71	0,95	0,42	53,00	0,019	0,015
Garbanzo	0,35	1,86	0,92	1,71	0,92	0,42	53,00	0,019	0,012
Chícharo	0,35	1,86	0,89	1,65	0,95	0,42	53,00	0,019	0,030
Tubérculos									
Papa	0,72	0,39	0,12	0,05	19,62	0,42	26,00	0,038	0,021

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI con base en juicio de expertos.

Para el cálculo de la generación de residuos de cultivos se emplearon las siguientes ecuaciones:

Ecuación 5-13. 3.F.1. Cereales y otros cultivos: residuos de cultivos anuales generados anualmente.

$$Res = Prod \times Fact(Res)$$

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

Donde:

- Res = Residuos de cultivo generados anualmente (t ms año⁻¹),
- $Prod$ = Producción anual del cultivo (t ms año⁻¹),
- $Fact(Res)$ = Factor Residuos (fracción ms).

Ecuación 5-14. 3.F.1. Cereales y otros cultivos: producción anual de cultivos anuales.

$$Prod = Rend \times Sup$$

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

Donde:

- $Prod$ = Producción anual (t ms año⁻¹),
- $Rend$ = Rendimiento del cultivo (t ms ha año⁻¹),
- Sup = Superficie anual cultivada (ha año⁻¹).

Ecuación 5-15. 3.F.1. Cereales y otros cultivos: factor residuos de cultivos anuales.

$$Fact(Res) = ((1 - IC) \div IC) \times Frac(MS)$$

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

Donde:

- $Fact(Res)$ = Factor Residuos (fracción ms),
- IC = Índice de Cosecha,
- $Frac(MS)$ = Fracción de materia seca de los residuos.

Ecuación 5-16. 3.F.1. Cereales y otros cultivos: residuos de forrajeras generados anualmente.

$$Res = Prod \times Fact(Res)$$

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

Donde:

- Res = Residuos de cultivo generados anualmente (t ms año⁻¹),
- $Prod$ = Producción anual de materia seca (t ms año⁻¹),
- $Fact(Res)$ = Factor Residuos (fracción ms).

Ecuación 5-17. 3.F.1. Cereales y otros cultivos: producción anual de materia seca en forrajeras.

$$Prod = Rend \times Sup$$

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

Donde:

- $Prod$ = Producción anual de materia seca (t ms año⁻¹),
- $Rend$ = Rendimiento anual del cultivo (t ms ha año⁻¹),
- Sup = Superficie anual cultivada (ha año⁻¹).

Ecuación 5-18. 3.F.1. Cereales y otros cultivos: factor residuos de forrajeras.

$$Fact(Res) = Rend \times Declive + Intercept$$

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

Donde:

- $Fact(Res)$ = Factor Residuos (fracción ms),
- $Rend$ = Rendimiento anual del cultivo (t ms ha año⁻¹),

- *Declive* = Parámetro desconocido proveniente de las *Directrices IPCC de 2006*,
- *Intercept* = Parámetro desconocido proveniente de las *Directrices IPCC de 2006*.

A continuación, se presentan los criterios elaborados por juicio de expertos para determinar la distribución de los residuos agrícolas según destino final, por cultivo o rubro.

Tabla 5-93. 3.F.1. Cereales y otros cultivos: asignación de los destinos finales de los residuos vegetales de cultivos anuales, por cultivo.

Cultivo	Consumo animal in situ		Enfarda		Incorporación al suelo		Quema in-situ	
	1990	2020	1990	2020	1990	2020	1990	2020
Cultivos industriales principales								
Lupino australiano, l. amargo y l. dulce	0%	0%	0%	0%	100%	100%	0%	0%
Raps	0%	0%	0%	0%	100%	100%	0%	0%
Remolacha	80%	80%	0%	0%	20%	20%	0%	0%
Tabaco	0%	0%	0%	0%	100%	100%	0%	0%
Cultivos de cereales								
Arroz	10%	1%	10%	19%	48%	68%	32%	12%
Avena	10%	1%	10%	20%	48%	68%	32%	12%
Cebada cervecera y forrajera	10%	1%	10%	19%	48%	68%	32%	12%
Maíz	5%	5%	0%	0%	95%	95%	0%	0%
Trigo blanco y candeal	10%	1%	10%	19%	48%	68%	32%	12%
Triticale	10%	1%	10%	19%	48%	68%	32%	12%
Leguminosas y tubérculos								
Papa	0%	0%	0%	0%	100%	100%	0%	0%
Poroto consumo interno y exportación	30%	30%	40%	40%	30%	30%	0%	0%

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI con base en juicio de expertos.

5.6.5.3.2 Factores de emisión

Los factores de emisión de GEI corresponden a valores por defecto de acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006* (Tabla 5-94).

Tabla 5-94. 3.F.1. Cereales y otros cultivos: factores de emisión por defectos aplicados para emisiones no CO₂ por quema de biomasa en Tierras de cultivo.

Parámetro/Factor de emisión	Valor	Unidad
Factor de emisión de CH ₄	2,7	g CH ₄ (kg ms biomasa) ⁻¹
Factor de emisión de N ₂ O	0,07	g N ₂ O (kg ms biomasa) ⁻¹
Factor de combustión	0,9	Sin unidad

Fuente: Cuadro 2.5; Capítulo 2; Volumen 4; *Directrices del IPCC de 2006*.

5.6.5.4 Incertidumbre

La incertidumbre combinada de esta subcategoría ha sido estimada para CH₄ y N₂O de forma separada y por cada componente. Un resumen de los resultados de la incertidumbre combinada se presenta en la Tabla 5-95.

Tabla 5-95. 3.F.1. Cereales y otros cultivos: resumen de la incertidumbre combinada 2020.

Código IPCC	Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero	Gases	Incertidumbre en los datos de actividad		Incertidumbre en el factor de emisión		Incertidumbre combinada	
			(-)%	(+)%	(-)%	(+)%	(-)%	(+)%
3.F.1.	Cereales y otros cultivos	CH ₄	50%	50%	50%	30%	71%	59%
3.F.1.	Cereales y otros cultivos	N ₂ O	50%	50%	50%	30%	71%	59%

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

5.6.5.5 Consistencia de la serie temporal

Dado que se realizaron mejoras al incorporar datos de actividad de quema de biomasa de cultivos para 2008-2020, y para mantener la consistencia en la serie temporal, es que, se realizó una estimación porcentual de la quema de residuos para la serie 1990-2007. La estimación porcentual obtenida, tiene directa relación con la superficie del tipo de cultivo, su rendimiento, sumado al juicio experto y los datos de actividad entregados por CONAF. Con todo lo anterior es que se pudo completar la serie temporal, sumado a que se realizó una interpolación lineal sobre los porcentajes obtenidos y con ello poder obtener la cantidad de quema de residuos para toda la serie.

5.6.5.6 Procedimiento de garantía y control de la calidad y verificación

5.6.5.6.1 Control de la calidad

Durante la actualización del ISGEI de Agricultura se han aplicado las recomendaciones de control de calidad de las *Directrices del IPCC de 2006* para la subcategoría y las actividades propias del Equipo Técnico de Agricultura. Todas estas actividades están listadas y documentadas dentro del SRT del SNICHILE, correspondiente al libro de cálculo *2022_SGCC_3AGRI*. Algunas de estas actividades rutinarias para el control de la calidad son las siguientes:

Gestión de los datos de actividad estadísticos:

- Los datos de actividad estadísticos fueron ingresados a las planillas de forma semiautomática, directamente desde su fuente de origen, evitando errores asociados a la transcripción manual.
- Los totales nacionales de los datos de actividad fueron confeccionados por la suma de los totales regionales, realizando un chequeo cruzado para comprobar que no exista diferencia entre ellos.

Gestión de factores de emisión, factores de conversión y constantes:

- Todos los principales datos paramétricos se encuentran compilados en una sola planilla denominada "FE_DA_Agricola_2021", que está vinculada a las hojas de trabajo. Esto permite que esté centralizada la información para una rápida revisión y actualización cuando corresponda.

Gestión de las hojas de trabajo:

- Todas las hojas de trabajo están vinculadas automáticamente a las hojas de datos de actividad y factores de emisión.
- En las hojas de trabajo los valores de nivel país fueron generados tanto por la suma de los valores regionales, como por el ingreso directo a las planillas de los valores nacionales, no debiendo existir diferencia alguna entre ambas derivaciones. De esta forma, en cada planilla

de trabajo se cuenta con tres cuadros de datos país: país por suma de regiones, país por datos nacionales directamente ingresados y país por la diferencia entre los dos cuadros anteriores, que debe dar cero (sin diferencia alguna entre los primeros dos cuadros).

Revisión interna:

- Para asegurar que los datos fueran reales, completos y consistentes, se efectuó una verificación cruzada de la información con otras fuentes y con datos utilizados en actualizaciones de años anteriores.
- Se realizó una revisión de las planillas de cálculo y hojas de trabajo por parte de revisores internos del proceso de actualización en cada institución que forma parte del Equipo Técnico de Agricultura.

5.6.5.6.2 Garantía de la calidad

Previo a la actualización del sector *Agricultura*, el Equipo Técnico de Agricultura ha desarrollado un análisis de la inclusión de las recomendaciones levantadas durante la revisión externa, tanto del ISGEI de AFOLU como del INGEI de Chile, para evaluar la factibilidad de su aplicación. Las recomendaciones realizadas por los revisores expertos han sido listadas y documentadas dentro del SRT del SNICHILE, correspondiente al libro de cálculo *2022_SGCC_3AGRI*.

5.6.5.6.3 Verificación

Por el momento no se cuenta con datos de otras fuentes (nacionales o internacionales) con los cuales se pueda comparar los resultados.

5.6.5.7 Nuevos cálculos

5.6.5.7.1 Justificaciones de los nuevos cálculos y mejoras

Para esta subcategoría se realizaron mejoras metodológicas y de los datos de actividad al incorporar datos de actividad actualizados de quema de biomasa de cultivos entregadas por CONAF para los años 2008-2020. Estos datos enlistan las hectáreas por cultivo y año, para las cuales se obtuvieron permisos de quema.

5.6.5.7.2 Implicaciones para los niveles de emisión

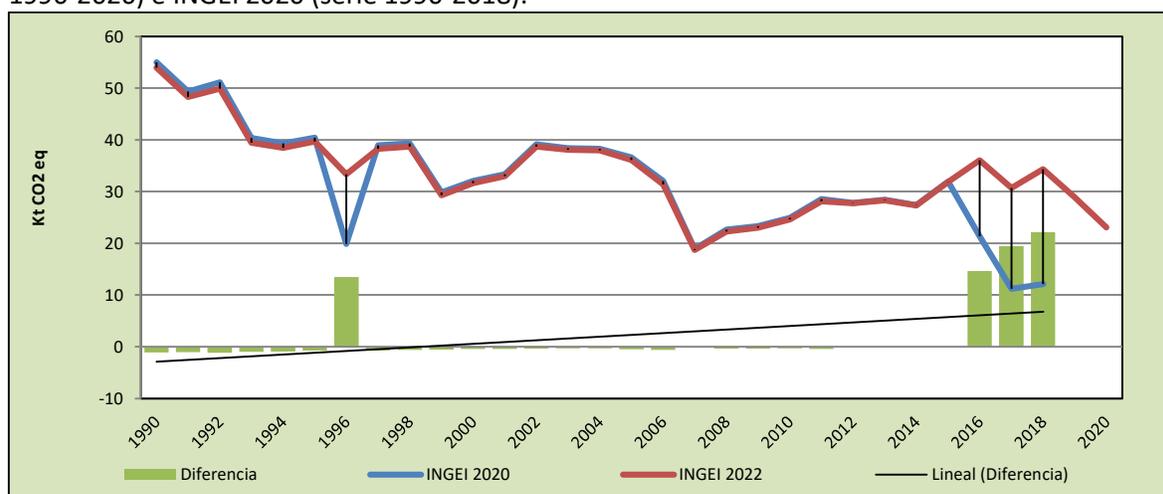
En la Tabla 5-96 y Figura 5-34 se observa cómo variaron las emisiones de GEI de esta subcategoría respecto del inventario anterior (INGEI 2020). La diferencia se debe principalmente al ajuste de los datos de actividad. Esto generó un aumento de las emisiones de GEI de la subcategoría, principalmente en los últimos años de la serie 1990-2020, en más de un 50%, debido a la actualización de la información de datos de actividad.

Tabla 5-96. 3.F.1. Cereales: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI 2022 (serie 1990-2020) e INGEI 2020 (serie 1990-2018).

INGEI	1990	2000	2010	2013	2016	2017	2018	2019	2020
INGEI 2020	55,1	32,1	24,9	28,4	21,4	11,3	12,1		
INGEI 2022	54,0	31,6	24,6	28,3	36,0	30,7	34,3	28,9	23,1
Diferencia	-1,1	-0,5	-0,3	-0,1	14,7	19,5	22,2		
Diferencia %	-2,0%	-1,4%	-1,3%	-0,4%	40,7%	63,4%	64,6%		

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI con base en INGEI 2020 e INGEI 2022.

Figura 5-34. 3.F.1. Cereales: comparación entre emisiones de CH₄ (kt CO₂ eq) del INGEI 2022 (serie 1990-2020) e INGEI 2020 (serie 1990-2018).



Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI con base en INGEI 2020 e INGEI 2022.

5.6.5.8 Plan de mejoramiento

Sería deseable estimar de manera más precisa el volumen de nitrógeno incorporado al suelo por parte de las actividades agrícolas. Los destinos de residuos enfardo y consumo animal en campo, se podrían mejorar considerando juicios expertos regionales.

5.6.6 Frutícolas (3.F.2.)

5.6.6.1 Descripción de la subcategoría

Esta categoría incluye las emisiones de N₂O y CH₄ generadas por la quema de residuos agrícolas en huertos frutales.

En el contexto nacional, se incluyen al INGEI de Chile diversas especies frutales agrupadas en los siguientes componentes:

- Frutales mayores caducifolios;
- Frutales mayores perennifolios;
- Frutales menores;
- Viñas y parronales

5.6.6.2 Tendencia de las emisiones de GEI

En 2020, las emisiones de GEI de esta subcategoría contabilizaron 22,6 kt CO₂ eq (representando el 49,5 % de las emisiones de GEI de la categoría), disminuyendo en un 63,8 % desde 1990 y aumentando en un 1,6 % desde 2018. El principal causante de la tendencia y las variaciones interanuales es la prohibición y control existente sobre la quema de residuos, lo que ha generado cambios en la disposición final de estos residuos.

5.6.6.3 Aspectos metodológicos de la subcategoría

Para la estimación de las emisiones de GEI de esta subcategoría se aplicó un método Nivel 1 para todas sus componentes, mediante datos de actividad desagregados por regiones administrativas y factores de emisión por defecto. En la Tabla 5-97 se observa un resumen de los métodos aplicados por categoría y por tipo de GEI.

Tabla 5-97. 3.F.2. Frutícolas: métodos aplicados por tipo de cultivo.

Código IPCC	Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero	CO ₂		CH ₄		N ₂ O	
		Método aplicado	Factor de emisión	Método aplicado	Factor de emisión	Método aplicado	Factor de emisión
3.F.2.	Frutícolas			T1	D	T1	D

T1 = Nivel 1; D = Por defecto

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

Para determinar las emisiones de GEI se aplicó una metodología país específica, pues se desarrolló una desagregación a nivel regional y una desagregación por componente operacional, que consistió en la utilización de criterio experto para determinar la fracción de los residuos que se destinan a la quema en el campo.

El cálculo de las emisiones para esta subcategoría se realizó a través de libros de cálculo elaborados por el Equipo Técnico de Agricultura con base en las hojas de cálculo de las *Directrices del IPCC de 2006*.

Ecuación 5-19. 3.F.2. Frutícolas: Estimación de emisiones de gases de efecto invernadero a causa del fuego.

$$L_{quema} = A \times M_B \times C_f \times G_{ef} \times 10^{-3}$$

Fuente: Ecuación 2.27; Capítulo 2; Volumen 4; *Directrices del IPCC de 2006*.

- L_{quema} = Cantidad de gases de efecto invernadero provocado por el fuego, t de GEI
- A = Superficie quemada, ha
- M_B = Masa de combustible disponible para la combustión, t ha⁻¹
- C_f = Factor de combustión, sin dimensión
- G_{ef} = Factor de emisión, g kg⁻¹ de materia seca quemada.

Datos de actividad estadísticos y paramétricos

Los datos paramétricos necesarios fueron una combinación de valores por defecto de las *Directrices del IPCC de 2006*, valores nacionales de CONAF y juicio de expertos. Se aplicaron los mismos datos estadísticos ocupados en la categoría de Cereales.

Los datos de actividad estadísticos empleados para obtener la asignación de residuos agrícolas según destino final son datos de superficie cultivada por rendimiento y factor de residuos por cultivo.

Para el cálculo de la generación de residuos de cultivos se emplearon las siguientes ecuaciones:

Ecuación 5-20. 3.F.2. Frutícolas: residuos generados anualmente

$$Res = Prod \times Fact(Res)$$

Donde:

- *Res* = Residuos de cultivo generados anualmente (t ms año⁻¹),
- *Prod* = Producción anual del cultivo (t ms año⁻¹),
- *Fact(Res)* = Factor Residuos (fracción ms).

Ecuación 5-21. 3.F.2. Frutícolas: producción anual.

$$Prod = Rend \times Sup$$

Donde:

- *Prod* = Producción anual (t ms año⁻¹),
- *Rend* = Rendimiento del cultivo (t ms ha año⁻¹),
- *Sup* = Superficie anual cultivada (ha año⁻¹).

Ecuación 5-22. 3.F.2. Frutícolas: factor residuos

$$Fact(Res) = ((1 - IC) \div IC) \times Frac(MS)$$

Donde:

- *Fact(Res)* = Factor Residuos (fracción ms),
- *IC* = Índice de Cosecha,
- *Frac(MS)* = Fracción de materia seca de los residuos.

A continuación, se presentan los criterios elaborados por juicio de expertos para determinar la distribución de los residuos agrícolas según destino final, por cultivo o rubro.

Tabla 5-98. 3.F.2. Frutícolas: asignación de los destinos finales de los residuos vegetales.

Cultivo	Leña		Quema en campo		Incorporación al suelo	
	Restos de poda	Biomasa por renovación del huerto	Restos de poda	Biomasa por renovación del huerto	Restos de poda	Biomasa por renovación del huerto
Frutales Mayores Caducifolios						
Almendro	25%	30%	10%	5%	65%	65%
Cerezo	10%	15%	3%	5%	87%	80%
Ciruelo europeo	35%	40%	10%	5%	55%	55%
Ciruelo japonés	35%	40%	20%	15%	45%	45%
Duraznero consumo fresco	25%	30%	10%	5%	65%	65%
Duraznero tipo conservero	25%	30%	15%	5%	60%	65%
Kiwi	10%	15%	10%	5%	80%	80%
Manzano rojo	40%	45%	10%	5%	50%	50%
Manzano verde	50%	55%	10%	5%	40%	40%
Nectarino	25%	30%	10%	5%	65%	65%
Nogal	60%	65%	10%	5%	30%	30%
Peral	40%	45%	10%	5%	50%	50%

Cultivo	Leña		Quema en campo		Incorporación al suelo	
	Restos de poda	Biomasa por renovación del huerto	Restos de poda	Biomasa por renovación del huerto	Restos de poda	Biomasa por renovación del huerto
Frutales Mayores Perennifolios						
Limonero	10%	15%	10%	5%	80%	80%
Naranja	10%	15%	10%	5%	80%	80%
Olivo	10%	15%	10%	5%	80%	80%
Palto	10%	15%	10%	5%	80%	80%
Frutales Menores						
Arándano americano	0%	0%	10%	10%	90%	90%
Avellano	10%	10%	10%	10%	80%	80%
Frambuesa	0%	0%	10%	10%	90%	90%
Viñas y Parronales						
Vid de mesa	0%	5%	10%	5%	90%	90%
Vid pisquera	20%	25%	20%	15%	60%	60%
Vid vinífera	20%	25%	10%	5%	70%	70%

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI con base en juicio de expertos.

5.6.6.3.1 Factores de emisión

Los factores de emisión de GEI corresponden a valores por defecto de acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006* (Tabla 5-99).

Tabla 5-99. 3.F.2. Frutícolas: factores de emisión por defectos aplicados para emisiones no CO₂ por quema de biomasa en Tierras de cultivo.

Parámetro/Factor de emisión	Valor	Unidad
Factor de emisión de CH ₄	2,7	g CH ₄ (kg ms biomasa) ⁻¹
Factor de emisión de N ₂ O	0,07	g N ₂ O (kg ms biomasa) ⁻¹
Factor de combustión	0,9	Sin unidad

Fuente: Cuadro 2.5; Capítulo 2; Volumen 4; *Directrices del IPCC de 2006*.

5.6.6.4 Incertidumbre

La incertidumbre combinada de esta subcategoría para el 2020, ha sido estimada para el CH₄ y N₂O de cada componente. Un resumen de los resultados de la incertidumbre combinada se presenta en la Tabla 5-100.

Tabla 5-100. 3.F.2. Huertos frutales: resumen de la incertidumbre combinada 2020.

Código IPCC	Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero	Gas	Incertidumbre en los datos de actividad		Incertidumbre en el factor de emisión		Incertidumbre combinada	
			(-)%	(+)%	(-)%	(+)%	(-)%	(+)%
3.F.2.	Huertos frutales	CH ₄	50%	50%	50%	30%	71%	59%
3.F.2.	Huertos frutales	N ₂ O	50%	50%	50%	30%	71%	59%

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

5.6.6.5 Consistencia de la serie temporal

Dado que se realizaron mejoras al incorporar datos de actividad de quema de biomasa de cultivos para 2008-2020 (entregados por CONAF) y para mantener la consistencia en la serie temporal, es que, se realizó una estimación de la quema de residuos para 1990-2007. La estimación porcentual obtenida, tiene directa relación con la superficie del tipo de especie y su rendimiento. Esto fue complementado con juicio experto y los datos de actividad entregados por CONAF.

5.6.6.6 Procedimiento de garantía y control de la calidad y verificación

5.6.6.6.1 Control de la calidad

Durante la actualización del ISGEI de Agricultura se han aplicado las recomendaciones de control de calidad de las *Directrices del IPCC de 2006* para la subcategoría y las actividades propias del Equipo Técnico de Agricultura. Todas estas actividades están listadas y documentadas dentro del SRT del SNICHILE, correspondiente al libro de cálculo *2022_SGCC_3AGRI*. Algunas de estas actividades rutinarias para el control de la calidad son las siguientes:

Gestión de los datos de actividad estadísticos:

- Los datos de actividad estadísticos fueron ingresados a las planillas de forma semiautomática, directamente desde su fuente de origen, evitando errores asociados a la transcripción manual.
- Los totales nacionales de los datos de actividad fueron confeccionados por la suma de los totales regionales, realizando un chequeo cruzado para comprobar que no exista diferencia entre ellos.

Gestión de factores de emisión, factores de conversión y constantes:

- Todos los principales datos paramétricos se encuentran compilados en una sola planilla denominada "FE_DA_Agricola_2021", que está vinculada a las hojas de trabajo. Esto permite que esté centralizada la información para una rápida revisión y actualización cuando corresponda.

Gestión de las hojas de trabajo:

- Todas las hojas de trabajo están vinculadas automáticamente a las hojas de datos de actividad y factores de emisión.
- En las hojas de trabajo los valores de nivel país fueron generados tanto por la suma de los valores regionales, como por el ingreso directo a las planillas de los valores nacionales, no debiendo existir diferencia alguna entre ambas derivaciones. De esta forma, en cada planilla de trabajo se cuenta con tres cuadros de datos país: país por suma de regiones, país por datos nacionales directamente ingresados y país por la diferencia entre los dos cuadros anteriores, que debe dar cero (sin diferencia alguna entre los primeros dos cuadros).

Revisión interna:

- Para asegurar que los datos fueran reales, completos y consistentes, se efectuó una verificación cruzada de la información con otras fuentes y con datos utilizados en actualizaciones de años anteriores.
- Se realizó una revisión de las planillas de cálculo y hojas de trabajo por parte de revisores internos del proceso de actualización en cada institución que forma parte del Equipo Técnico de Agricultura.

5.6.6.6.2 Garantía de la calidad

Previo a la actualización del sector *Agricultura*, el Equipo Técnico de Agricultura ha desarrollado un análisis de la inclusión de las recomendaciones levantadas durante la revisión externa, tanto del ISGEI de AFOLU como del INGEI de Chile, para evaluar la factibilidad de su aplicación. Las recomendaciones realizadas por los revisores expertos han sido listadas y documentadas dentro del SRT del SNICHILE, correspondiente al libro de cálculo 2022_SGCC_3AGRI.

5.6.6.6.3 Verificación

Hasta donde fue factible, los datos paramétricos de distribución en campo fueron validados por medio de consultas a expertos INIA en las distintas regiones.

5.6.6.7 Nuevos cálculos

5.6.6.7.1 Justificaciones de los nuevos cálculos y mejoras

Para esta subcategoría se realizaron mejoras metodológicas y datos de actividad al incorporar datos de actividad de quema de biomasa de cultivos de huertos frutales para 2008-2020, provistos por CONAF, en base a solicitudes de permisos de quema. Se confía en que los datos entregados describen con una gran certeza la mayoría de la quema que se efectúa.

5.6.6.7.2 Implicaciones para los niveles de emisión

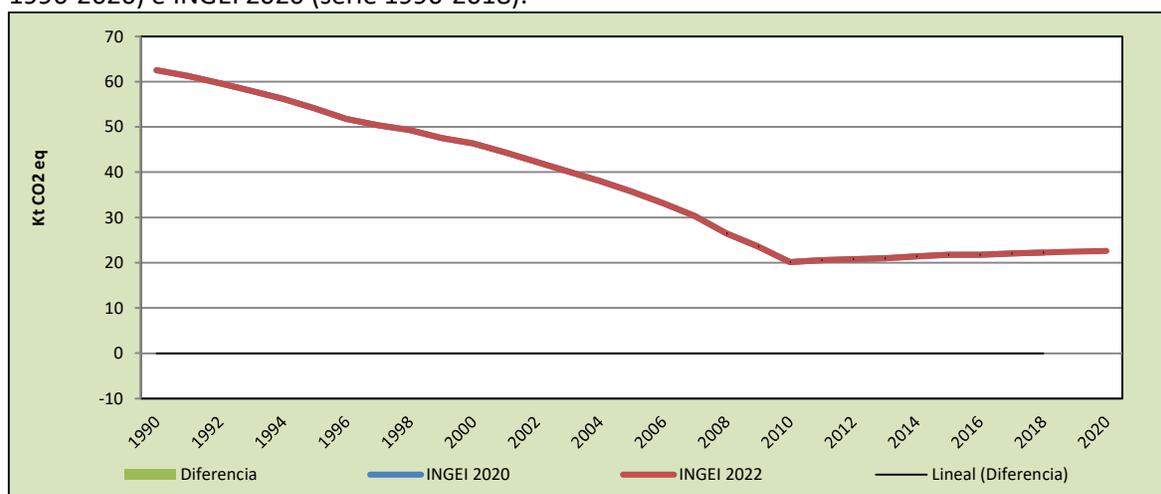
En la Tabla 5-1010 y Figura 5-35 se observa cómo variaron las emisiones de GEI de esta subcategoría respecto del inventario anterior (INGEI 2020). La diferencia se debe principalmente al ajuste de los datos de actividad, actualizados por CONAF.

Tabla 5-101. 3.F.2. Frutícolas: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI 2022 (serie 1990-2020) e INGEI 2020 (serie 1990-2018).

INGEI	1990	2000	2010	2013	2016	2017	2018	2019	2020
INGEI 2020	62,5	46,4	20,1	20,9	21,8	22,0	22,3		
INGEI 2022	62,5	46,4	20,1	20,9	21,8	22,0	22,3	22,4	22,6
Diferencia	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
Diferencia %	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%		

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI con base en INGEI 2020 e INGEI 2022.

Figura 5-35. 3.F.2. Frutícolas: comparación entre emisiones de CH₄ (kt CO₂ eq) del INGEI 2022 (serie 1990-2020) e INGEI 2020 (serie 1990-2018).



Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI con base en INGEI 2020 e INGEI 2022.

5.6.6.8 Plan de mejoramiento

En respuesta al análisis propio del Equipo Técnico de Agricultura y a las recomendaciones de la revisión experta del INGEI de Chile, las mejoras planificadas del sector son las mismas que corresponde al componente de cereales de esta subcategoría.

5.7 Encalado (3.G.)

5.7.1 Descripción de la categoría

La categoría *Encalado* corresponde a las emisiones de CO₂ generadas por el uso de calcita y dolomita en los suelos agrícolas, así como en suelos de bosques gestionados o lagos, ya que 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 mejorar el pH de los suelos, incrementándolo, 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, sumado a los datos de importación proporcionados por el Servicio de Aduanas, pudiendo con ello generar una estimación sobre la cantidad de calcita y dolomita utilizados para fines agrícolas.

5.7.2 Tendencia de las emisiones de GEI

La categoría *Encalado* es la sexta categoría emisora de GEI del sector Agricultura, representando el 0,6 % de las emisiones de GEI del sector. En 2020, sus emisiones de GEI contabilizaron 67,6 kt CO₂ eq, incrementándose en un 119,4 % desde 1990 y disminuyendo en un 10 % desde 2018. 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

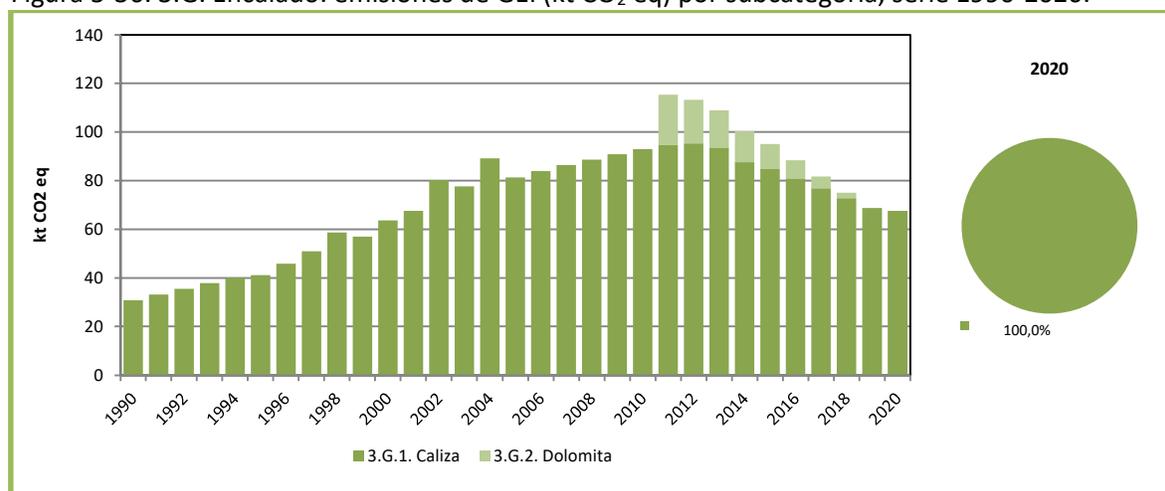
a que los suelos que han estado bajo un proceso de encalado en el pasado, han llegado a una situación de pH adecuado, requiriendo sólo dosis de mantención, lo que ha resultado en una menor demanda de materiales encalantes en el sector agropecuario, y por consiguiente, de su importación. Junto con ello, 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 100 % de la categoría en el año 2020.

Tabla 5-102. 3.G. Encalado: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por subcategoría, serie 1990-2020.

Subcategoría	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020
3.G.1. Caliza	30,8	63,6	92,9	93,6	80,9	72,8	67,6
3.G.2. Dolomita	0,0	0,0	0,0	15,3	7,5	2,3	0,0
Total	30,8	63,6	92,9	108,9	88,4	75,1	67,6

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

Figura 5-36. 3.G. Encalado: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por subcategoría, serie 1990-2020.



Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

5.7.3 Aspectos metodológicos de la categoría

Para la estimación de las emisiones de GEI de esta subcategoría se aplicó un método Nivel 1 para todas sus subcategorías, mediante datos de actividad desagregados por regiones administrativas y factores de emisión por defecto. En la Tabla 5-103 se observa un resumen de los métodos aplicados por categoría y por tipo de GEI.

Tabla 5-103. 3.G. Encalado: métodos aplicados por subcategoría.

Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero	CO ₂		CH ₄		N ₂ O	
	Método aplicado	Factor de emisión	Método aplicado	Factor de emisión	Método aplicado	Factor de emisión
3.G.1. Caliza	T1	D				
3.G.2. Dolomita	T1	D				

T1 = Nivel 1; D = Por defecto

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

El cálculo de las emisiones para esta subcategoría se realizó a través de libros de cálculo elaborados por el Equipo Técnico de Agricultura, con base en las hojas de cálculo de las *Directrices del IPCC de 2006*.

5.7.3.1 Datos de actividad de la categoría

Durante este proceso de actualización no se encontraron estadísticas oficiales del consumo de cal o dolomita. Para la estimación se empleó como información base, aquella obtenida y empleada en el inventario anterior (que fue obtenida vía comunicación personal con diferentes organismos y entidades que tenían información sobre la cantidad de uso de cal).

Tabla 5-104. 3.G. Encalado: consumo nacional anual de caliza (t) y dolomita (t) aplicado a los suelos agrícolas, serie 1990-2020.

Año	Valor (t)
1990	70.000,0
1991	75.300,0
1992	80.600,0
1993	85.900,0
1994	91.200,0
1995	93.300,0
1996	104.200,0
1997	115.800,0
1998	133.400,0
1999	129.300,0
2000	144.600,0
2001	153.500,0
2002	182.300,0
2003	176.500,0
2004	202.500,0
2005	184.833,4
2006	190.727,0
2007	196.300,8
2008	201.554,9
2009	206.489,3
2010	211.104,0
2011	258.499,0
2012	254.231,6
2013	244.923,2
2014	225.614,8
2015	214.306,4
2016	199.598,0
2017	184.889,6
2018	170.181,2
2019	156.136,0
2020	153.600,0

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

La desagregación regional del consumo de cal se basó en el juicio de expertos aplicado para elaborar el inventario anterior, y que fueron implementados al momento de elaborar el actual INGEI (Tabla 5-105).

Tabla 5-105. 3.G. Encalado: Distribución regional del consumo caliza y dolomita, según juicio experto.

Consumo (%)	Caliza	Dolomita
Región de Ñuble	5%	5%
Región de Biobío	5%	5%
Región de la Araucanía	30%	30%
Región de Los Ríos	29%	29%
Región de Los Lagos	31%	31%
Otras regiones	0%	0%

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI en base a juicio experto.

5.7.3.2 Factores de emisión

Para calcular las emisiones de CO₂ provenientes del *Encalado*, se utilizó el factor de emisión por defecto, proveniente de las *Directrices del IPCC de 2006*.

Tabla 5-106. 3.G. Encalado: Factores de emisión por defecto para caliza y dolomita.

Factor de emisión	Caliza (t C (t caliza)) ⁻¹	Dolomita (t de C (t dolomita)) ⁻¹
	0,12	0,13

Fuente: Capítulo 11; Volumen 4; *Directrices del IPCC de 2006*.

5.7.4 Incertidumbre

La incertidumbre combinada de esta subcategoría para el 2020, ha sido estimada para el CO₂. Un resumen de los resultados de la incertidumbre combinada se presenta en la Tabla 5-107.

Tabla 5-107. 3.G. Encalado: resumen de la incertidumbre combinada 2020.

Código o IPCC	Categoría del IPCC	Gas	Incertidumbre en los datos de actividad		Incertidumbre en el factor de emisión		Incertidumbre combinada	
			(-)%	(+)%	(-)%	(+)%	(-)%	(+)%
3.G.	Encalado	CO ₂	71%	71%	50%	50%	87%	87%

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

5.7.5 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. Para el caso de la dolomita se obtuvo información de la importación de este producto, solo para dos años (2011 y 2016), por lo cual para cubrir los años que se encuentra entre estos dos datos, se realizó una interpolación. Para los demás años de la serie (1990 al 2010), por decisión del Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI se optó por no realizar una extrapolación de los datos, ya que no se cuenta con información sobre la cantidad de importación o producción nacional de la dolomita para el uso agrícola.

5.7.6 Procedimientos de garantía y control de la calidad y verificación

5.7.6.1 Control de la calidad

Durante la actualización del ISGEI de Agricultura se han aplicado las recomendaciones de control de calidad de las *Directrices del IPCC de 2006* para la subcategoría y las actividades propias del Equipo Técnico de Agricultura. Todas estas actividades están listadas y documentadas dentro del SRT del SNICHILE, correspondiente al libro de cálculo *2022_SGCC_3AGRI*.

Gestión de los datos de actividad estadísticos:

- Los datos de actividad estadísticos fueron ingresados a las planillas de forma semiautomática, directamente desde su fuente de origen, evitando errores asociados a la transcripción manual.
- Los totales nacionales de los datos de actividad fueron confeccionados por la suma de los totales regionales, realizando un chequeo cruzado para comprobar que no exista diferencia entre ellos.

Gestión de factores de emisión, factores de conversión y constantes:

- Todos los principales datos paramétricos se encuentran compilados en una sola planilla denominada “FE_DA_Agricola_2021”, que está vinculada a las hojas de trabajo. Esto permite que esté centralizada la información para una rápida revisión y actualización cuando corresponda.

Gestión de las hojas de trabajo:

- Todas las hojas de trabajo están vinculadas automáticamente a las hojas de datos de actividad y factores de emisión.
- En las hojas de trabajo los valores de nivel país fueron generados tanto por la suma de los valores regionales, como por el ingreso directo a las planillas de los valores nacionales, no debiendo existir diferencia alguna entre ambas derivaciones. De esta forma, en cada planilla de trabajo se cuenta con tres cuadros de datos país: país por suma de regiones, país por datos nacionales directamente ingresados y país por la diferencia entre los dos cuadros anteriores, que debe dar cero (sin diferencia alguna entre los primeros dos cuadros).

Revisión interna:

- Para asegurar que los datos fueran reales, completos y consistentes, se efectuó una verificación cruzada de la información con otras fuentes y con datos utilizados en actualizaciones de años anteriores.
- Se realizó una revisión de las planillas de cálculo y hojas de trabajo por parte de revisores internos del proceso de actualización en cada institución que forma parte del Equipo Técnico de Agricultura.

5.7.6.2 Garantía de la calidad

Previo a la actualización del sector *Agricultura*, el Equipo Técnico de Agricultura ha desarrollado un análisis de la inclusión de las recomendaciones levantadas durante la revisión externa, tanto del ISGEI de Agricultura como del INGEI de Chile, para evaluar la factibilidad de su aplicación. Las recomendaciones realizadas por los revisores expertos han sido listadas y documentadas dentro del SRT del SNICHILE, correspondiente al libro de cálculo *2022_SGCC_3AGRI*.

5.7.6.3 Verificación

No se realizaron procedimientos de verificación.

5.7.7 Nuevos cálculos

5.7.7.1 Justificaciones de los nuevos cálculos y mejoras

No se realizaron ajustes o cambios a las estimaciones.

5.7.8 Plan de mejoramiento

Pese a que el encalado no es una categoría principal, se reconoce la necesidad de contar con mejor información del consumo de cal en suelos agrícolas, desagregado por tipo de enmienda, región y tipo de cultivos. Esto dependerá de la información que pueda reportar ODEPA.

5.8 Aplicación de urea (3.H.)

5.8.1 Descripción de la categoría

La categoría “*Aplicación de urea*” tiene relación con la generación de emisiones de CO₂ producto de la aplicación de urea a los suelos cultivados. El agregado de urea a los suelos durante la fertilización conduce a una pérdida de CO₂ que se fija en el proceso de producción industrial. La urea (CO(NH₂)₂) se convierte en amonio (NH₄⁺), ión hidroxilo (OH⁻), y bicarbonato (HCO₃⁻) en presencia de agua y de enzimas ureasa. De manera similar a la reacción del suelo cuando se le agrega cal, el bicarbonato que se forma se convierte en CO₂ y agua.

Como resultado del cálculo de las emisiones de CO₂ generadas por el uso de urea en los suelos agrícolas. En el contexto nacional, la urea es el principal fertilizante usado en el sector agrícola con una fuerte alza de su demanda en el tiempo.

5.8.2 Tendencia de las emisiones de GEI

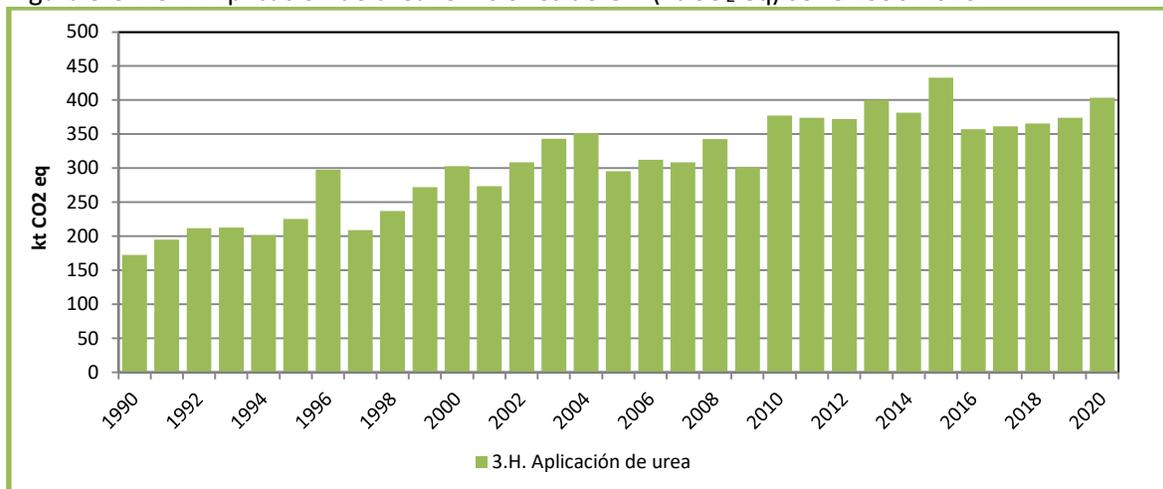
La categoría *Aplicación de urea* es la cuarta categoría emisora de GEI del sector *Agricultura*, representando el 3,3 % de las emisiones de GEI del sector. En 2020, sus emisiones de GEI contabilizaron 403,3 kt CO₂ eq, incrementándose en un 133,6 % desde 1990, y en un 10,3 % desde 2018. El principal 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 5-108. 3.H. Aplicación de urea: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por subcategoría, serie 1990-2020.

Categoría	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020
3.H. Aplicación de urea	172,6	302,9	377,2	400,4	357,0	365,7	403,3
Total	172,6	302,9	377,2	400,4	357,0	365,7	403,3

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

Figura 5-37. 3.H. Aplicación de urea: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) serie 1990-2020.



Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

5.8.3 Aspectos metodológicos de la categoría

Para la estimación de las emisiones de GEI de esta subcategoría se aplicó un método Nivel 1 mediante datos de actividad desagregados por regiones administrativas y factores de emisión por defecto. En la Tabla 5-109 se observa un resumen de los métodos aplicados en la categoría por tipo de GEI.

Tabla 5-109. 3.H. Aplicación de urea: métodos aplicados por componente.

Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero	CO ₂		CH ₄		N ₂ O	
	Método aplicado	Factor de emisión	Método aplicado	Factor de emisión	Método aplicado	Factor de emisión
3.H. Aplicación de Urea	T1	D				

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

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

El cálculo de las emisiones para esta categoría se realizó a través de libros de cálculo elaborados por el Equipo Técnico de Agricultura, con base en las hojas de cálculo de las *Directrices del IPCC de 2006*. Para el cálculo se utilizó la siguiente ecuación:

Ecuación 5-23. 3.H. Emisiones anuales de CO₂ por aplicación de urea.

$$CO_2 - C_{Emisión} = M \times EF$$

Fuente: Ecuación 11.13; Capítulo 11; Volumen 4; *Directrices del IPCC de 2006*.

Donde:

- $CO_2 - C_{Emisión}$ = Emisiones anuales de C por aplicación de urea, t C año⁻¹
- M = Cantidad anual de fertilización con urea, y urea año⁻¹
- EF = Factor de emisión, t de C (t de urea)⁻¹

Luego es necesario multiplicar por 44/12 para convertir las emisiones de $CO_2 - C_{Emisión}$ en CO₂.

5.8.3.1 Datos de actividad de la categoría

Tal como lo indica las *Directrices del IPCC de 2006* para el cálculo de las emisiones de GEI de esta categoría debe contar, recopilar y obtener la mejor información disponible, es por ello, por lo que la información recopilada para esta categoría fueron las toneladas de urea que se aplican anualmente a las tierras de cultivo en el país, reportadas por ODEPA. La fuente provee datos de consumo aparente de urea a nivel nacional, es decir, la diferencia entre las importaciones y exportaciones de urea, ya que existe producción nacional de urea. ODEPA mantiene una base de datos de fertilizantes nitrogenados y urea, que es recopilada con información entregada por el Servicio Nacional de Aduana que aporta información sobre las importaciones y exportaciones de estos insumos. Los datos sobre importaciones y exportaciones (serie temporal 1990-2020) de urea en el país se encuentran disponibles en la siguiente página web de ODEPA (<http://www.odepa.gob.cl/avance-por-grupos-de-productos>). Para poder realizar la desagregación de la información obtenida de consumo aparente de urea a nivel regional, se utilizó la información de la superficie cultivada a nivel regional de acuerdo con del *Censo Agropecuario y Forestal 2007*. La desagregación de datos de urea se realizó de acuerdo con la distribución porcentual de la superficie cultivada. De esta forma, los consumos regionales fueron estimados en función 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 que se realizó con los datos del *Censo Agropecuario 2007*.

Tabla 5-110. 3.H. Aplicación de urea: Aporte regional de la superficie cultivada a la actividad agrícola nacional según el Censo Agropecuario y Forestal 2007.

Región	Superficie cultivada (ha)	Contribución regional a la actividad agrícola
Arica y Parinacota	6.621,32	0,4%
Tarapacá	2.634,36	0,2%
Antofagasta	1.728,51	0,1%
Atacama	18.912,62	1,1%
Coquimbo	144.950,51	8,5%
Valparaíso	92.215,56	5,4%
Metropolitana	139.739,68	8,2%
O'Higgins	222.129,89	13,0%
Maule	267.741,64	15,6%
Ñuble	133.661,96	7,8%
Biobío	127.097,24	7,4%
Araucanía	322.488,71	18,8%
Los Ríos	100.761,85	5,9%
Los Lagos	107.572,46	6,3%
Aysén	17.523,87	1,0%
Magallanes	6.751,15	0,4%
Total	1.712.531,33	100,0%

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

Tabla 5-111. 3.H. Aplicación de urea: Consumo nacional de urea (t) de acuerdo con ODEPA para la serie temporal 1990-2020.

Año	Consumo Nacional (t)
1990	235.404,5
1991	266.081,3
1992	288.921,7
1993	290.025,0
1994	274.920,0

Año	Consumo Nacional (t)
1995	307.056,3
1996	406.070,8
1997	284.820,6
1998	323.026,7
1999	371.288,8
2000	413.006,2
2001	372.808,9
2002	420.777,3
2003	467.980,6
2004	479.083,7
2005	402.564,9
2006	425.532,0
2007	420.885,4
2008	467.415,4
2009	410.882,0
2010	514.394,8
2011	509.790,6
2012	507.630,9
2013	545.966,2
2014	520.197,6
2015	590.476,0
2016	486.751,7
2017	492.481,5
2018	498.689,9
2019	510.145,7
2020	549.897,3

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI en base a datos de ODEPA y Servicio Nacional de Aduanas.

5.8.3.2 Factores de emisión

Para calcular las emisiones de CO₂ provenientes de la aplicación de urea a las tierras de cultivo, se utilizó el factor de emisión por defecto (nivel 1) que provee las *Directrices del IPCC de 2006*, el cual corresponde a 0,20 t C t⁻¹ urea para emisiones de carbono por aplicaciones de urea (Volumen 4, Capítulo 11, pág. 11.34).

5.8.4 Incertidumbre

La incertidumbre combinada de esta categoría para el 2020, ha sido estimada para el CO₂. Un resumen de los resultados de la incertidumbre combinada se presenta en la Tabla 5-112.

Tabla 5-112. 3.H. Aplicación de urea: resumen de la incertidumbre combinada 2020.

Código IPCC	Categoría del IPCC	Gas	Incertidumbre en los datos de actividad		Incertidumbre en el factor de emisión		Incertidumbre combinada	
			(-)%	(+)%	(-)%	(+)%	(-)%	(+)%
3.H.	Aplicación de urea	CO ₂	44%	44%	50%	50%	67%	67%

Fuente: Equipo Técnico de Agricultura del MINAGRI.

5.8.5 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. Cuando se realizaron cambios de actividad paramétrica o de factor de emisión, los nuevos cálculos realizados cubrieron la serie temporal completa.

5.8.6 Procedimientos de garantía y control de la calidad y verificación

5.8.6.1 Control de la calidad

Durante la actualización del ISGEI de Agricultura se han aplicado las recomendaciones de control de calidad de las *Directrices del IPCC de 2006* para la subcategoría y las actividades propias del Equipo Técnico de Agricultura. Todas estas actividades están listadas y documentadas dentro del SRT del SNICHILE, correspondiente al libro de cálculo *2022_SGCC_3AGRI*.

5.8.6.2 Garantía de la calidad

Previo a la actualización del sector Agricultura, el Equipo Técnico de Agricultura ha desarrollado un análisis de la inclusión de las recomendaciones levantadas durante la revisión externa, tanto del ISGEI de Agricultura como del INGEI de Chile, para evaluar la factibilidad de su aplicación. Las recomendaciones realizadas por los revisores expertos han sido listadas y documentadas dentro del SRT del SNICHILE, correspondiente al libro de cálculo *2022_SGCC_3AGRI*.

5.8.7 Verificación

Por el momento no se cuenta con datos de otras fuentes (nacionales o internacionales) con los cuales se pueda comparar los resultados.

5.8.8 Nuevos cálculos

5.8.8.1 Justificaciones de los nuevos cálculos y mejoras

No se realizaron ajustes o cambios a las estimaciones previas.

5.8.9 Plan de mejoramiento

La distribución del consumo nacional de urea de manera regionalizada contribuiría a la mejora de esta categoría. Adicionalmente, las mejoras sugeridas para la categoría 3D contribuirán a la mejora de esta categoría.

5.9 Otros fertilizantes que contienen carbono (3.I.)

En el contexto nacional, esta categoría no ocurre.

5.10 Otros (3.J.)

En el contexto nacional, esta categoría no aplica.

6 SECTOR USO DE LA TIERRA, CAMBIOS EN EL USO DE LA TIERRA Y SILVICULTURA (4)

6.1 Panorama general

6.1.1 Introducción

El sector Uso de la tierra, cambios en el uso de la tierra y silvicultura (UTCUTS) incluye las emisiones y absorciones de GEI generadas como resultado del uso, gestión y cambio de uso de la tierra gestionada. Chile reporta las emisiones y absorciones de los siguientes depósitos de carbono (Tabla 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),

Para las seis categorías de uso de acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006*:

- 4.A. Tierras forestales,
- 4.B. Tierras de cultivo,
- 4.C. Pastizales,
- 4.D. Humedales,
- 4.E. Asentamientos; y
- 4.F. Otras tierras

Se consideran los siguientes GEI:

- CO₂
- CH₄: de incendios y quemas
- N₂O: de incendios y quemas

Cada una de las categorías de uso de la tierra se subdivide en dos subcategorías, *Tierras que permanecen como tales* (4.A.1 – 4.F.1) y que son tierras que no experimentan cambios de uso y permanecen en su categoría; y *Tierras convertidas a otra categoría* (4.A.2 – 4.F.2), que son tierras que desde el momento de la conversión se informan en la categoría a la que se convirtieron durante un período de transición de 20 años.; después de 20 años se informan en la subcategoría como Tierras que permanecen como tal.

Tabla 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

Depósito	Descripción
	cuando no se las puede distinguir de esta última empíricamente. El valor por defecto para la profundidad del suelo es de 30 cm.

Fuente: Cuadro 1.1; Capítulo 1; Volumen 4; *Directrices del IPCC de 2006*

En el caso nacional, el territorio continental alcanza una superficie de 75,6 millones de hectáreas, y de acuerdo 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* (40 %), *Otras tierras* (28 %), *Tierras forestales* (24 %), *Tierras de cultivo* (4 %), *Humedales* (3 %), y los *Asentamientos* con un 1 % de la superficie total, pero con una tendencia creciente en la serie temporal (CONAF, 2021). La superficie insular del país alcanza una superficie de 26.320 ha y no están consideradas en la contabilidad del INGEI porque no se ha levantado información del uso de la tierra aún y, de acuerdo con lo informado por CONAF, se espera contar con esta información en la próxima actualización del INGEI. La Tabla 6-2 presenta los usos de la tierra para el territorio continental para algunos años de la serie temporal.

Tabla 6-2. Uso de la tierra, desagregada por tipo, con base en información de CONAF.

Uso de la Tierra	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020
Tierras Forestales	16.713.366	17.231.823	17.670.292	17.784.263	17.801.250	17.814.359	17.827.467
Tierras de Cultivo	3.681.548	3.447.924	3.290.255	3.257.061	3.212.606	3.183.267	3.153.928
Pastizales	31.347.435	30.950.308	30.572.234	30.466.210	30.480.188	30.487.270	30.494.352
Humedales	2.323.824	2.317.570	2.312.888	2.312.516	2.309.139	2.306.441	2.303.744
Asentamientos	491.304	626.714	744.581	774.722	792.929	807.969	823.009
Otras Tierras	21.044.575	21.027.714	21.011.804	21.007.281	21.005.941	21.002.748	20.999.554
Total	75.602.053						

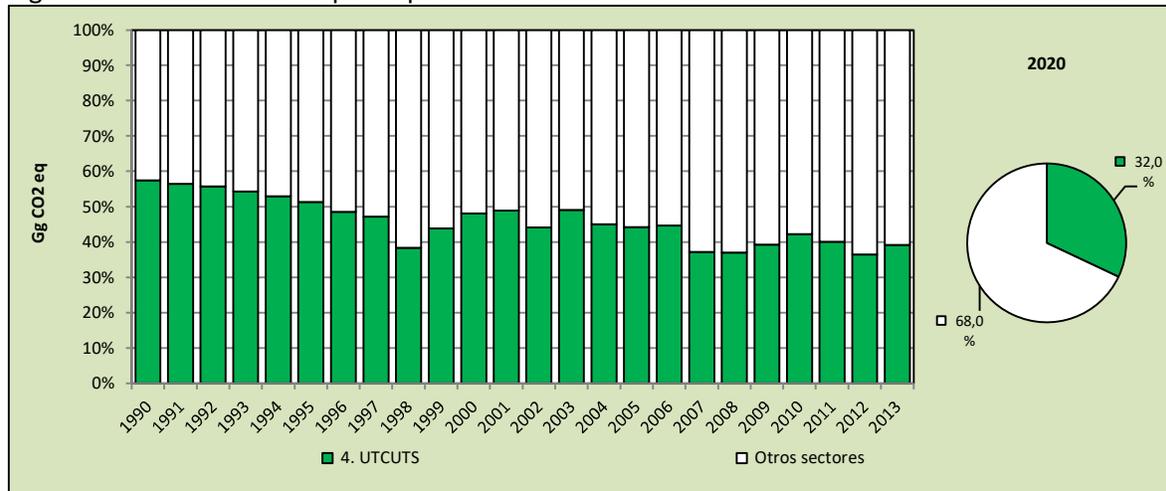
Fuente: Elaboración del Equipo Técnico de UTCUTS en base a CONAF (2019)

Es muy importante señalar que, a diferencia de los otros sectores del INGEI de Chile, las emisiones y absorciones de GEI de este sector se ven especialmente influenciadas por las condiciones climáticas del país, lo que se traduce en una mayor complejidad para realizar las estimaciones de GEI a lo largo de todo el país, ya que cada dato de actividad paramétrico debería ser el fiel reflejo de las condiciones climáticas específicas regionales. En respuesta a esta problemática, el sector *UTCUTS* es estimado a nivel regional y luego nacional para toda la serie temporal.

6.1.2 Tendencia de las emisiones de GEI

El sector *UTCUTS* es el único sector que consistentemente absorbe CO₂ en el país, convirtiéndolo en el sector más relevante en cuanto a su potencial de mitigación para el país. En 2020 el sector representó el 32,0 % en términos absolutos del balance de GEI del país (Figura 6-1).

Figura 6-1. Sector UTCUTS: participación del sector en el balance de GEI en términos absolutos.



Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

En 2020, el balance de GEI del sector contabilizó -49.727,4 kt CO₂ eq, disminuyendo su condición de sumidero en un 24,4 % desde 1990 y disminuyéndola en un 3,6 % desde 2018 (Tabla 6-3 y Figura 6-2). Respecto a las emisiones y absorciones de GEI en términos absolutos por categoría en el año 2020, el 79,9 % corresponde a *Tierras forestales*, seguida de un 10,3 % de *Productos de madera recolectada*, 6,8 % de *Pastizales*, 1,9 % de *Tierras de cultivo*, 0,6 % de *Otras tierras*, 0,5 % de *Asentamientos*, y, finalmente, 0,008% correspondiente a *Humedales*.

Las categorías de *Tierras forestales* y los *Productos de madera recolectada* se mantienen como los más importantes del sector. En el caso de las *Tierras forestales*, la tendencia a la disminución de la condición de sumidero desde el 2018 al 2020, se debe principalmente al aumento de la superficie de incendios que se produjo en el 2020 y por ende a las emisiones de estos, también se observa una disminución en la conversión de tierras a tierras forestales con tasas muy bajas de forestación. Además, por su importancia en el balance de UTCUTS, cualquier aumento o disminución de las emisiones o absorciones de *Tierras forestales* afecta significativamente a todo el sector, e incluso al balance general del INGEI de Chile. Un buen ejemplo de ello es el significativo aumento del balance en emisiones de GEI en 1998, 2002, 2015 y que en el 2017 tiene el mayor impacto, que fue consecuencia directa de las emisiones de GEI generadas por incendios forestales de bosque nativo y plantaciones forestales.

En el caso de los *Productos de madera recolectada*, si bien estos han aumentado su contribución en la serie temporal, se observa una disminución desde el 2018, en directa relación con una disminución en la producción de madera aserrada. La contribución de esta categoría se ve afectada por el mercado, y en la serie temporal el mayor impacto se ve en el 2009.

El resto de las categorías explican sus emisiones en los cambios de usos de la tierra durante la serie temporal. Los *Pastizales* presentan emisiones debido principalmente a la conversión de *Tierras forestales* a *Pastizales* las que, si bien han disminuido durante la serie temporal, presentan un leve aumento desde el año 2017 al 2020. Las *Tierras de cultivo* tienen emisiones asociadas a la conversión tanto de *Tierras forestales* como de *Pastizales*. La categoría *Otras tierras* registra emisiones asociadas a la conversión de tierras, donde las *Tierras forestales* convertidas a *Otras Tierras* es la que tiene mayor impacto en las emisiones. En el caso de *Asentamientos*, las emisiones

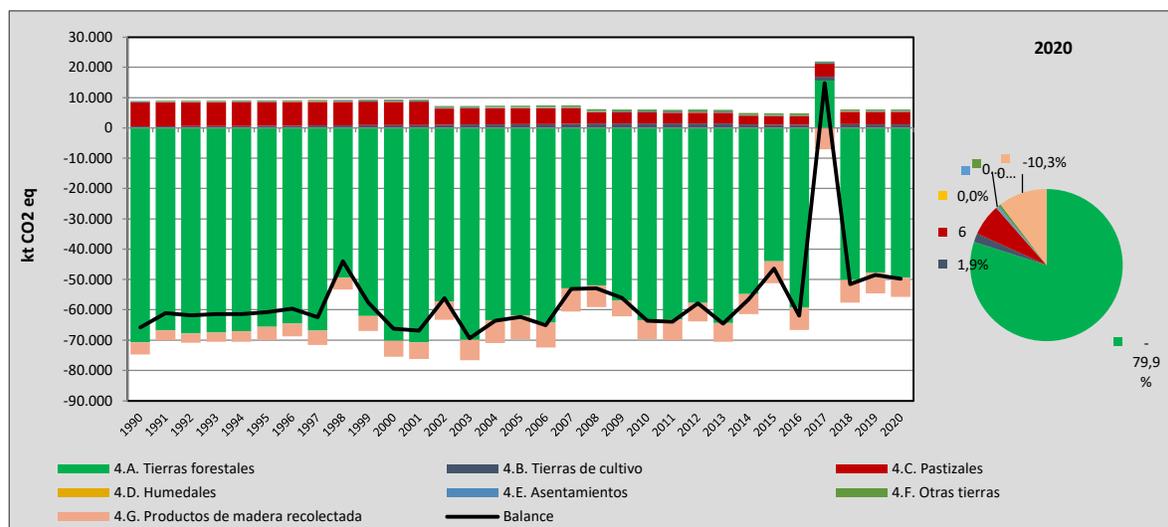
se asocian a la conversión de *Tierras Forestales*, *Tierras de Cultivo*, *Pastizales*, y *Humedales* a *Asentamientos*, relacionado directamente con el crecimiento poblacional y por ende de los asentamientos urbanos del país. Por último, la categoría de *Humedales* registra emisiones asociadas a la conversión de tierras, no obstante, ha disminuido notoriamente esta conversión y por tanto la emisión en los últimos años de la serie temporal.

Tabla 6-3. Sector UTCUTS: emisiones y absorciones de GEI (kt CO₂ eq) por categoría, serie 1990-2020

Categoría	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020
4.A. Tierras forestales	-70.820,8	-70.224,7	-63.467,5	-64.321,6	-59.290,4	-50.152,2	-49.430,2
4.B. Tierras de cultivo	474,7	929,1	1.488,3	1.487,8	1.039,8	1.212,5	1.164,1
4.C. Pastizales	7.975,9	7.705,5	3.591,8	3.536,7	2.920,0	4.174,3	4.201,3
4.D. Humedales	82,3	82,3	41,8	41,8	4,5	4,7	4,7
4.E. Asentamientos	220,6	286,4	336,4	325,5	249,8	310,2	304,6
4.F. Otras tierras	200,1	301,8	659,7	624,1	590,7	405,0	401,2
4.G. Productos de madera recolectada	-3.944,3	-5.300,0	-6.265,9	-6.219,5	-7.425,4	-7.533,7	-6.373,1
Balance	-65.811,6	-66.219,7	-63.615,5	-64.525,2	-61.910,9	-51.579,2	-49.727,4

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

Figura 6-2. Sector UTCUTS: emisiones y absorciones de GEI (kt CO₂ eq) por categoría, serie 1990-2020

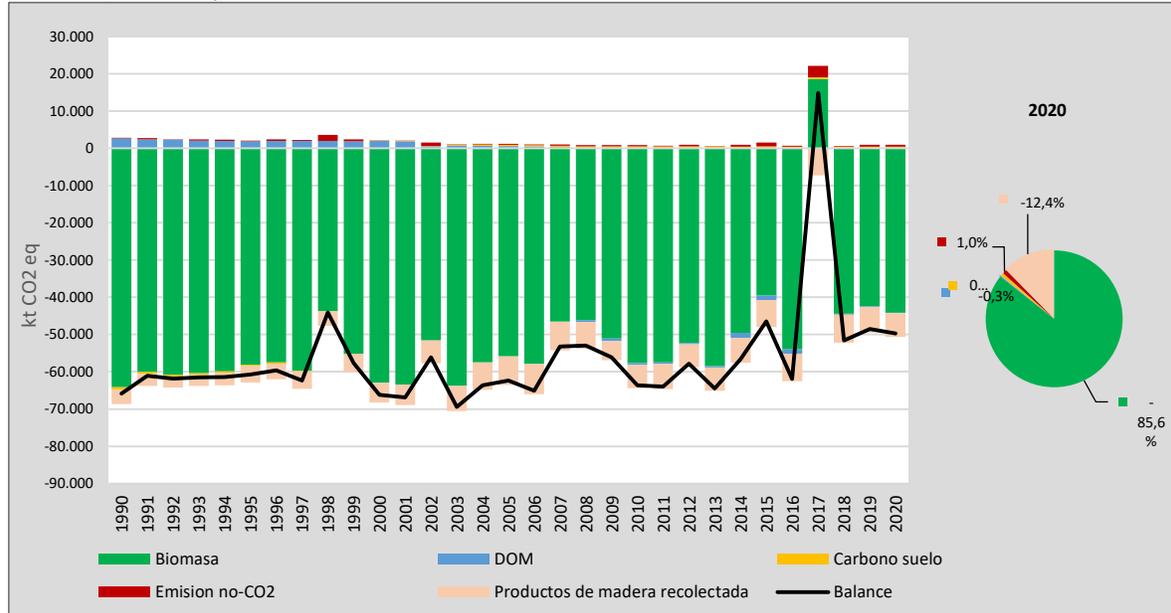


Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

En el caso de los depósitos de carbono, en 2020, el depósito de carbono de la biomasa tuvo una participación en las emisiones y absorciones del sector UTCUTS de un 85,6 %, seguido por los productos de madera recolectada con un 12,4 %, y la materia orgánica muerta tuvo una participación de 0,3 % (Figura 6-3). La biomasa y los productos de madera recolectada contribuyen con las absorciones netas en toda la serie temporal. Por otra parte, la materia orgánica muerta contribuye con las emisiones netas desde 1990 hasta el 2007 debido que las pérdidas de carbono de materia orgánica producto de la conversión de tierras forestales a otros usos de la tierra son mayores a las ganancias de carbono que se producen por la conversión de otros usos de la tierra a tierras forestales, esta tendencia se revierte a partir del 2008 con absorciones netas. En el caso del carbono del suelo, la contabilidad se realiza en las conversiones de tierra, y hay una tendencia a la absorción neta hasta el año 1999 y luego esta tendencia se revierte a la emisión neta, porque aumenta la conversión de tierras a *Tierras de cultivo*, principalmente desde *Tierras forestales* y

Pastizales lo que conlleva a una pérdida de carbono del suelo. Finalmente, también se pueden ver las emisiones de gases no-CO₂, destacándose con mayores emisiones los años 1998, 2002, 2015 y 2017 por la superficie de incendios que fue afectada en esos años.

Figura 6-3. Sector UTCUTS: emisiones y absorciones por tipo de depósitos de carbono y emisiones no-CO₂ (kt CO₂ eq), serie 1990-2020



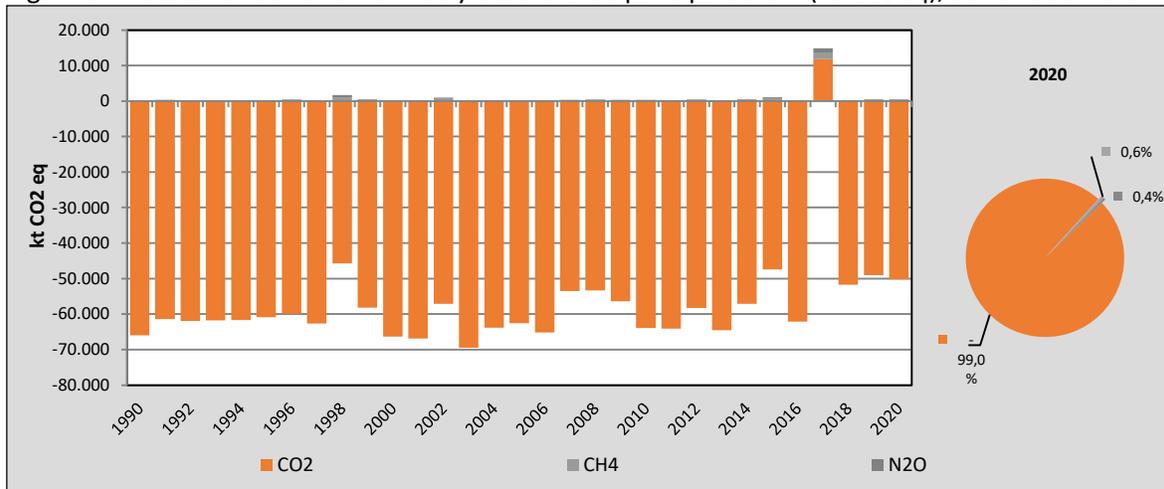
Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

En 2018, el principal GEI de las emisiones y absorciones en términos absolutos fue el CO₂, representando un 99,7 % del sector. Lo sigue el CH₄ con un 0,2 % y el N₂O con un 0,1 % (Tabla 6-4 y Figura 6-4).

Tabla 6-4. Sector UTCUTS: emisiones y absorciones por tipo de GEI (kt CO₂ eq), serie 1990-2020

GEI	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020
CO ₂	-66.033,1	-66.304,7	-63.923,6	-64.582,8	-62.105,9	-51.740,3	-50.249,5
CH ₄	131,7	50,0	182,0	33,4	114,9	94,8	309,4
N ₂ O	89,8	35,0	126,1	24,2	80,2	66,3	212,7
Balance	-65.811,6	-66.219,7	-63.615,5	-64.525,2	-61.910,9	-51.579,2	-49.727,4

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

Figura 6-4. Sector UTCUTS: emisiones y absorciones por tipo de GEI (kt CO₂ eq), serie 1990-2020

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

Nuevos cálculos

Se realizaron nuevos cálculos del sector UTCUTS debido a cambios en factores de emisión que reflejan de mejor forma los datos país y algunos ajustes en los datos de actividad.

En el caso de los factores de emisión, hay cambios en los crecimientos de plantaciones forestales de *Pinus radiata* y *Eucalyptus sp.*, los que fueron actualizados porque las empresas contaron con más 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 que provocan una disminución del crecimiento de *Eucalyptus sp.*

Se actualizó la información de crecimiento de bosque nativo que proviene del Inventario Forestal Nacional (IFN) incorporando los datos comprendidos en el levantamiento de línea base (2001-2010) y de los dos ciclos de monitoreo (2011-2018), de esta forma se cuenta con mayor robustez, al considerar el empleo de una muestra de mayor tamaño en relación con la utilizada en los inventarios de GEI previos. Además, se ha incorporado la información de materia orgánica muerta (hojarasca) de plantaciones forestales, ya que existe información específica del país.

Otro cambio corresponde a cambios en los factores de pérdida de biomasa por incendios y factor de combustión en incendios de plantaciones, incorporando información específica del país.

En el caso de los datos de actividad, se realizó una revisión de la superficie de bosque nativo con planes de manejo en la serie histórica, detectando superficies que estaban duplicadas en años consecutivos, se depuró la información provocando una disminución de la superficie en la serie temporal. También hubo cambios en la matriz de cambios de usos de la tierra que afectó a todas las categorías de tierras. Los detalles de los nuevos cálculos de cada categoría de tierras se pueden ver en detalle en las secciones respectivas.

En la Tabla 6-5 y Figura 6-5Figura 6-20 se observa cómo variaron las emisiones de CO₂ de este sector respecto del inventario anterior (INGEI 4IBA). Se generó una disminución del balance de CO₂ del sector en un promedio de 7.717,3 kt CO₂ eq anuales durante la serie 1990-2018. De este valor promedio de nuevo cálculo de la serie temporal, el cambio en el crecimiento de las plantaciones

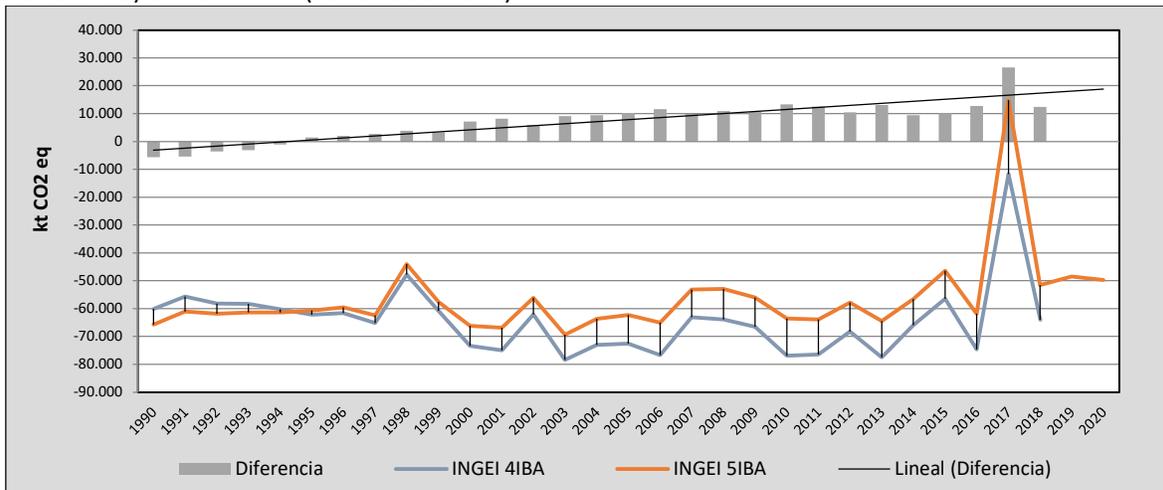
tiene una mayor influencia con 28 % de participación, seguido por el cambio en la superficie de bosque nativo con plan de manejo con 21 %, incorporación de materia orgánica de plantaciones con 15,1 %, cambios en la matriz de cambio de usos de la tierra con 14,9 %, cambio en los crecimientos de bosque nativo con 13 % y cambios en factores de pérdida y factor de combustión de incendios con un 6 % entre los más importantes cambios.

Tabla 6-5. Sector UTCUTS: comparación entre el balance de CO₂ (kt CO₂ eq) del INGEI 5IBA (serie 1990-2020) e INGEI 4IBA (serie 1990-2018)

INGEI	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020
INGEI 4IBA	-60.152,6	-73.364,3	-76.966,4	-77.561,5	-74.697,9	-63.991,9	-
INGEI 5IBA	-65.811,6	-66.219,7	-63.615,5	-64.525,2	-61.910,9	-51.579,2	-49.727,4
Diferencia	-5.658,9	7.144,6	13.350,9	13.036,3	12.786,9	12.412,7	-49.727,4
Diferencia %	8,6%	-10,8%	-21,0%	-20,2%	-20,7%	-24,1%	100,0%

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

Figura 6-5. Sector UTCUTS: comparación entre el balance de CO₂ (kt CO₂ eq) del INGEI 5IBA (serie 1990-2020) e INGEI 4IBA (serie 1990-2018)



Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

6.1.3 Aspectos metodológicos generales del sector

Para la estimación de las emisiones y absorciones de GEI del sector UTCUTS, se aplicó en general el método Nivel 1 y Nivel 2 para todos los usos de tierra. Ambos métodos de acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006*. En la Tabla se observa un resumen de los métodos aplicados por subcategoría y por tipo de GEI.

Tabla 6-6. Sector UTCUTS: métodos aplicados por categoría

Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero	CO ₂		CH ₄		N ₂ O	
	Método aplicado	Factor de emisión	Método aplicado	Factor de emisión	Método aplicado	Factor de emisión
4. UTCUTS	T1, T2, NO, NE	D, CS, NE, NO	T1, T2	D, CS	T1, T2	D, CS
4.A. Tierras forestales	T1, T2, NE, NO	D, CS, NE, NO	T1, T2	D, CS	T1, T2	CS, D
4.B. Tierras de cultivo	T1, T2, NO	D, CS, NE	T1	D	T1	D
4.C. Pastizales	T1, T2, NO	D, CS, NO	T1, T2	D, CS	T1, T2	D, CS
4.D. Humedales	T1, T2, NE, NO	D, CS, NE, NO				
4.E. Asentamientos	T1, T2, NE	D, CS, NE				
4.F. Otras tierras	T1, T2, NE, NO	D, CS, NE, NO	T1, T2	D, CS	T1, T2	D, CS
4. G. Productos de la Madera Recolectada	T1, T2	D, CS				

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

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

El cálculo de las emisiones para esta categoría se realizó a través de libros de cálculo elaborados por el Equipo Técnico de UTCUTS con base en las hojas de cálculo de las *Directrices del IPCC de 2006*.

6.2 Definiciones de uso de la tierra y los sistemas de clasificación utilizados

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 Forestales de CONAF, a través de proyectos regionales que permiten monitorear los cambios y analizar los procesos que afectan a los distintos usos de la tierra, cartografiar y caracterizar el bosque y disponer de base de datos digitales y geo-referenciadas en un sistema de uso público.

Tabla 6-7. Sector UTCUTS: homologación cambios de uso de la tierra entre las categorías de IPCC y CONAF

Categoría IPCC	Categoría Catastro - CONAF
Tierras Forestales (TF)	Bosque nativo, plantaciones forestales, bosque mixto
Tierras de cultivo (TC)	Terrenos agrícolas
Pastizales (PA)	Praderas y matorrales
Humedales (HU)	Humedales y cuerpos de agua
Asentamientos (AS)	Áreas urbanas e industriales
Otras tierras (OT)	Áreas desprovistas de vegetación, nieves y glaciares y áreas no reconocidas

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

Las definiciones que se dan en el país utilizadas por CONAF se detallan a continuación:

- *Tierras forestales*: la definición de bosques utilizada en el país corresponde a la definición de la Ley N° 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 o instalaciones industriales.
- *Otras tierras*: esta categoría en el Sistema de clasificación del Catastro se define como “Áreas desprovistas de vegetación”, que corresponden a sectores donde, en condiciones húmedas, la cobertura de árboles, arbustos, hierbas y suculentas en su conjunto es inferior al 25%, 10%, 10% y 5% respectivamente, mientras que en condiciones áridas o semiáridas es inferior al 5% de cobertura. Esta categoría también incluye el uso “Nieves eternas y glaciares” que corresponde a zonas cubiertas por nieve, nieves eternas, glaciares y campos de hielo; y finalmente el uso “Áreas no reconocidas” que son sectores para los cuales no ha sido posible efectuar un reconocimiento vegetacional debido a que constituyen las zonas de acceso restringido o por falta de fotografías aéreas o imágenes.

La metodología empleada para realizar la clasificación del uso de la tierra y de las distintas formaciones vegetacionales, se denomina Carta de Ocupación de Tierras (COT), metodología desarrollada por el Centro de Estudios Fitosociológicos y ecológicos Louis Emberger (CEPE de Montpellier) y adaptada por Etienne y Prado en 1982. Esta metodología describe la vegetación a través de formación vegetal o forma de vida, estructura, cobertura, altura y especies dominantes. El uso de la tierra corresponde a la ocupación actual y determinado por eventos antrópicos o naturales al momento de la detección con sensores remotos, interpretación visual y/o terreno: bosques (naturales y artificiales), praderas y matorrales, cuerpos de agua, humedales, nieves, áreas urbanas, terrenos agrícolas, terrenos desprovistos de vegetación.

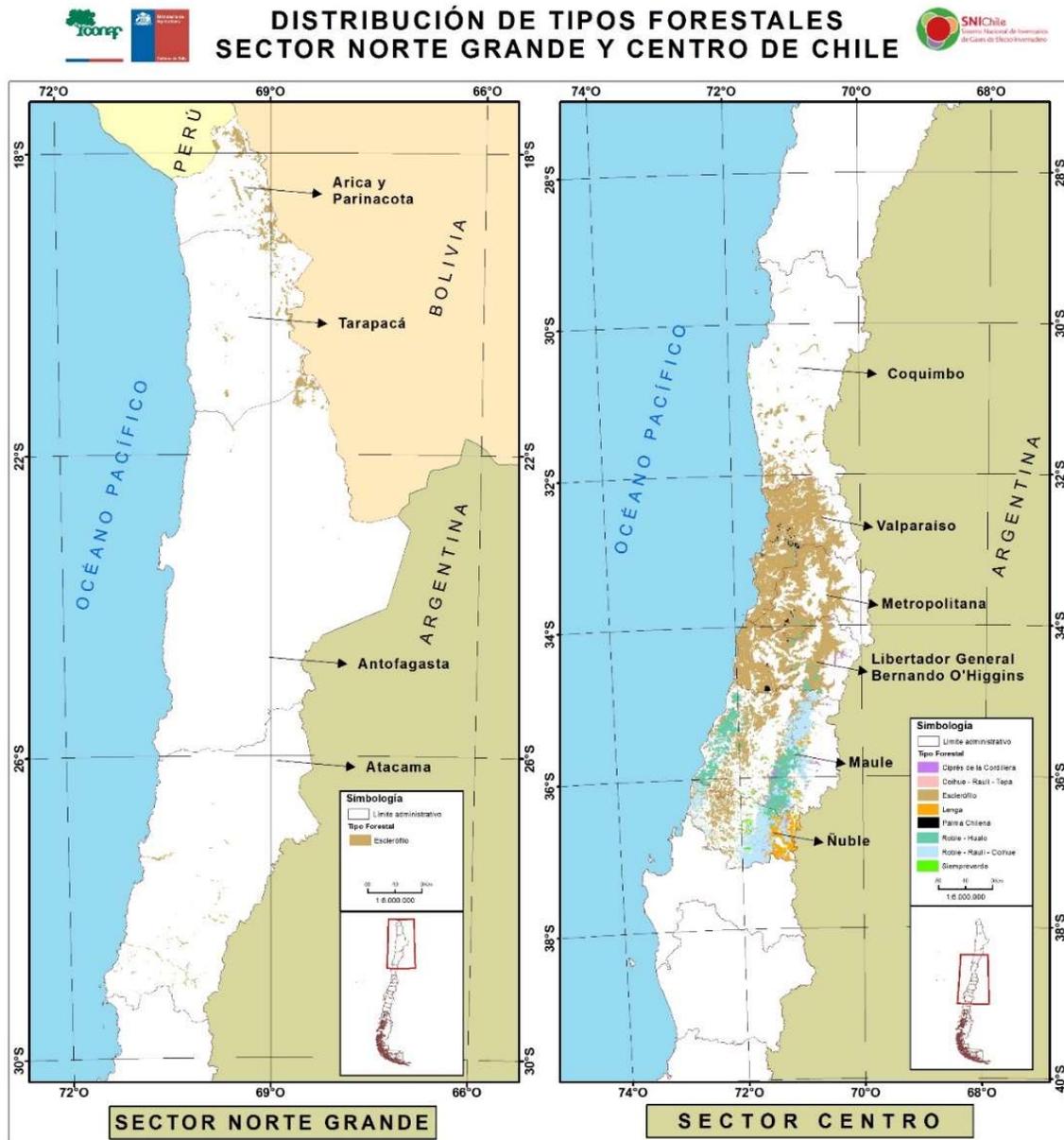
Los datos provenientes del catastro permiten separar la información en: uso de suelo, sub-uso de suelo, estructura vegetal, tipo forestal, etc. Para el Inventario de UTCUTS es importante generar la información desagregada por tipo de vegetación para bosque nativo, la cual está definida por la combinación entre tipo forestal y estado de desarrollo (Tabla 6-8, y Anexo 11.08) y matorral arborescente. La Figura 6-6 y Figura 6-7 muestran 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	Estado de desarrollo
Alerce	Renoval
Ciprés de la Guaitecas	Adulto/renoval
Araucaria	Adulto
Ciprés de la Cordillera	Achaparrado
Palma chilena	
Lenga	
Roble-Hualo	
Roble-Raulí-Coihue	
Coihue-Raulí-Tepa	
Esclerófilo	
Siempreverde	

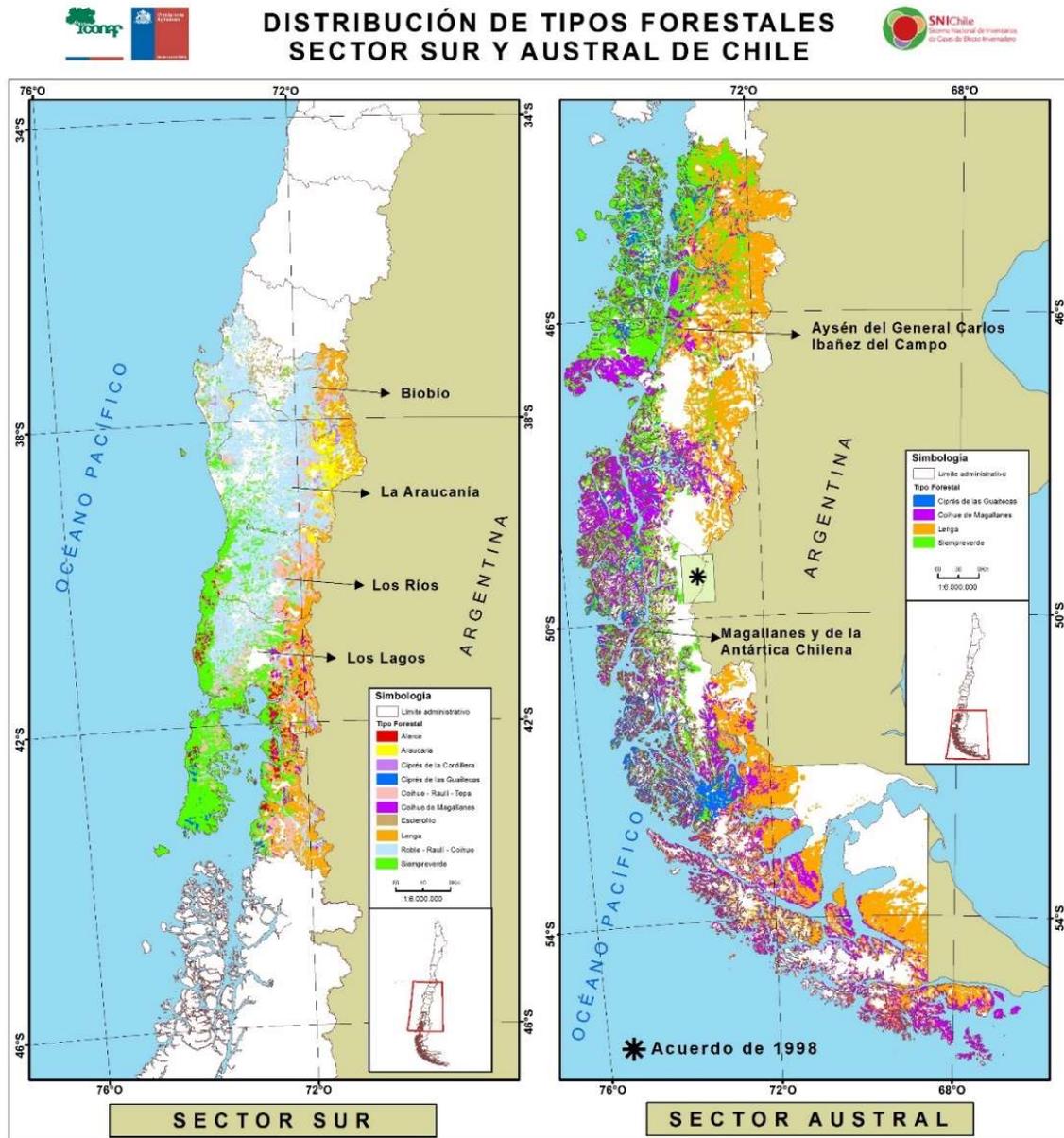
Fuente: Equipo Técnico de CONAF

Figura 6-6. Sector UTCUTS: Tipos forestales en la distribución Norte y Centro del país.



Fuente: Equipo Técnico de CONAF

Figura 6-7. Sector UTCUTS: Tipos forestales en la distribución Sur y Austral del país.



Fuente: Equipo Técnico de CONAF

Además, se detectan los cambios de cobertura vegetal entre plantaciones y bosque nativo, para dar cuenta de la sustitución que es el cambio de bosque nativo a plantaciones y restitución que es el cambio de bosque nativo a plantaciones.

El nivel de resolución en general para las actualizaciones del *Catastro* es de 4 hectáreas para todas las regiones, salvo para la descripción del uso Bosque que es de acuerdo con la definición legal (Ley N° 20.283, Art.2°), es decir la resolución llega hasta una superficie de por lo menos 0,5 hectáreas. En áreas espaciales o de interés particular como; zonas buffer de 2 km en torno a unidades de SNASPE, alrededor de ciudades de la región y en sitios o ecosistemas singulares de interés regional, la unidad mínima cartografiable es de una (1) hectárea. La proyección cartográfica

utilizada para la generación de las coberturas corresponde a Datum WGS 84, huso 18 o 19 UTM Sur según corresponda. En el caso del territorio Antártico chileno, este abarca desde el huso 16 al 21 UTM Sur.

6.3 Métodos utilizados para la representación de las tierras

Para la detección de cambios de usos de la tierra, se aplica el método 3 que es espacialmente explícito, el país ha avanzado para cumplir con requerimientos de periodicidad más frecuentes, y actualmente, CONAF utiliza el método Multi-índice o MIICA (Jin *et al.*, 2013) que emplea técnicas semi-automatizadas para la detección de cambios mediante el uso de imágenes satelitales Landsat 8. El proyecto de Sistema Integrado de Monitoreo de Ecosistemas Forestales (GEF-FAO), fue la vía para dar inicio con la investigación de técnicas semi-automatizadas para la detección de cambios mediante el uso de imágenes satelitales, representando una mejora sustancial en frecuencia temporal y resolución espacial.

Con la adaptación y desarrollo del método en el país es posible actualizar los cambios de uso de la tierra cada dos años. Hasta la fecha, el método se ha ejecutado entre las regiones de Coquimbo a Los Lagos, y se trabaja para incorporar el resto del país. En el resto de las regiones se trabaja con la información del Catastro que también es espacialmente explícita, pero que tiene períodos más extensos para su actualización.

La aplicación del método consideró en su desarrollo una serie de reglas de decisión (detallada en la etapa 2 del procedimiento) en base a índices espectrales aplicados a mosaicos regionales (imagen satelital creada a partir de un set de imágenes Landsat 8 con fechas acotadas), donde se obtienen potenciales polígonos de cambios del respectivo período, que se clasifican en pérdidas y ganancias, (Albornoz *et al.* 2017). El método se desarrolla en seis etapas que se detallan a continuación:

- **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 es la época estival para asegurar la menor cantidad de nubes posibles y evitar posibles cambios atribuidos a efectos fenológicos de la vegetación (bosques caducifolios).

Estas imágenes deben tener coincidencia geométrica (corregistro), el mismo sistema de proyección cartográfico (WGS-84, 18S o EPSG: 32718) y resolución espacial de 30*30 metros para que las escenas utilizadas puedan ser comparables. Esto se desarrolla en la plataforma Google Earth Engine (GEE) mediante la elaboración de un código de programación en lenguaje Java Script.

- **Etapas 2: Coberturas de pérdidas y ganancias**

El propósito de esta etapa es la obtención de coberturas raster de pérdidas y ganancias mediante la aplicación de la metodología MIICA en los mosaicos base T0 y T1 obtenidos en la etapa anterior.

Dicha metodología se basa en la combinación de los índices dNBR (Normalized difference burn ratio), dNDVI (Normalized difference vegetation index), CV (Change Vector), RCVmax (Related Change Vector).

De los 4 índices utilizados, dNBR y dNDVI son los más eficientes para la detección de cambios en vegetación nativa, mientras que CV y RCVmax los son para los usos no vegetales o de vegetación poco densa, con alta influencia del suelo desnudo. Los cambios obtenidos mediante los índices CV y RCVmax se consideran como un posible cambio, el cual se acepta o rechaza en la etapa 4 del procedimiento (clasificación supervisada) mediante la correspondencia del uso entre los 2 periodos de análisis. Mientras, que lo obtenido mediante la aplicación de los índices dNBR y dNDVI, siguen una serie de reglas las cuales permiten detectar de mejor manera el cambio en la vegetación, en función de la realidad vegetal chilena (Anexo 11.08).

- **Etapas 3: Edición y superación de resultados**

El objetivo principal de esta etapa es la obtención de la cobertura vectorial depurada de los cambios registrados, la que debe pasar por una serie de procesos de filtrado y suavizados, eliminando píxeles aislados y donde la superficie mínima de cambio es mayor o igual a 0,27 hectáreas.

- **Etapas 4: Atributación mediante clasificación supervisada**

La finalidad de esta etapa es la designación del uso de la tierra a las coberturas vectoriales de pérdidas y ganancias generadas en la etapa anterior, mediante la aplicación de una clasificación supervisada usando la metodología de *Random Forest* en el mosaico base T1, generando una cobertura de cambios de usos con atributos en T1 para los polígonos MIICA.

Paralelamente, se comparan los usos de la tierra entre la clasificación supervisada y el último mapa disponible para determinar los posibles cambios que no fueron detectados por el método MIICA.

Finalmente, se combinan la cobertura de cambios obtenida por el método MIICA con la cobertura de cambios atributada señalada en el párrafo anterior, obteniendo una cobertura final de cambios del periodo, la cual es revisada mediante fotointerpretación.

- **Etapas 5: Integración de la cobertura de usos y cambios de uso**

En esta etapa se integran la cobertura de cambios generada en la etapa anterior, con el último mapa disponible de manera geométrica y alfanumérica.

De esta manera, se obtiene el seguimiento histórico del uso de la tierra de cada polígono en la capa (Trazabilidad).

- **Etapas 6: Validación mediante Collect Earth**

En esta etapa corresponde la validación de la cobertura de usos de la tierra y sus cambios mediante el uso de Collect Earth, programa desarrollado por FAO y de uso liberado que permite realizar muestreos por puntos para análisis de uso de la tierra, en donde se determina la cercanía a la realidad en el uso de la tierra asignado.

A continuación, en las siguientes figuras se muestran ejemplos de cambios en bosque nativo realizados con el método MIICA.

Figura 6-8. Sector UTCUTS: Cambio de bosque nativo a asentamientos, período 2016 – 2018 en la región del Biobío



Fuente: Equipo Técnico de CONAF

Figura 6-9. Sector UTCUTS: Cambio de bosque nativo a tierras de cultivo, período 2016 – 2018 en la región de Los Lagos



Fuente: Equipo Técnico de CONAF

Para las regiones donde aún no se aplica el método MIICA se utilizan las actualizaciones del *Catastro de Recursos Vegetacionales Nativos de Chile*. Para la consistencia de las superficies de cambio entre las regiones se realizaron promedios históricos para 5 periodos: 1997-2001, 2001-2007, 2007-2013, 2013-2016, 2016-2018, con la excepción de las regiones de Coquimbo y Aysén (solo 2 periodos), y las regiones de Valparaíso, Metropolitana y del Libertador General Bernardo O'Higgins (solo 4 periodos). Para alcanzar la consistencia se realiza una interpolación del área de cambio de uso dada la siguiente expresión:

$$A_i = \frac{A_{p1} - A_{p1} \left(\frac{b_{p1}}{t_{p1}} \right) + A_{p2} - A_{p2} \left(\frac{b_{p2}}{t_{p2}} \right)}{t_{p1} + t_{p2} - b_{p1} - b_{p2}}$$

Dónde:

A_i = Superficie anual de cambio (ha)

A_p = Superficie de cambio en el periodo p (ha)

b = Tiempo de interpolación (años; ej. Si la interpolación es entre 2013 y 2015, $b = 2$)

t = Tiempo del periodo p (años)

Para extender los datos hasta el año inicial, 1990, se extrapolan la tasa de cambio 1997-2001, mientras que para el año final 2020 (según corresponda) se extrapolan la tasa de cambio 2007-2013 (solo para la región de Aysén) y 2013-2016 (solo para las regiones de Coquimbo, Valparaíso, Metropolitana y del Libertador General Bernardo O'Higgins). En el caso de las regiones del Maule, Ñuble, Biobío, Araucanía, Los Ríos y Los Lagos, no se extrapolan al año final dado que el estudio de cambio es hasta 2018. La Tabla 6-9 presenta el detalle de las regiones, con el método aplicado y los años de actualización.

Tabla 6-9. Actualizaciones hasta 2018 por regiones

Región	Método	Primer periodo de actualización	Última actualización	Actualizaciones históricas (trazabilidad)
Arica y Parinacota	SIMEF	2014-2017		
Tarapacá	SIMEF	2016-2017		
Antofagasta	Catastro	2018		
Atacama	SIMEF	2016-2017		
Coquimbo	SIMEF	2014-2016		
Valparaíso	SIMEF	2013-2016		1997-2001, 2001-2013
R. Metropolitana	SIMEF	2013-2016		1997-2001, 2001-2013
L.B. O'Higgins	SIMEF	2013-2016		1997-2001, 2001-2005, 2005-2013
Maule	SIMEF	2013-2016	2016-2018	1997-1999, 1999-2009, 2009-2015
Ñuble	SIMEF	2014-2016	2016-2018	1997-1998, 1998-2008, 2008-2014
Biobío	SIMEF	2014-2016	2016-2018	1997-1998, 1998-2008, 2008-2014
Araucanía	SIMEF	2013-2016	2016-2018	1997-2007, 2007-2013
Los Ríos	SIMEF	2013-2016	2016-2018	1997-2006, 2006-2013
Los Lagos	SIMEF	2013-2016	2016-2018	1997-2006 (sector norte de la región), 2006-2013
Aysén G.C.I.C	Catastro	1997-2011		
Magallanes y Antártica chilena	Catastro	2018		

Fuente: Equipo Técnico de CONAF para actualización del INGEI

El año de inicio para todas las regiones es 1997. En el caso del año 2001, es necesaria la interpolación desde Coquimbo hasta Aysén. En 2007 todas las regiones necesitan interpolación.

En el corto plazo, se está trabajando 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 de periodos, con el fin de tener mayor consistencia en la temporalidad y trazabilidad de los datos. Los periodos a los cuales se está ajustando dicha información son:

- a) 2001-2013 y 2013-2016 para las regiones de Coquimbo hasta la de Magallanes y de la Antártica chilena.
- b) 2016-2017 y 2017-2019 para las regiones de Coquimbo a Los Lagos.
- c) 2019-2021 para las regiones de Maule a Los Lagos. Este corresponde al trabajo del siguiente periodo de cambios del país.

En el mediano plazo se incorporarán las regiones de Arica y Parinacota hasta Atacama en los mismos periodos. También es importante señalar que se está finalizando la cartografía del territorio insular chileno (26.000 hectáreas aproximadamente), la cual estará disponible para el próximo periodo de actualización.

Es importante señalar que a raíz de la incorporación de las nuevas líneas base de las regiones de Antofagasta y Magallanes y de la Antártica Chilena (que representan un tercio de la superficie del país) se reclasificaron superficie de Otras Tierras y Humedales hacia Pastizales principalmente y Tierras Forestales en menor medida. Esto debido a los cambios de escala entre cartografías, pasando de una escala 1:250.000 a 1:50.000, el acceso a imágenes de mayor resolución permitió fotointerpretar de mejor manera grandes polígonos de Otras Tierras y Humedales que encubrían formaciones vegetales como Tundras, que se considera un tipo de Pastizal característico de la zona austral del país por sus condiciones extremas de frío, roca o suelo muy delgado dominado principalmente por arbustos y pastos. Además, para la región de Magallanes y de la Antártica chilena se realizaron mejoras en los límites de la zona costera continental e insular realizado mediante fotointerpretación, lo cual permitió precisar y localizar de mejor manera e incorporar islas omitidas en la anterior cartografía.

6.3.1 Matriz de cambio de usos de la tierra

Con los cambios integrados en las coberturas regionales en formato *shapefile* crean las matrices de cambios para cada periodo. Esta matriz muestra las transferencias de superficie entre los usos de la tierra según categoría de las *Directrices del IPPC 2006* y con el detalle de tipos de bosque nativo (Tabla 6-10). En el Anexo 11.08 se encuentran las matrices de cambio de los otros periodos de la serie temporal.

Tabla 6-10. Matriz de cambio de uso de la tierra período 2019-2020 para el territorio continental

Uso de la Tierra 2019	Uso de la tierra 2018											Total 2019
	AS	TC	PA	TF-BN_AD	TF-BN_R	TF-BN_AR	TF-BN_AC	TF-BN_M	TF-PF	HU	OU	
AS	815.433	39	15	0	0	0	0	0	0	0	1	815.489
TC	1.826	3.144.363	15.600	0	0	0	0	0	6.790	2	16	3.168.597
PA	1.955	6.102	30.465.373	8	9.764	0	110	0	6.577	117	806	30.490.811
TF-BN_AD	26	55	1.080	5.783.223	0	0	0	0	8	2	72	5.784.465
TF-BN_R	259	418	4.371	0	4.382.475	0	0	0	1.982	6	44	4.389.554
TF-BN_AR	4	10	496	0	0	1.729.868	0	0	42	0	24	1.730.444
TF-BN_AC	6	0	1.194	0	0	0	2.678.702	0	131	3	45	2.680.081
TF-BN_M	45	1.521	678	0	0	0	0	161.377	592	0	3	164.217
TF-PF	287	1.135	4.988	0	0	0	0	0	3.065.704	33	6	3.072.153
HU	542	285	558	0	0	0	0	0	113	2.303.581	13	2.305.092
OU	2.626	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20.998.524	21.001.151
Total 2020	823.009	3.153.928	30.494.352	5.783.231	4.392.239	1.729.868	2.678.812	161.377	3.081.940	2.303.744	20.999.554	75.602.053

AS es Asentamientos; TC es Tierras de cultivo; PA es Pastizales; TF-BN_AD es Tierras Forestales Bosque nativo adulto; TF-BN_R es Tierras Forestales Bosque nativo renoval; TF-BN_AR es Tierra Forestal Bosque nativo adulto/renoval; TF-BN_AC es Tierra Forestal Bosque nativo achaparrado; TF-BN_M es Tierra Forestal Bosque mixto; TF-PF es Tierra Forestal Plantación Forestal; HU es Humedales; OU es Otras Tierras.

Fuente: Equipo Técnico de CONAF para actualización del INGEI.

6.4 Tierras forestales (4.A.)

6.4.1 Descripción de la categoría

Las tierras forestales alcanzan en el 2020 una superficie de 17.827.67,2 ha en el país, de las cuales 81,8 % corresponden a tierras de bosque nativo, 17,3 % plantaciones forestales y 0,9 % a bosques mixtos (Tabla 6-11). En cuanto a la información de superficie de plantaciones forestales, en el país se diferencia la superficie que corresponde al uso de la tierra de plantaciones forestales que incluye canchas de acopio, caminos entre otros, esta superficie corresponde a 3.081.940 ha en el 2020 (CONAF para la actualización del INGEI), mientras que la superficie de plantaciones que está creciendo en el país, alcanza 2.304.713 ha en el 2020 (INFOR, 2021).

Tabla 6-11. 4.A. Tierras forestales: Superficie de Tierras forestales diferenciada por tipo de vegetación

Usos por tipo de vegetación	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020
Bosque nativo	14.836.364	14.702.556	14.611.405	14.589.398	14.585.725	14.584.937	14.584.150
Bosque Mixto	141.754	163.080	172.336	172.751	172.734	167.056	161.377
Plantaciones*	1.735.248	2.366.187	2.886.551	3.022.114	3.042.791	3.062.366	3.081.940
Total	16.713.366	17.231.823	17.670.292	17.784.263	17.801.250	17.814.359	17.827.467

La superficie de plantaciones forestales del cuadro corresponde al uso de la tierra de plantaciones forestales que incluye canchas de acopio y caminos entre otros, de acuerdo a la CONAF, mientras que la superficie de plantaciones que se reporta con cobertura forestal alcanza las 2.304.713 ha en el 2020 y es entregada por INFOR

Fuente: Elaboración del Equipo Técnico de UTCUTS en base a CONAF (2021)

Las tierras forestales que al 2020 se consideran bajo gestión corresponden al 59,9 % del total de tierras forestales, lo que incluye a la superficie total de plantaciones forestales, la superficie de bosque nativo con plan de manejo, la superficie de bosque nativo que está en áreas de conservación, la superficie de bosque nativo de renovales, el bosque nativo que se origina debido al cambio de uso de la tierra y el bosque nativo que se origina por el cambio de cobertura vegetal desde plantaciones forestales, quedando fuera de la contabilidad el 40,1 % de la superficie de tierras forestales, por no considerarse bajo gestión. En la Tabla 6-12, se ve la evolución de las tierras forestales, donde las tierras gestionadas ha aumentado su participación en un 23 % desde 1990.

Tabla 6-12. 4.A. Tierras forestales: Superficie de Tierras gestionadas y no gestionadas.

Año	Tierras forestales gestionadas	Tierras forestales no gestionadas	Total
1990	8.548.882	8.164.485	16.713.366
1991	8.660.150	8.105.062	16.765.212
1992	8.778.242	8.038.815	16.817.058
1993	8.881.751	7.987.152	16.868.903
1994	8.981.311	7.939.438	16.920.749
1995	9.082.469	7.890.126	16.972.595
1996	9.182.873	7.841.568	17.024.441
1997	9.276.755	7.799.531	17.076.286
1998	9.379.010	7.749.122	17.128.132
1999	9.475.117	7.704.861	17.179.978
2000	9.562.616	7.669.208	17.231.823
2001	9.641.232	7.642.437	17.283.669
2002	9.709.194	7.619.917	17.329.111

Año	Tierras forestales gestionadas	Tierras forestales no gestionadas	Total
2003	9.774.578	7.599.975	17.374.553
2004	9.838.447	7.581.548	17.419.995
2005	9.902.247	7.563.190	17.465.437
2006	9.966.218	7.544.661	17.510.879
2007	10.028.781	7.527.540	17.556.321
2008	10.083.685	7.510.626	17.594.311
2009	10.135.597	7.496.705	17.632.302
2010	10.188.506	7.481.786	17.670.292
2011	10.244.056	7.464.227	17.708.282
2012	10.298.553	7.447.720	17.746.273
2013	10.356.410	7.427.853	17.784.263
2014	10.374.587	7.415.339	17.789.925
2015	10.400.358	7.395.230	17.795.588
2016	10.422.057	7.379.193	17.801.250
2017	10.453.641	7.354.163	17.807.805
2018	10.480.292	7.334.066	17.814.359
2019	10.508.919	7.311.994	17.820.913
2020	10.539.453	7.288.014	17.827.467

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

Esta categoría incluye las emisiones y absorciones de CO₂ y no-CO₂, generadas como resultado de cambios en la biomasa, materia orgánica muerta y carbono del suelo en *Tierras forestales que permanecen como tales* y en *Tierras convertidas en tierras forestales*. En *Tierras forestales que permanecen como tales* se consideran a todos los bosques y plantaciones que han permanecido en la categoría de *Tierras forestales* por más de 20 años. Además, se hace una diferenciación de la superficie de tierras forestales que cambian de cobertura vegetal entre bosque nativo y plantaciones, para identificar la superficie de plantaciones que se ha generado por sustitución de bosque nativo y la superficie de bosque nativo que se ha generado por reemplazo de bosque nativo (restitución). En *Tierras convertidas en tierras forestales* se consideran todos los bosques que tienen un período menor a 20 años desde la conversión del uso de la tierra, plantaciones y bosque nativo. La Tabla 6-13 resume los componentes y gases considerados en la categoría de Tierras Forestales.

Tabla 6-13. 4.A. Tierras forestales: subcategorías, componentes, subcomponentes y gases.

Subcategoría	Componente	Subcomponente	Gases
Tierras Forestales que permanecen como tales	Plantaciones	Plantaciones que permanecen por más de 20 años en tierras forestales	CO ₂
		Plantaciones originadas por el cambio de cobertura desde bosque nativo: Sustitución	CO ₂
	Bosque Nativo	Bosque nativo de segundo crecimiento: renovales	CO ₂
		Bosque nativo en Sistema Nacional de Áreas Silvestres	CO ₂
		Bosque nativo manejado de acuerdo a Ley sobre recuperación de bosque nativo y manejo forestal	CO ₂
		Bosque nativo originado por el cambio de cobertura desde plantaciones: Restitución	CO ₂

Subcategoría	Componente	Subcomponente	Gases
	Plantaciones y bosque nativo	Cosecha de trozas	CO ₂
		Leña	CO ₂
		Incendios	CO ₂ y no-CO ₂
		Quemas forestales	No-CO ₂
Tierras convertidas en tierras forestales	Plantaciones	Plantaciones con menos de 20 años desde la conversión de uso de la tierra	CO ₂
	Bosque Nativo	Bosque Nativo con menos de 20 años desde la conversión de uso de la tierra	CO ₂

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

6.4.2 Tendencia de las emisiones de GEI

En 2020, las emisiones netas de las tierras forestales fueron -49.430,2 kt CO₂ eq. Durante casi toda la serie temporal el balance de esta categoría es favorable a la absorción, disminuyendo en 30,2 % desde 1990 y en un 16,6 % desde 2018 (Tabla 6-14, Figura 6-10), la excepción la constituye el año 2017 donde fue favorable a la emisión, por la magnitud de incendios forestales que ocurrieron ese año. La tendencia se explica porque ha disminuido la conversión de tierras a *Tierras forestales* durante la serie temporal, y en el 2020 hay un aumento de la cosecha de trozas y de las emisiones por incendios que provocan un aumento en las emisiones en *Tierras forestales*.

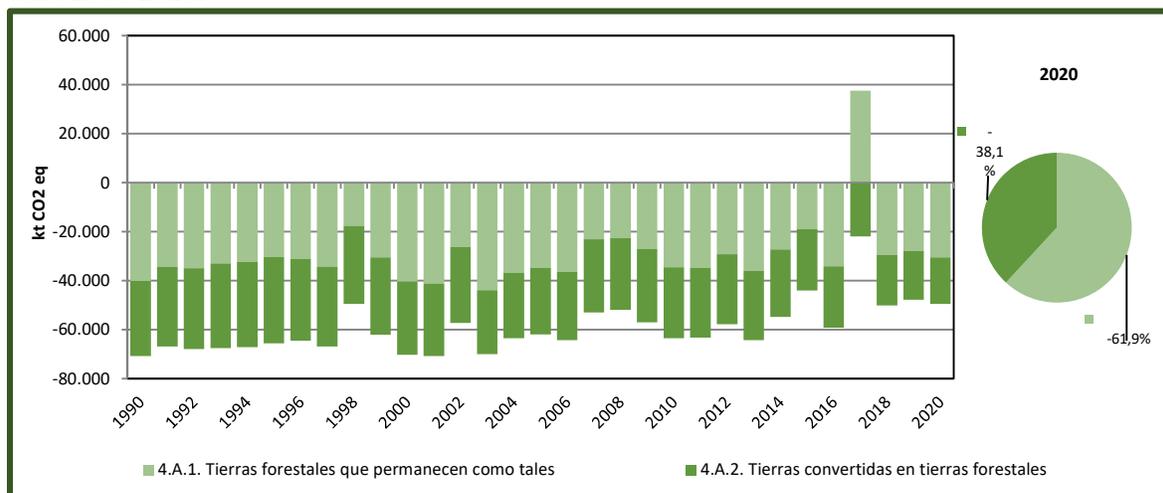
En el 2020, las *tierras forestales que permanecen como tales* tienen un balance neto de -30.593,5 kt CO₂ eq disminuyendo su condición de sumidero en un 23,8 % respecto a 1990 y disminuyendo en 10,4 % respecto al 2018. Mientras que las *Tierras convertidas en tierras forestales* presentan un balance neto de -18.836,7 kt CO₂ eq, disminuyendo su condición de sumidero en 38,6 % respecto a 1990 y en 25,0 % respecto al 2018 (Tabla 6-14, Figura 6-10).

Tabla 6-14. 4.A. Tierras forestales: emisiones y absorciones de GEI (kt CO₂ eq) por subcategoría, serie 1990-2018.

Componente	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020
4.A.1. Tierras forestales que permanecen como tales	-40.149,2	-40.383,7	-34.601,1	-35.979,8	-34.158,7	-29.542,0	-30.593,5
4.A.2. Tierras convertidas en tierras forestales	-30.671,6	-29.841,0	-28.866,4	-28.341,7	-25.131,7	-20.610,2	-18.836,7
Balance	-70.820,8	-70.224,7	-63.467,5	-64.321,6	-59.290,4	-50.152,2	-49.430,2

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

Figura 6-10. 4.A. Tierras forestales: emisiones y absorciones de GEI (kt CO₂ eq) por subcategoría, serie 1990-2018.



Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

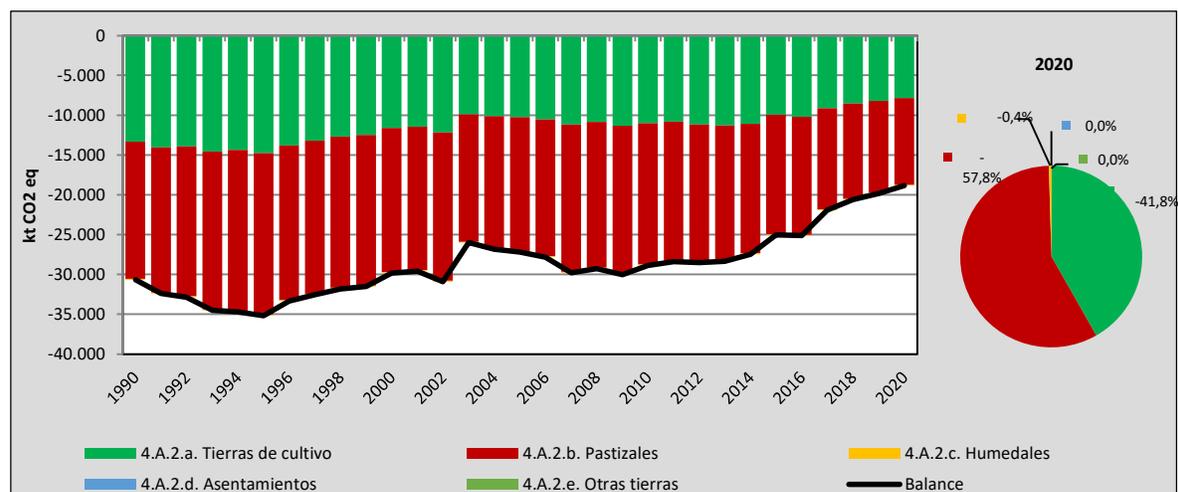
En las *Tierras convertidas en tierras forestales*, los *Pastizales* y las *Tierras de cultivo* son las más importantes (Tabla 6-15,). En términos absolutos, las tierras de pastizales alcanzan en el 2020 un 57,8% de participación en el balance, mientras que las tierras de cultivo un 41,8 % y los humedales un 0,4 %. Durante la serie temporal, se puede ver que han disminuido las *tierras convertidas en tierras forestales* y esto provoca que disminuyan las absorciones, porque no hay incorporación de nuevos bosques y además *las tierras convertidas en tierras forestales* después de 20 años de transición pasan a formar parte de las *tierras forestales que permanecen como tales*.

Tabla 6-15. 4.A.2. Tierras convertidas en tierras forestales (kt CO₂ eq), serie 1990-2020.

Subcomponente	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020
4.A.2.a. Tierras de cultivo	-13.341,2	-11.632,8	-11.009,7	-11.293,5	-10.236,0	-8.555,3	-7.869,1
4.A.2.b. Pastizales	-17.218,8	-18.082,1	-17.738,5	-16.938,5	-14.801,6	-11.976,9	-10.892,2
4.A.2.c. Humedales	-111,6	-126,1	-118,2	-109,7	-94,1	-78,1	-75,4
4.A.2.d. Asentamientos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
4.A.2.e. Otras tierras	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Balance	-30.671,6	-29.841,0	-28.866,4	-28.341,7	-25.131,7	-20.610,2	-18.836,7

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

Figura 6-11. 4.A.2 Tierras convertidas en tierras forestales: emisiones y absorciones de GEI (kt CO₂ eq) por subcategoría, serie 1990-2020.



Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

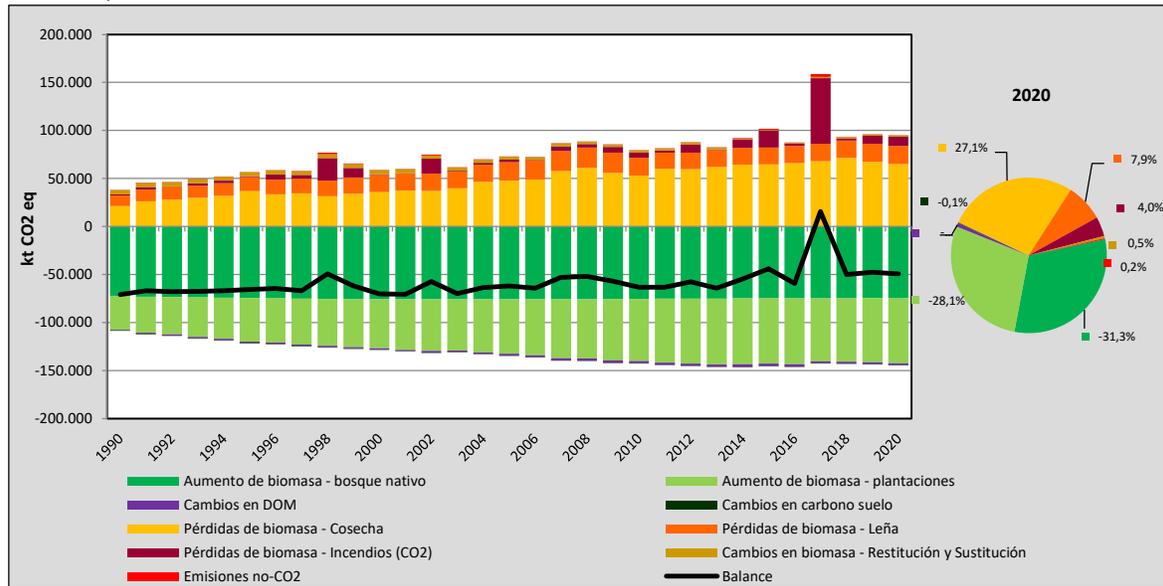
Desde el punto de vista de los depósitos de carbono (Tabla 6-16 y Figura 6-12), la biomasa es el depósito más importante donde los aumentos de biomasa en el 2020 alcanzan un 59,4 % de participación, mientras que las pérdidas de biomasa llegan a un 39,5 % de participación, permitiendo la condición de sumidero de las *Tierras forestales*, el depósito de carbono de la materia orgánica muerta participa con absorciones que alcanzan un 0,8%, seguidos por los cambios en el carbono del suelo que participan con un 0,1 % y las emisiones no-CO₂ con un 0,2 %.

Tabla 6-16. 4.A. Tierras forestales: emisiones y absorciones de GEI (kt CO₂ eq) por depósito de carbono y componente, serie 1990-2020.

Subcomponente	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020
Aumento de biomasa - bosque nativo	-72.119,4	-75.928,2	-75.481,4	-75.149,0	-74.887,5	-74.782,1	-75.064,8
Aumento de biomasa - plantaciones	-35.162,2	-50.993,0	-64.554,4	-68.783,1	-68.635,1	-66.171,3	-67.297,2
Cambios en DOM	-760,9	-1.438,0	-2.506,7	-2.303,0	-2.607,2	-2.055,2	-1.980,0
Cambios en carbono suelo	-585,3	-372,9	-296,0	-342,8	-327,2	-288,4	-271,5
Pérdidas de biomasa - Cosecha	21.054,7	35.882,6	53.085,6	61.995,8	65.900,3	71.043,3	64.878,5
Pérdidas de biomasa - Leña	11.094,8	17.742,0	18.508,4	17.331,5	17.978,6	18.493,8	18.978,2
Pérdidas de biomasa - Incendios (CO ₂)	1.333,1	689,9	5.119,7	704,4	2.504,2	2.265,9	9.650,8
Pérdidas de biomasa - Cambios cobertura vegetal	4.118,1	4.118,1	2.379,5	2.178,0	612,1	1.200,5	1.200,5
Emisiones no-CO ₂	206,3	74,8	277,8	46,7	171,4	141,3	475,4
Balance	-70.820,8	-70.224,7	-63.467,5	-64.321,6	-59.290,4	-50.152,2	-49.430,2

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

Figura 6-12. 4.A. Tierras forestales: emisiones y absorciones de GEI (kt CO₂ eq) por depósito de carbono, serie 1990-2020.



Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

Para el caso de los aumentos de la biomasa, en el 2020 el bosque nativo contribuye con 31,3% seguido de las plantaciones con 28,1%. El aumento de biomasa de bosque nativo corresponde a los bosques de renovales, los bosques nativos que se encuentran en áreas de conservación, los bosques nativos que se encuentran bajo planes de manejo, los bosques nativos que se forman por el cambio de cobertura vegetal desde plantaciones (restitución) y los bosques nativos que se forman por la conversión de tierras a tierras forestales. El aumento de biomasa de bosque nativo se ha incrementado en un 4,1% desde 1990 y en 0,4% desde 2018. Esto se debe principalmente a la incorporación de superficie de bosque nativo bajo planes de manejo durante la serie temporal, lo que significa que pasan desde una condición de no gestionados a gestionados y por lo tanto ingresan a la contabilidad del INGEI; sin embargo, también existe una disminución en la serie temporal 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 aumento de biomasa de plantaciones forestales ha aumentado 91,4% desde 1990 y 1,7% desde 2018, estas cifras dan cuenta de la evolución que han tenido las plantaciones desde la década de los 70, donde se inicia la forestación y por eso se manifiesta una tasa creciente en la serie temporal. 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 y la leve tendencia al alza que se observa desde 2018 corresponde a la reforestación de áreas incendiadas, pasando de una superficie de plantaciones de 2,28 millones de ha a 2,30 millones de ha, de esta forma la superficie tiende a mantenerse alrededor de las 2,3 a 2,4 millones de hectáreas desde el 2009 a la fecha.

En el caso de las pérdidas de biomasa, en 2020, las cosechas comerciales de trozas tienen la mayor participación en el balance con un 27,1%, le sigue la leña con un 7,9%, las pérdidas de carbono por incendios alcanzan un 4% y las pérdidas de biomasa por cambio de cobertura vegetal llegan al 0,5%. Las pérdidas de biomasa por cosecha han aumentado en 208,1% desde 1990 y han disminuido en 8,7% desde 2018, esta disminución se relaciona directamente con los efectos de la

pandemia del Covid-19, disminuyendo en 2020 el consumo de madera en trozas en 9 % respecto al record histórico de consumo del año 2018. En las cosechas participan principalmente las especies provenientes de plantaciones, si bien entre 1990 y 1999 las especies nativas tuvieron una participación que fluctuó entre el 11 % y 23 % de las emisiones por cosecha, esto ha disminuido hasta llegar a sólo un 1 % en los últimos años de la serie temporal, con un 99 % de participación de especies exóticas. Esta tendencia tiene una directa relación con la incorporación de las plantaciones en el mercado, donde los productos de la cosecha provienen principalmente de estas. Adicionalmente, es importante analizar las cosechas en conjunto con la categoría de *Productos de Madera recolectada* que dan cuenta de la permanencia del carbono retenido en los productos de madera provenientes de la cosecha.

El consumo de leña presenta un crecimiento continuo en la serie temporal, y esto tiene directa relación con las emisiones que han aumentado su participación en el balance de tierras forestales, incrementándose en un 71,1 % desde 1990, y en un 2,6 % desde el 2018. 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 40,3 %, en consecuencia, las especies exóticas han aumentado su participación llegando al 59,7 % de las emisiones por consumo de leña.

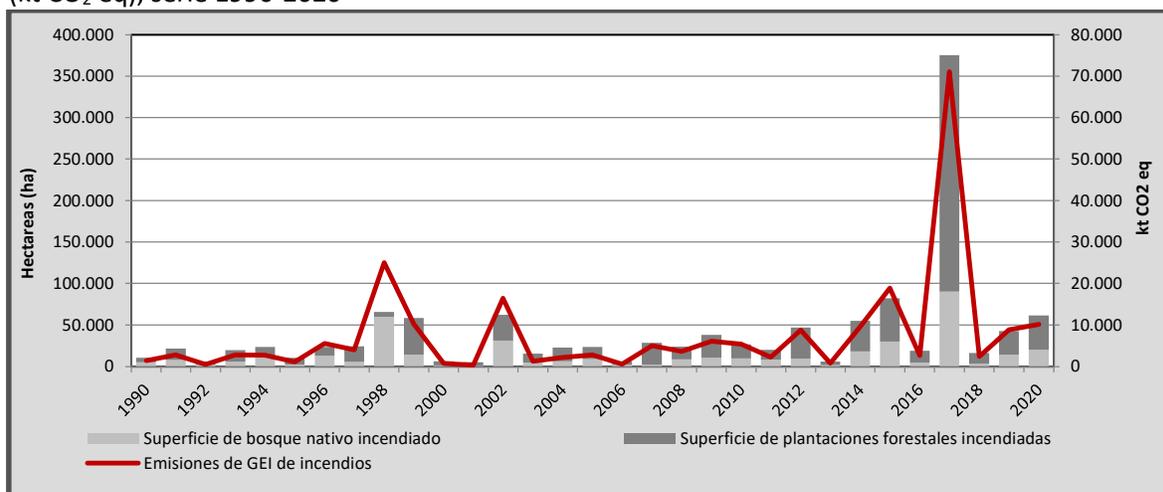
Las emisiones por cambios de coberturas vegetacionales dentro de *tierras forestales* y que corresponde al cambio desde bosque nativo a plantaciones (sustitución) ha disminuido en 70,8 % desde 1990 y no presenta cambios en las emisiones desde el 2018.

Los cambios en el carbono de la materia orgánica muerta (DOM) están constituidos principalmente por las emisiones que provoca la transformación de bosque nativo a plantaciones y por las absorciones de la transformación 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 aumentado en 160,2 % desde 1990 y han disminuido en 3,7 % desde 2018.

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. La Figura 6-13 evidencia que, en 1998, 1999, 2002, 2015 y 2017, cuando se alcanzan las mayores superficies incendiadas, también se alcanzan las máximas emisiones de GEI dentro de la serie temporal.

Figura 6-13. 4.A.1.b.iii.1. Incendios: superficie anual afectada por incendios (ha) y emisiones de CO₂ (kt CO₂ eq), serie 1990-2020



Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

6.4.3 Aspectos metodológicos de la categoría

Para la estimación de las emisiones y absorciones de CO₂ de la categoría *Tierras forestales*, se aplicó el método pérdidas y ganancias de biomasa para los depósitos de biomasa aérea, biomasa subterránea y materia orgánica muerta; el método se basa en estimar el cambio anual en las existencias de carbono (Capítulo 2, Volumen 4, *Directrices del IPCC de 2006*). En general se aplicaron el método Nivel 1 y Nivel 2 para ambos componentes de la subcategoría. Se aplicó un método Nivel 2 para el CO₂ de la biomasa aérea y de la biomasa subterránea para la gran mayoría de las componentes de *Tierras forestales que permanecen como tales* mediante el desarrollo de factores de emisión país específico; para el depósito materia orgánica muerta se aplicó un método Nivel 1 y factores de emisión país específicos para la madera muerta y valores por defecto para la hojarasca. Para las emisiones no-CO₂ se utilizó método Nivel 1 y 2, ya que para los factores de emisión de los gases no-CO₂ se utiliza la información de las *Directrices del IPCC de 2006* y por otra parte se cuenta con información detallada de datos de actividad y biomasa quemada que ocurren en el país. En el caso de la subcategoría *Tierras convertidas en tierras forestales* se aplicaron combinadamente un método Nivel 1 y Nivel 2 el cual proviene de las estimaciones realizadas para la componente *Tierras forestales que permanecen como tales*; ambos métodos de acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006*. En la Tabla 6-17 se observa un resumen de los métodos aplicados por subcategoría y por tipo de GEI.

Tabla 6-17. 4.A. Tierras forestales: métodos aplicados

Código IPCC	Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero	CO ₂		CH ₄		N ₂ O	
		Nivel metodológico	Factor de emisión	Nivel metodológico	Factor de emisión	Nivel metodológico	Factor de emisión
4.A.1.	Tierras forestales que permanecen como tales	T1, T2, NE	D, CS, NE	T1, T2	D, CS	T1, T2	D, CS
4.A.2.	Tierras convertidas en tierras forestales	T1, T2, NO	D, CS, NO				

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

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

El cálculo de las emisiones para esta categoría se realizó a través de libros de cálculo elaborados por el Equipo Técnico de UTCUTS con base en las hojas de cálculo e las *Directrices del IPCC de 2006*.

A continuación, se describe el método aplicado por tipo de depósito, para cada subcategoría, indicando además los datos de actividad estadísticos y paramétricos según corresponda.

6.4.3.1 Biomasa

6.4.3.1.1 Método

Tierras forestales que permanecen como tales

Para estimar las emisiones y absorciones de carbono en tierras que permanecen en la misma categoría de todas las categorías de *Tierras* se utilizó el método de pérdidas y ganancias de biomasa (Sección 2.3.1.; Capítulo 2; Volumen 4; *Directrices del IPCC de 2006*), el que se basa en estimar el cambio anual en las existencias de carbono, a través del incremento anual de la biomasa y la reducción anual por pérdidas de biomasa (Ecuación 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 ($BCEF_I$). Luego, mediante una relación de biomasa subterránea/biomasa aérea (R), se estimó la biomasa total (Ecuación 2.10 -Niveles 2 y 3-; Capítulo 2; Volumen 4; *Directrices del IPCC de 2006*), 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

$$G_{Total} = \sum \{I_v * BCEF_I * (1 + R)\}$$

Fuente: Ecuación 2.10; Capítulo 2; Volumen 4; *Directrices del IPCC de 2006*

Donde:

- I_v = Incremento anual promedio de los bosques en Chile ($m^3 ha^{-1} año^{-1}$),
- $BCEF_I$ = 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 CO_2 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, ($m^3 año^{-1}$),
- $BCEF_R$ = 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

$$L_{\text{madera-combustible}} = \left[\{ FG_{\text{árboles}} \cdot BEF_R \cdot D \cdot (1 + R) \} + FG_{\text{parte}} \cdot D \right] \cdot CF$$

Fuente: Ecuación 2.13; Capítulo 2; Volumen 4; *Directrices del IPCC de 2006*

- $L_{\text{madera-combustible}}$ = Pérdida anual de carbono debido a la remoción de madera para combustible (t C año⁻¹),
- $FG_{\text{árboles}}$ = 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 consideraron los incendios forestales, tanto de plantaciones forestales como de vegetación nativa. El parámetro “fd” define la proporción de biomasa que se pierde de la biomasa total acumulada (depósito de biomasa). Los factores “fd” para incendios en plantaciones forestales de pino radiata y Eucalyptus spp. fueron actualizados de acuerdo con información levantada en terreno en empresas asociadas de CORMA y validadas en taller de expertos de incendios forestales (Anexo 11.08), este cambio afectó a toda la serie temporal del INGEI. 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. Los factores “fd” se presentan en la Tabla 6-18.

Tabla 6-18. 4.A.1. Tierras forestales: factor “fd” proporción de biomasa que se pierde en incendios forestales

Tipo de vegetación	Factor “fd”	Tipo de vegetación	Factor “fd”
Pino radiata 0-10 años	0,81	Eucalyptus spp.	0,70
Pino radiata 11-17 años	0,58	Plantaciones otras especies	0,81
Pino radiata > 18 años	0,45	Bosque nativo	0,73

Fuente: INGEI 1984-2006

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 CO_2 de incendios forestales se usó una combinación de método de Nivel 1 y Nivel 2, en base a datos paramétricos nacionales y por defecto según las *Directrices del IPCC de 2006* y desagregación regional de los datos estadísticos. En este ítem se utiliza el supuesto del nivel 1 en que todo el carbono removido de las existencias de carbono de la biomasa se emite en el año de la perturbación.

Cambios de cobertura vegetal: Sustitución y Restitución

Estos componentes se contabilizan en las *Tierras forestales* que permanecen como tal y corresponden a los cambios de coberturas vegetacionales que ocurren entre plantaciones y bosque nativo. La matriz de cambios de uso de la tierra provee la información de cambios de superficies anuales entre plantaciones y bosque nativo. Las emisiones y absorciones asociadas a estos cambios se contabilizan de acuerdo con la metodología de conversión de tierras, para dimensionar la estimación de los cambios anuales en las existencias de carbono para cada uno de los cinco depósitos debido al cambio abrupto de cobertura vegetal. El método se explica en la siguiente sección.

Tierras convertidas a tierras forestales

Para las *Tierras convertidas en tierras forestales*, la metodología aplicada para estimar emisiones y absorciones de GEI corresponde a la descrita en el Capítulo 2 del Volumen 4 de las *Directrices del IPCC de 2006*. Ella permite estimar los cambios anuales en las existencias de carbono para cada uno de los cinco depósitos de carbono reconocidos por el IPCC.

Los cambios de las existencias de carbono de la biomasa se calculan como la suma del incremento de las existencias de carbono debido al crecimiento de biomasa, más los cambios debidos a la diferencia de la biomasa existente antes y después de la conversión, y menos la reducción de existencias debida a pérdidas.

Ecuación 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

$$\Delta C_{\text{Conversión}} = \sum_i \{ (B_{\text{Después}} - B_{\text{Antes}}) * \Delta A_{A_OTRAS_i} \} * CF$$

Fuente: Ecuación 2.16; Capítulo 2; Volumen 4; *Directrices del IPCC de 2006*

Donde:

- $\Delta C_{\text{Conversión}}$ = Cambio inicial en las existencias de carbono de la biomasa en tierras convertidas a otra categoría de uso ($t\ ms\ C\ año^{-1}$),
- $B_{\text{Después}}$ = 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 ($t\ ms\ ha^{-1}$),
- $\Delta A_{A_OTRAS_i}$ = 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). Luego, mediante el factor R , se estimó la biomasa total, es decir, la biomasa aérea más la biomasa subterránea.

Emisiones no-CO₂

La Ecuación 6-9 da 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 6-9. Estimación de emisiones de GEI a causa del fuego

$$L_{\text{fuego}} = A * M_B * C_f * G_{ef} * 10^{-3}$$

Fuente: Ecuación 2.27; Capítulo 2; Volumen 4; *Directrices del IPCC de 2006*

Donde:

- L_{fuego} = cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero provocada por el fuego, t de GEI.
- A = superficie quemada, ha.
- M_B = 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*).

- C_f = factor de combustión, sin dimensión (valores por defecto del Cuadro 2.6)
- G_{ef} = Factor de emisión, g kg⁻¹ de materia seca quemada (valores por defecto del Cuadro 2.5).

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, *en prep* Anexo 11-08) 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 plantaciones y bosques afectados por incendios forestales se utiliza el factor de combustión de 0,45 según las *Directrices del IPCC de 2006* (Cuadro 2.6) y corresponde a “todos los demás bosques de zonas templadas” (Tabla 6-19).

Tabla 6-19. 4.A.1. Tierras Forestales: factores de combustión de incendios forestales

Especie	Edad	Factor combustión	Fuente
Pino radiata	0-10	0,41	Olmedo et al. (2022)
Pino radiata	11-17	0,31	
Pino radiata	> 18	0,27	
Eucalyptus		0,21	
Plantaciones otras especies y bosque nativo		0,45	IPCC, 2006 (Tabla 2.6)

Para el caso del factor de emisión, se utiliza según el Cuadro 2.5 de las *Directrices del IPCC de 2006* corresponden a los de la categoría “bosque tropical extra”, ya que es la categoría que incluye todos los demás tipos de bosques.

6.4.3.1.2 Datos paramétricos

Los datos paramétricos provienen de distintas fuentes de información del país, no obstante, la principal fuente de información es el Inventario Forestal Nacional (IFN) que da cuenta del estado de los ecosistemas forestales nativos. El diseño del IFN considera aspectos biofísicos, de biodiversidad y socioeconómicos bajo un diseño de inventario multifuente y multinivel (Scheuder et al. 1993). Los datos son colectados de una grilla sistemática de puntos de 5 km de distancia en dirección Este-Oeste y 7 km de distancia en dirección Norte-Sur (INFOR, 2014). Esta grilla de puntos fue el resultado de un estudio de autocovarianza específico realizado en 1995 para decidir objetivamente la mejor grilla que cubriera el país. La unidad de muestreo usada es un conglomerado de tres parcelas circulares de 500 m² organizadas como parcelas de muestreo circular anidadas. Para aumentar la eficiencia de la recolección de datos en terreno las tres unidades de muestreo son tomadas en una forma de “L” invertida, donde el vértice corresponde a la unidad muestral 1. Las mediciones de terreno se realizan en un ciclo de 4 años, donde cada año, 25 % de las parcelas de terreno son evaluadas. Las estimaciones anuales son calculadas combinando los nuevos datos de terreno, las parcelas remedidas y las proyecciones corregidas para aquellas parcelas no visitadas en años previos. La corrección está basada en una calibración generada por la remediación de parcelas (Kangas, 1991). La disposición anidada de las parcelas de muestreo circular consiste de tres círculos concéntricos de radio fijo asociados a los tamaños de los árboles, el radio más grande de 12,62 m, incluye los árboles más grandes que 25 cm de diámetro a la altura del pecho (DAP), árboles con

diámetro mayor a 8 cm son medidos dentro del radio de 6,23 m y árboles con diámetro mayor a 4 cm son medidos en un radio de 2,0 m.

Crecimiento en volumen de plantaciones forestales: Los crecimientos anuales de volumen comercial de *Pinus radiata*, *Eucalyptus globulus* y *Eucalyptus nitens* utilizados han sido actualizados de acuerdo con los crecimientos del último estudio de disponibilidad de madera publicado, *Estudio de disponibilidad de madera de plantaciones de pino insignis y eucaliptos*. Periodo 2017-2047 (INFOR, 2018). Para el resto de las especies, se utilizaron las tasas de incremento de distintas fuentes bibliográficas según se detalla en la Tabla 6-20.

Tabla 6-20. 4.A.1. Tierras forestales: incremento Medio Anual (IMA) en volumen comercial ($m^3 ha^{-1} año^{-1}$) de plantaciones forestales

Especie/Región	IMAm ³ (ha-año) ⁻¹															
	ARI	TAR	ANT	ATA	COQ	VAL	MET	OHI	MAU	ÑUB	BIO	ARA	RIO	LAG	AIS	MAG
<i>Pinus radiata</i>						11,4	11,2	10,9	19,9	19,9	18,7	21,4	18,5	19,3		
<i>Eucalyptus globulus</i>	4,0	4,0		4,0	4,0	4,0	3,9	4,0	8,9	10,1	19,7	15,9	13,0	15,0		
<i>Eucalyptus nitens</i>								12,4	29,7	32,3	34,0	32,6	31,7	34,9		
<i>P. tamarugo</i> ; <i>P. chilensis</i>	2,3	2,3	2,3	2,3	3,8	3,8	3,8									
<i>Pseudotsuga menziesii</i>									14,0	14,0	14,0	16,0	16,0	16,0	8,8	
<i>Populus spp.</i>					25,5		25,5	25,5	25,5	25,5	25,5	25,5	25,5	25,5	25,5	25,5
Otras especies	3,6	3,6	3,6	3,6	5,5	7,3	7,3	9,1	10,9	12,7	12,7	12,7	14,5	14,5	18,2	9,1

Fuente: Büchner et al. (2018); INGEI 1984/2006 (MMA, 2011); INFOR – CONAF (1997).

Las plantaciones de *Atriplex spp.* se excluyen de las *Tierras forestales*, por tratarse de una especie arbustiva forrajera; esta superficie es contabilizada tanto en *Pastizales que permanecen como tales* como en *Tierras de cultivo que permanecen como tales*; la inclusión en la segunda se hizo para estimar la cantidad de residuos generados anualmente.

Crecimiento en volumen de bosque nativo: Se utiliza la información de crecimiento que reporta el IFN, esta información ha sido actualizada respecto a los inventarios previos incorporando tanto datos de parcelas permanentes comprendidos en el levantamiento de línea base (2001-2010) como de dos ciclos de monitoreo (2011-2018) del IFN y cuenta con mayor robustez, al considerar el empleo de una muestra de mayor tamaño en relación con la utilizada en inventarios anteriores. Los datos de crecimiento corresponden al incremento periódico anual medio (IPA, $m^3 (ha año)^{-1}$) por tipo forestal (Tabla 6-21). La información de crecimiento se detalla por clases de diámetro, la cual cuenta con una asignación diferenciada según la subcategoría a la cual pertenecen los bosques: Renovales, Reservas y Parques Nacionales. Estos datos al ser usados junto a las superficies de variables de estado generadas por el IFN para área basal y número de árboles por hectárea brindan una expresión espacial detallada. Esto permite la generación de proyección de crecimiento más detallada, que cuenta con una resolución espacial de una (1) hectárea.

Tabla 6-21. 4.A.1. Tierras forestales: incremento periódico anual (IPA) por tipo forestal para bosques de segundo crecimiento y bosques que se encuentran en reservas y parques nacionales

Tipo Forestal	IPA ($m^3 (ha año)^{-1}$)						
	DAP <10 cm	DAP 10.1-20 cm	DAP 20.1-30 cm	DAP 30.1-40 cm	DAP 40.1-50 cm	DAP 50.1-60 cm	
Alerce	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Ciprés de las Guaitecas	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9
Araucaria	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6
Ciprés de la cordillera	2,7	2,7	4,7	4,7	3,9	3,9	3,9
Lenga	5,4	5,4	5,3	5,1	4,5	3,5	3,5
Coihue de Magallanes	3,0	3,0	4,0	3,7	4,2	3,7	3,7
Roble-Hualo	7,2	7,2	7,5	2,7	2,7	2,7	2,7

Tipo Forestal	IPA (m ³ (ha año) ⁻¹)					
	DAP <10 cm	DAP 10.1-20 cm	DAP 20.1-30 cm	DAP 30.1-40 cm	DAP 40.1-50 cm	DAP 50.1-60 cm
Roble Raulí Coihue	8,8	8,8	7,6	5,1	5,5	5,8
Coihue Raulí Tapa	6,1	6,1	5,3	5,9	5,4	5,0
Esclerófilo	1,4	1,4	3,6	0,2	0,1	0,1
Siempreverde	6,0	6,0	6,5	5,8	5,6	4,4

Fuente: Equipo Técnico de INFOR, de acuerdo con datos IFN (2021).

Para el caso del bosque nativo con planes de manejo, no se cuenta con la localización geográfica de estos, por lo tanto, para asignar los IPA se utiliza un valor único de crecimiento por tipo forestal (Tabla 6-22), valor que también ha sido actualizado.

Tabla 6-22. 4.A.1. Tierras forestales: incremento periódico anual (IPA) por tipo forestal para bosque nativo (planes de manejo).

Tipo Forestal	IPA Volumen m ³ (ha año) ⁻¹
ALERCE ¹	0,5
CIPRES DE LAS GUAITECAS	3,9
ARAUCARIA ²	4,6
CIPRES DE LA CORDILLERA	5,0
LENGA	4,9
COIHUE DE MAGALLANES	3,5
ROBLE HUALO	7,0
ROBLE-RAULI-COIHUE	7,6
COIHUE-RAULI-TEPA	5,5
ESCLEROFILO	1,4
SIEMPREVERDE	6,0

Fuente: Equipo Técnico de INFOR a partir de base de datos de parcelas permanentes del IFN (2021). ¹ INFOR (2007b). ² Mujica (2003).

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. El IFN ha completado el ciclo que establece la línea base de información el año 2010 y dos ciclos de monitoreo desde el año 2011, finalizando estos últimos los años 2014 y 2018, respectivamente. Se considera para los cálculos en la serie temporal la información conjunta de esta línea base y ciclos de monitoreo, empleando para ello valores medios del período, lo que provee una mayor robustez por la cantidad de datos involucrados. Entre las regiones de Arica y Parinacota y Atacama se utilizaron los datos de biomasa acumulada presentada en inventarios anteriores (MMA, 2011). Cuando la información de dato de actividad se encuentra disponible por tipo forestal y estado de desarrollo, se considera la información de existencias diferenciado en dichas categorías.

Tabla 6-23. 4.A.1. Tierras forestales: existencias promedio de volumen comercial de bosque nativo por hectárea a la edad de rotación (m³ ha⁻¹)

Región	Existencia (m ³ ha ⁻¹)
Arica y Parinacota	10,4
Tarapacá	10,4
Antofagasta	10,4
Atacama	10,4
Coquimbo	28,8
Valparaíso	25,9

Región	Existencia (m ³ ha ⁻¹)
Metropolitana	33,4
O'Higgins	49,1
Maule	143,2
Biobío	209,7
Araucanía	209,7
Los Ríos	280,8
Los Lagos	332,9
Aysén	270,7
Magallanes	287,9

Fuente: INGEI 1984/2006 (MMA, 2011) y Equipo Técnico de INFOR a partir de base de datos de parcelas permanentes del IFN (2021).

Las existencias en volumen, de las especies exóticas se calcularon multiplicando el crecimiento por la edad a la cual se considera el volumen que se requiere evaluar. Como referencia en la Tabla 6-24 se presenta la duración de la rotación por especie.

Tabla 6-24. 4.A.1. Tierras forestales: Edad de la rotación forestal por especie

Especie	Rotación (años)
<i>Pinus radiata</i>	20
<i>Eucalyptus globulus</i>	11
<i>Eucalyptus nitens</i>	13
<i>Prosopis chilensis; Prosopis tamarugo</i>	60
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	35
<i>Populus spp.</i>	15
Otras especies	35

Fuente: INGEI 1984-2006 (MMA, 2011).

Densidad básica: para obtener valores de biomasa expresados en toneladas (t) se requiere contar con valores de densidad básica de la madera, variable que expresa el peso seco o anhidro presente en un volumen dado cuando se encuentra verde, con un contenido de humedad igual o mayor al punto de saturación de las fibras (equivalente al 30 %). Se realizó una revisión bibliográfica de densidades básicas de las especies forestales en Chile y no teniendo modificaciones. Con estos datos se determinó el valor promedio de densidad básica por especie (t m⁻³), y su desviación estándar, lo que se muestra en la Tabla 6-25.

Tabla 6-25. 4.A.1. Tierras forestales: densidad básica de madera (promedio y desviación estándar) por especie forestal.

Especie	Densidad básica (t m ⁻³)	Desviación Estándar
<i>Pinus radiata</i>	0,39	0,04
<i>Eucalyptus globulus</i>	0,53	0,07
<i>Eucalyptus nitens</i>	0,45	0,03
<i>Prosopis chilensis/P. tamarugo</i>	0,79	0,11
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	0,36	0,03
<i>Populus spp.</i>	0,30	0,03
Especies nativas	0,50	0,11

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS a partir de datos de: Davel et al (2005); Gayoso (2002); Gorrini et al. (2004); Kininmonth & Whitehouse (1991); Hernández y Pinilla (2010); INFOR-CORFO (1986); Jovanovski et al. (2005); Loewe et al. (2007); Melo et al. (1981); Peredo (2000); Pérez (1982; 1983); Poblete (2002); Prado et al. (1989); Rojas et al. (1993); Rozas (2002); Rozas et al. (2005); Torricelli & Torricelli (1942).

Factores de expansión: para expandir el volumen comercial de los árboles al volumen total de la biomasa aérea se utilizaron factores de expansión de biomasa comercial arbórea determinados en el proyecto FONDEF “Medición de la capacidad de captura de carbono en bosques de Chile y promoción en el mercado mundial, en el informe técnico Inventario de biomasa y contabilidad de carbono” (Gayoso, 2002), los que se muestran en la Tabla 6-26.

Tabla 6-26. 4.A.1. Tierras forestales: factores de expansión de biomasa comercial arbórea

Especie	Factor de expansión
<i>Pinus radiata</i>	1,56
<i>Eucalyptus spp.</i>	1,77
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	1,59
Otras especies	1,64 ¹
Bosque nativo	1,75
Leña	1,28 ²

¹ El valor para “Otras especies” corresponde al promedio de *P. radiata*, *Eucalyptus* y *P. menziesii*.

² Calculado para la suma del fuste más la corteza de especies nativas (Gayoso et al., 2002).

Fuente: Equipo Técnico UTCUTS a partir de Gayoso (2002).

Debido a que la leña incluye la corteza, se calculó el factor de expansión considerando la proporción del fuste comercial más la corteza. Este factor se calculó a partir de datos del estudio “Contenido de Carbono y funciones de Biomasa en Especies Nativas y Exóticas” de Gayoso et al. (2002).

Relación entre biomasa subterránea (raíces) con biomasa aérea (R): los factores R provienen de información levantada en el país (Tabla 6-27) Gayoso et al. (2002) y Gayoso (2006). Los valores determinados para estas especies están dentro del rango de valores indicados en las *Directrices del IPCC de 2006* para bosque templados (entre 0,20 y 0,46, según Cuadro 4.4; Capítulo 4; Volumen 4) y también dentro de los valores disponibles a nivel mundial, que entregan factores R que oscilan entre 0,09 y 0,33 (Coomes & Grubb, 2000; Cairns et al., 1997).

Tabla 6-27. 4.A.1. Tierras forestales: factor R (relación entre raíces y biomasa aérea) para especies de árboles forestales

Especie	Factor R
Especies Nativas	0,29
<i>Pinus radiata</i>	0,25
<i>Eucalyptus spp.</i>	0,22
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	0,28
Otras especies	0,25 ¹

¹ El valor de “Otras especies” corresponde al promedio de *P. radiata*, *Eucalyptus* y *P. menziesii*.

Fuente: Gayoso et al. (2002), Gayoso 2006

Para las *tierras que se convierten a tierras forestales* se utilizó la información de referencia de las *Directrices del IPCC de 2006* de biomasa (Tabla 6-28).

Tabla 6-28. 4.A.2. 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	s/i
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

Pérdidas de biomasa: se calculan a partir de las estadísticas de consumo de madera y leña (datos de actividad) y se utiliza la densidad y factores de expansión detallados previamente.

6.4.3.2 Materia Orgánica Muerta

6.4.3.2.1 Método

Tierras forestales que permanecen como tales

Se considera una metodología de Nivel 1 para el caso de la materia orgánica muerta de las *Tierras forestales* que permanecen como tal, ya que no se reportan cambios en este depósito de carbono, pues se asumen en equilibrio. La excepción la constituyen las tierras con cambio de cobertura, sustitución y restitución, donde se considera la metodología como tierras en conversión para la materia orgánica muerta. Se utiliza una metodología de Nivel 1, para las *Tierras forestales* sustituidas desde bosque nativo a plantación forestal, por lo que se considera la emisión de toda la materia orgánica muerta en el año del cambio de cobertura. Por otra parte, las tierras que se restituyen desde plantaciones a bosque nativo acumulan materia orgánica durante un período de transición que para estos efectos es de 20 años. No se considera acumulación de materia orgánica muerta en las plantaciones forestales debido a la intensidad de manejo a la que son sometidas.

Tierras convertidas en tierras forestales

El cambio anual en las existencias de carbono en la materia orgánica muerta se estimó aplicando la Ecuación 2.23; Capítulo 2; Volumen 4; *Directrices del IPCC de 2006*.

Ecuación 6-10. 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).

6.4.3.2.2 Datos paramétricos

La materia orgánica muerta considera dos categorías, la madera muerta y la hojarasca, en el caso del país se cuenta con información de la madera muerta para los bosques naturales, árboles muertos en pie y residuos leñosos gruesos, que provienen del IFN. La medición de los residuos gruesos se realiza a través de transectos, residuos que corresponden a ramas y troncos de árboles y arbustos que tienen un diámetro de intersección con el transecto mayor o igual a 10 cm. La información se encuentra diferenciada por tipo forestal (Tabla 6-29), se considera un contenido de carbono país específico de acuerdo con estudio de Gayoso *et al.* (2002).

Tabla 6-29. 4.A.1. Tierras forestales: madera muerta (residuos gruesos y árboles muertos en pie) por tipo forestal

Tipo forestal	Residuos gruesos	Árboles Muertos en pie	Total t/ha	Factor de carbono ¹	Carbono (t/ha)
	t/ha				
ALERCE	78,6	204,4	282,9	0,43	121,4
*CIPRES DE LAS GUAITECAS			0,0	0,43	0,0
ARAUCARIA ²	134,4	176,6	311,0	0,43	133,4
*CIPRES DE LA CORDILLERA			0,0	0,43	0,0
LENGA	71,4	29,8	101,2	0,43	43,4
COIHUE DE MAGALLANES	316,5	10,1	326,6	0,43	140,1
ROBLE-RAULI-COIHUE	92,0	31,3	123,3	0,43	52,9
COIHUE-RAULI-TEPA	124,3	49,1	173,4	0,43	74,4
ESCLEROFILO	27,2	11,8	38,9	0,43	16,7
SIEMPREVERDE	104,4	46,7	151,1	0,43	64,8

* No se cuenta con información suficiente

¹ fracción de carbono país específico (Gayoso et al., 2002)

Fuente: Equipo INFOR a partir de información del IFN.

Para la información de la hojarasca se utiliza los valores de referencia de las *Directrices del IPCC de 2006* adecuados a las regiones y clima del país, según Tabla 6-30.

Tabla 6-30. 4.A.1. Tierras forestales: biomasa de hojarasca y contenido de carbono

Regiones	Clima	Factor carbono	Biomasa (t/ha)	Broadleaf deciduos tC/ha
ARI a MAU	Warm temperate - Dry	0,37	76,22	28,2
BIO a LAG	Warm temperate -Moist	0,37	35,14	13,0
AIS a MAG	Cold temperate moist	0,37	43,24	16,0

Fuente: Tabla 2.2, Cap. 2, Vol. 4, *Directrices del IPCC de 2006*.

6.4.3.3 Carbono del suelo

6.4.3.3.1 Método

Chile no cuenta con información detallada de carbono del suelo, no obstante, para contar con un INGEI completo en cuanto a la inclusión de los depósitos de carbono, esta serie temporal ha incluido el cálculo a partir de los valores de referencia que entrega las *Directrices del IPCC de 2006*. El cambio anual del depósito de carbono del suelo se determina considerando el método por defecto de las *Directrices del IPCC de 2006* para suelos minerales, de acuerdo con la Ecuación 6-11 descrita a continuación.

Ecuación 6-11. 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

$$\Delta C_{E\ell}^{Mineral} = \frac{(SOC_0 - SOC_{(0-T)})}{D}$$

$$SOC = \sum_{c,s,i} (SOC_{REF_{c,s,i}} * FLU_{c,s,i} * FMG_{c,s,i} * A_{c,s,i})$$

Fuente: Ecuación 2.25; Capítulo 2; Volumen 4; Directrices del IPCC de 2006

Donde:

- $\Delta C_{Mineral}$ = Cambio anual en las existencias de carbono de suelos minerales (t C año⁻¹),
- SOC_0 = Existencias de carbono orgánico del suelo en el último año de un período de tiempo del inventario (t C),
- $SOC_{(0-T)}$ = Existencias de carbono orgánico del suelo al comienzo de un período de tiempo del inventario (t C),
- SOC_0 y $SOC_{(0-T)}$ son calculados usando la ecuación de SOC donde las existencias de carbono del suelo y los factores de cambio de existencias son asignados de acuerdo con el 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.

Tierras forestales que permanecen como tal

De acuerdo con el método por defecto se considera que el carbono del suelo en *Tierras forestales* que permanecen como tal no se modifica por la gestión, por lo que no se reportan cambios anuales en este depósito. La excepción la constituyen las *tierras forestales* con cambio de cobertura (sustitución y restitución), donde se consideró el cálculo como una conversión de usos de la tierra (Ecuación 6-11), donde las plantaciones tienen un factor de aporte de materia orgánica (F_i) menor debido a la intensidad del manejo que extrae los residuos del suelo.

Tierras convertidas en tierras forestales

Para el caso de *tierras convertidas en tierras forestales* se considera la aplicación de la Ecuación 6-11. Se toman los valores de referencia para el carbono del suelo que entregan las *Directrices del IPCC de 2006* así como los factores de cambio que entrega para los distintos tipos de uso de la tierra.

6.4.3.3.2 Datos paramétricos

Se consideran los valores de referencia de *Directrices del IPCC de 2006* de la Tabla 2.3 del Capítulo 2 Volumen 4, que se basan en superficies de tierra que están estratificadas por regiones climáticas y en tipos de suelo por defecto, y se considera el contenido de carbono a una profundidad de 30 cm. Estos valores de referencia de carbono del suelo fueron adaptados a los tipos de suelo del país (Actualización INGEI 1990-2016). Se consideraron las condiciones climáticas del país para las distintas regiones administrativas y se recurrió a fuentes de información del país que dan cuenta del tipo de suelo que existe en cada región (CIREN, Catastro de Superficies Agropecuarias y juicio experto). Esta información se cruzó con la información de la cobertura de bosques naturales del país proveniente del *Catastro* que da cuenta de los bosques naturales del país. Luego, se estableció la participación del tipo de suelo que existe en cada región y se calculó ponderando el valor de referencia por la participación del tipo de suelo en la región (Tabla 6-31). Este método permitió adaptar a la variedad de situaciones de suelos del país los valores de referencia de las *Directrices del IPCC de 2006*.

La información de factores de cambio de existencias se consideró en base a las tablas publicadas por las *Directrices del IPCC de 2006*. Los factores de cambio de las existencias se definen a grandes rasgos e incluyen: 1) un factor de uso de la tierra (F_{LU}) que refleja los cambios en las existencias de carbono relacionados con el tipo de uso de la tierra, 2) un factor de gestión (F_{MG}) que representa la principal práctica de gestión específica del sector de uso de la tierra (p. ej. diferentes prácticas de labores en tierras de cultivo), y 3) un factor de aporte (F_i) que representa los distintos niveles de aporte de carbono al suelo.

Tabla 6-31. 4.A.1. Tierras forestales: carbono de referencia estimado por regiones administrativas de país.

Region	Temp	Precip	Participación (%)						Fuente: para establecer porcentajes de tipos de suelos	SOC ref
			HAC	LAC	Sandy	Spodic	Volcanic	Wetland		
ARICA	Warm Temperate	Dry	20%	0%	80%	0%	0%	0%	Estimado con mapas	22,80
TARAPACA	Warm Temperate	Dry	60%	0%	40%	0%	0%	0%	Estimado con mapas	30,40
ANTOFAGASTA	Warm Temperate	Dry	60%	0%	40%	0%	0%	0%	Estimado con mapas	30,40
ATACAMA	Warm Temperate	Dry	50%	0%	50%	0%	0%	0%	Estimado con mapas	28,50
COQUIMBO	Warm Temperate	Dry	80%	0%	20%	0%	0%	0%	Estimado con mapas	34,20
VALPARAISO	Warm Temperate	Dry	100%	0%	0%	0%	0%	0%	Calculado con capas CIREN	38,00
METROPOLITANA	Warm Temperate	Dry	100%	0%	0%	0%	0%	0%	Calculado con capas CIREN	38,00
O'HIGGINS	Warm Temperate	Dry	99%	1%	0%	0%	0%	0%	Calculado con capas CIREN	37,86
MAULE	Warm Temperate	Dry	88,8 %	5,8 %	0%	0%	5,7%	0%	Calculado con capas CIREN	39,13

Region	Temp	Precip	Participación (%)						Fuente: para establecer porcentajes de tipos de suelos	SOC ref
			HAC	LAC	Sandy	Spodic	Volcanic	Wetland		
ÑUBLE	Warm Temperate	Moist	12,6 %	0,1 %	6%	0%	81,3%	0%	Calculado con capas CIREN	78,20
BIO-BIO	Warm Temperate	Moist	12,6 %	0,1 %	6%	0%	81,3%	0%	Calculado con capas CIREN	78,20
ARAUCANIA	Warm Temperate	Moist	18,7 %	14,3 %	0,1%	0%	67,0%	0%	Calculado con capas CIREN	79,05
RIOS	Warm Temperate	Moist	8,0%	36,0 %	0%	0%	56,0%	0%	Calculado con capas CIREN	74,49
LAGOS	Warm Temperate	Moist	20,9 %	10,0 %	0%	0%	69,2%	0%	Calculado con capas CIREN	79,99
AYSEN	Cool Temperate	Moist	36%	0%	2,0%	1,5%	60,5%	0,0%	Modificado de catastro de superficies agropecuarias, Boletín 300 INIA, convirtiendo mayor parte de "sandy" a HAC y Andisoles para reflejar laderas.	116,00
MAGALLANES	Cool Temperate	Moist	35%	0%	10%	50%	0%	5%	Estimado con literatura ("Suelos de Chile" por Luzio Leighton) y juicio experto (Jorge Ivelic)	102,20

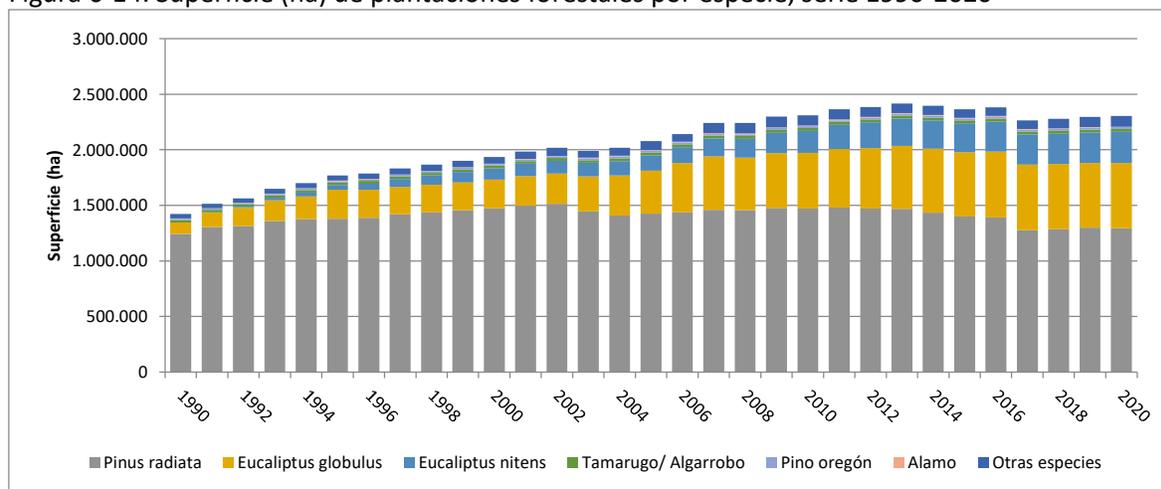
Fuente: Elaborado por equipo sectorial Agricultura y UTCUTS a partir de Valores de Referencia de *Directrices del IPCC de 2006*: Tabla 2.3.

6.4.3.4 Datos de actividad estadísticos

En general se realizó una revisión exhaustiva de los datos de actividad estadísticos colectados para la construcción de la serie 1990-2018 y se colectaron nuevos datos de actividad considerando la serie 1990-2020.

Superficie de plantaciones forestales la información de superficie de plantaciones se origina en el Programa de Actualización Permanente de Plantaciones Forestales de INFOR y da cuenta de la superficie de plantaciones que está creciendo en el país. A partir de las matrices de cambio de uso de la tierra de CONAF se estiman las superficies de tierras convertidas anualmente a plantación forestal y se determina la superficie de plantaciones de *tierras forestales*. La Figura 6-14 muestra el detalle de la serie temporal de superficie total de plantaciones forestales diferenciada por especies.

Figura 6-14. Superficie (ha) de plantaciones forestales por especie, serie 1990-2020



Fuente: INFOR (2021)

Superficie de bosques de segundo crecimiento (Renovales): los renovales son bosques que se consideran en la contabilidad del inventario pues son bosques que surgieron de perturbaciones, como incendios forestales en bosques primarios. Los bosques se mantienen bajo crecimiento hasta alcanzar los 60 cm de diámetro medio cuadrático. En base a la información de variables de estado del IFN (INFOR) y de las superficies clasificadas como *Renovales* y *Bosque adulto renoval* del *Catastro*, se aplica una regla simple de transición de estado, basada en el incremento periódico anual en área basal, por tipo forestal. A partir de esta proyección de crecimiento, las superficies así clasificadas en el *Catastro* pasaron a constituir automáticamente bosques adultos en equilibrio, al alcanzar o superar un diámetro medio cuadrático de 60 cm. El cálculo y clasificación está supeditado a la disponibilidad de datos de parcelas permanentes del IFN. En zonas sin información, donde no es posible realizar una proyección, se mantuvieron los datos provenientes de las últimas actualizaciones de *Catastro*, sin hacer crecer el bosque (Figura 6-15).

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). Esta cobertura es una representación de actos administrativos oficiales, decretos de creación y/o actualización de límites, es decir, lo que es oficial es el origen de la información que generó la cobertura, no la cobertura misma. La cobertura pasará a ser oficial una vez que se adjunta a un documento con dicho carácter y que el Ministerio de Bienes Nacionales publique la información. La cobertura representa, por el momento, información referencial del SNASPE (IDE Chile, 2021). 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.

Superficie de bosque nativo manejado: proviene del Sistema de Actualización y Fiscalización Forestal (SAFF) de CONAF, que se detalla por tipo forestal, tipo de manejo y región administrativa.

Dado que CONAF tiene información acerca de los planes de manejo aprobados cada año, pero no cuenta con la información acerca de los planes efectivamente ejecutados, se asumió que “plan aprobado es plan ejecutado el mismo año de su aprobación”, haciendo un símil con la cosecha forestal, en el sentido que todo lo cosechado es emitido el año de la cosecha. Los manejos ejecutados en bosque nativo se realizan en diferentes fases del desarrollo de un bosque (Tabla 6-32); para evitar doble contabilidad, la superficie que corresponde a las cortas intermedias o raleos que se realizan en una fase de desarrollo de bosque latizal-fustal (fase 2) se excluyen de esta superficie por estar considerada en la superficie de renovales (Figura 6-15 y Tabla 6-32). En este inventario se realizó una revisión de los datos de actividad, disminuyendo la superficie de bosque nativo manejado, ya que existían planes de manejo que se mantenían ingresados en años consecutivos, provocando una doble contabilidad de superficie.

Tabla 6-32. Tierras forestales que permanecen como tales: tipos de manejos asignados a cada fase

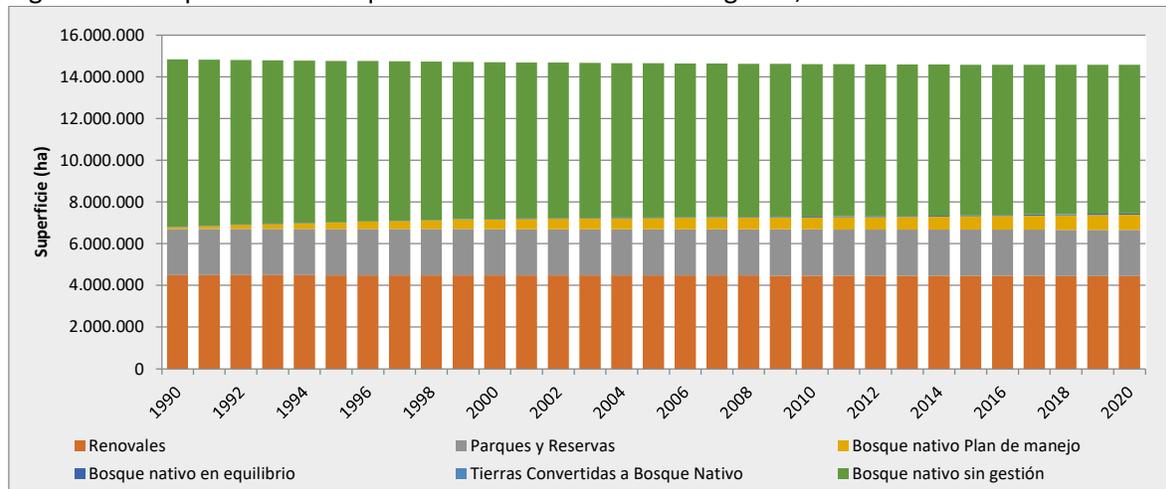
Fases	Tipo de manejo
Fase 1	Clareos, eliminación de especies vegetales exóticas invasoras, corta bosque quemado, corta de liberación, corta de limpieza, corta de mejoramiento, corta de recuperación, corta final, corta por artículo 19, descepado, enriquecimiento ecológico, estimulación de la regeneración, plantación suplementaria, raleo a desecho, reforestación, revegetación, siembra directa.
Fase 2	Corta intermedia, corta sanitaria, poda, poda baja, poda con fines no madereros, poda de formación, raleo, raleo con fines no madereros, raleo latizal, raleo fustal, raleo productivo.
Fase 3	Anillamiento, corta preparatoria; corta de regeneración

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

Superficie de tierras convertidas a bosque nativo: La superficie de tierras que se convierte a bosque nativo proviene de la matriz de cambio de uso de la tierra que genera CONAF. El bosque nativo resultante de la conversión puede identificarse si es renoval u otro tipo de bosque nativo, si se clasifica como renoval, entonces las absorciones no se contabilizan en la categoría de conversión pues ya están consideradas en la categoría renoval, y así se evita una doble contabilidad.

Toda la información de superficie de bosque nativo se resume en la Figura 6-15.

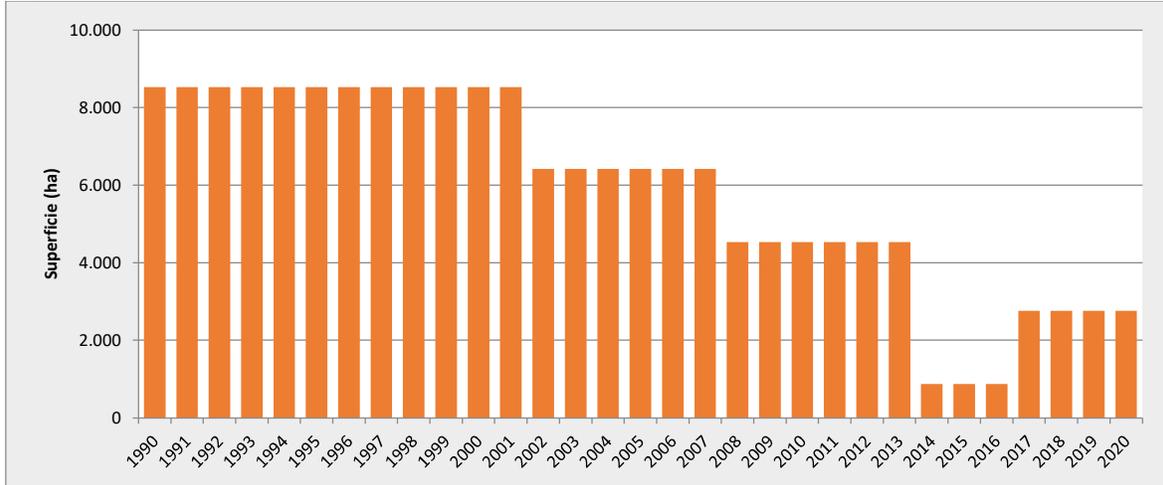
Figura 6-15. Superficie de bosque nativo en las distintas categorías, serie 1990-2020.



Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

Superficie de sustitución: A partir de las matrices de cambio de uso de la tierra, se estiman las superficies de plantaciones forestales que se formaron sustituyendo superficie de bosque nativo (Figura 6-16).

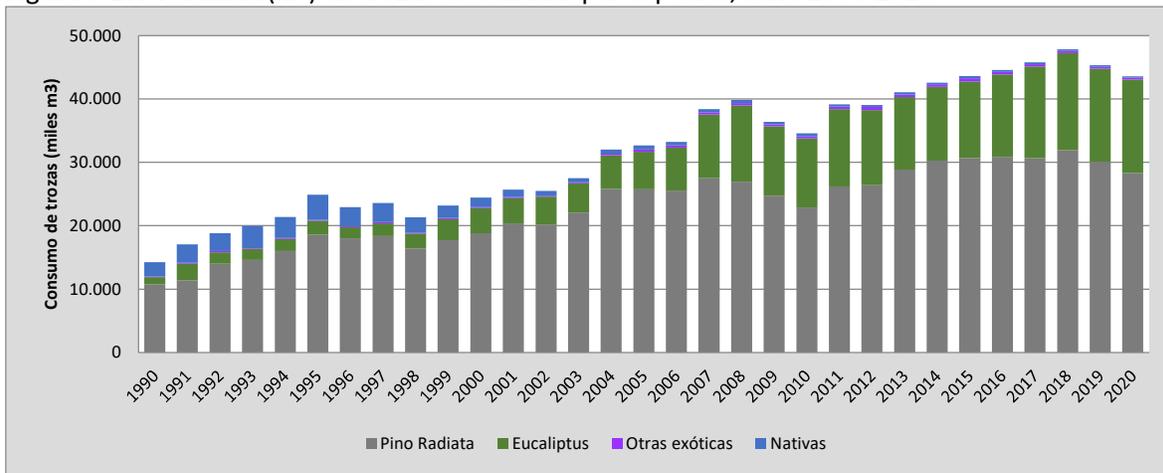
Figura 6-16. Superficie (ha) convertida a plantaciones forestales, serie 1990-2020



Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

Cosecha de madera comercial: el dato estadístico principal es el volumen de cosecha comercial de trozas, dato generado por INFOR (2021) (Figura 6-17). Los datos paramétricos usados son factores de expansión de biomasa comercial a biomasa total aérea (Gayoso *et al.*, 2002), relación entre biomasa subterránea y aérea (Gayoso *et al.*, 2002) y densidad básica de la madera.

Figura 6-17. Volumen (m³) de trozas cosechadas por especies, serie 1990-2020



Fuente: INFOR, 2021

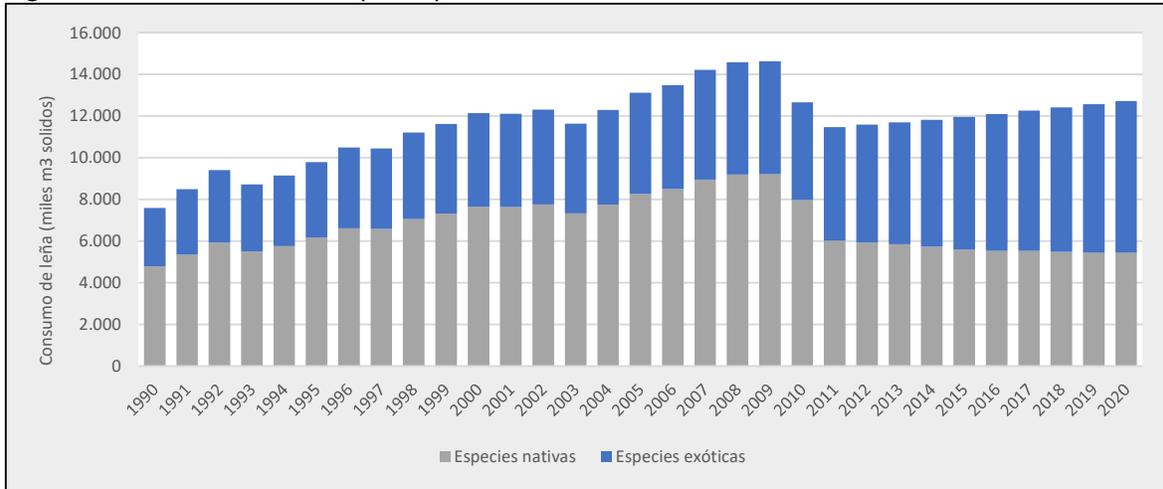
Cosecha de leña: Los datos de actividad se obtienen de la publicación del Anuario Forestal de INFOR hasta el año 2010 (Figura 6-18 y Anexo 11.08), los volúmenes provienen de las cifras de consumo de leña (en miles de toneladas) del Balance de Energía (CNE) y fueron transformadas en volumen sólido, según 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 (periodo 2011-2020). Este programa está realizando estudios anuales sobre

consumo de leña, a partir de los cuales se creó un reporte estadístico que se publica en la plataforma SIMEF (<https://simef.minagri.gob.cl/>). La información publicada en SIMEF aborda el consumo de leña del sector residencial, y se construye en base a la multiplicación de tres capas de información: a) los censos de población y vivienda de 1992, 2002 y 2017 (INE, 1992; 2002; 2017) (solo se consideran las viviendas ocupadas con moradores presentes y ausentes, y se excluye a los edificios de departamentos, donde se asume un consumo de leña igual a cero); b) la proporción de hogares que consumen leña, estimada en base a INFOR (1994), la Encuesta de Caracterización Socioeconómica Nacional 2006 y 2013 (Ministerio de Desarrollo Social, 2006; 2013), y los estudios regionales realizados por INFOR a partir de 2015; y c) el consumo promedio de leña por vivienda estimada por INFOR (1994), Gómez-Lobo et al (2006), los estudios realizados por INFOR a partir de 2015, y estudios locales.

Para este informe se utilizó además la composición del consumo de leña, con la finalidad de diferenciar entre especies nativas y exóticas. Las especies nativas incluyen a leña que proviene del fuste principal de los árboles, como también aquella que proviene del aprovechamiento de árboles caídos, ramas y mortalidad natural, entre otras (Reyes et al., 2018a). Desafortunadamente, aún no se han realizado estudios para estimar la importancia relativa de estas distintas procedencias. Con respecto a las especies exóticas, éstas incluyen no solo a especies forestales, como *Eucalyptus* sp. y *Pinus radiata*, sino también a madera que proviene de frutales y viñas. Los cultivos agrícolas son importantes en el abastecimiento de leña, especialmente, entre las regiones de Coquimbo y el Maule (Reyes et al., 2018b, Reyes et al., 2020).

La composición del consumo de leña se obtuvo de INFOR (1994), Gómez-Lobo et al (2006), estudios realizados por INFOR a partir de 2015, y estimación de experto. Las cifras relativas al consumo de leña del sector industrial corresponden a la proyección de la Encuesta Nacional Industrial Anual (ENIA), la cual, si bien presenta limitaciones importantes, es la única fuente de información disponible para estimar el consumo de leña de este sector. Por otra parte, el consumo de leña del sector comercial y público se generó a partir de encuestas aplicadas en algunas regiones de Chile, y su proyección lineal como proporción del consumo residencial de leña. Los datos que se publican a continuación solo consideran los estudios realizados por INFOR en las regiones de Los Ríos (Reyes, 2017), Maule (Reyes et al., 2018b) y O'Higgins (Reyes et al., 2020). No se han incorporado aún los estudios realizados en las regiones del Ñuble, Biobío, Araucanía, Los Lagos y Aysén, y se incorporarán en la medida que estén publicados y disponibles para futuras actualizaciones del INGEI.

Figura 6-18. Volumen de leña por especies, serie 1990-2020



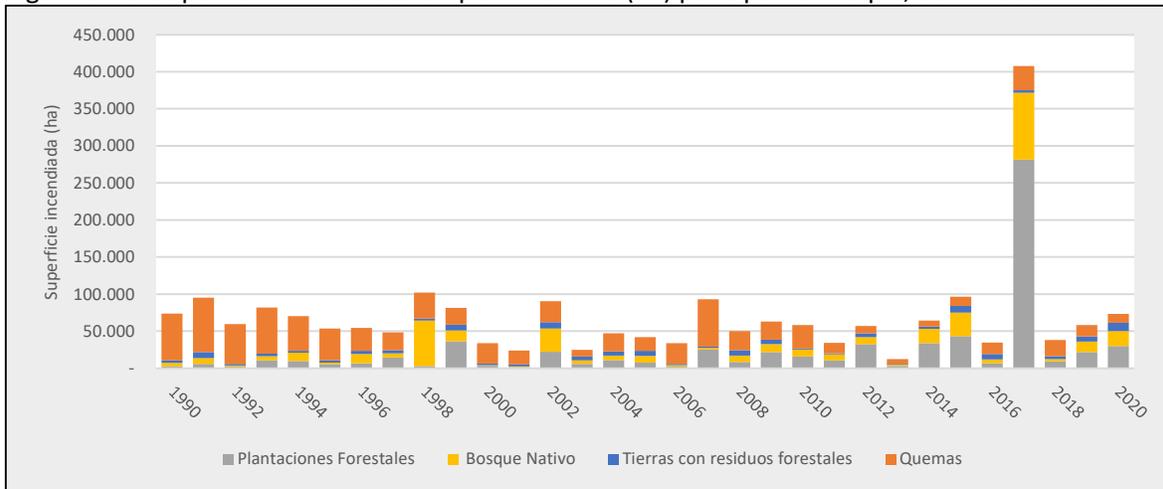
Nota: para el período 1990-2010 las cifras de consumo de leña (en miles de toneladas), del Balance de Energía (CNE), han sido transformadas a miles de m³, según antecedentes aportados por el estudio de INFOR (1994), el cual indica que la proporción de leña en el total “leña y sus derivados” es de un 73,7 %.

* Consumo de leña para 2011 a 2020 (INFOR, 2020)

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

Superficie de Incendios y quemas forestales: el dato estadístico es la superficie anual de incendios de bosque nativo, de plantaciones forestales, superficie de incendios en tierras forestales con residuos forestales y superficie de quemas forestales (Gerencia Manejo del Fuego, CONAF) (Figura 6-19).

Figura 6-19. Superficie anual afectada por incendios (ha) por tipo de bosque, serie 1990-2020



Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

6.4.4 Incertidumbre

La incertidumbre combinada de categoría, para el 2020, ha sido estimada para cada componente o especie. Un resumen de los resultados de la incertidumbre combinada se presenta en la Tabla 6-33.

Tabla 6-33. 4.A.1. Tierras forestales: resumen de la incertidumbre combinada, 2020

Código IPCC	Categoría del IPCC	Gas	Incertidumbre en los datos de actividad		Incertidumbre en el factor de emisión		Incertidumbre combinada	
			(-)%	(+)%	(-)%	(+)%	(-)%	(+)%
4.A.1.a.i.1.	Renovales	CO ₂	7%	7%	18%	18%	20%	20%
4.A.1.a.i.2.	Planes de manejo (Ley Bosque nativo)	CO ₂	32%	32%	18%	18%	37%	37%
4.A.1.a.i.3.	Parques y reservas nacionales	CO ₂	7%	7%	18%	18%	20%	20%
4.A.1.a.ii.	Plantaciones forestales	CO ₂	8%	8%	21%	21%	22%	22%
4.A.1.b.i	Cosecha	CO ₂	10%	10%	20%	20%	22%	22%
4.A.1.b.ii	Leña	CO ₂	2%	2%	14%	14%	14%	14%
4.A.1.b.iii.	Perturbaciones	CO ₂	15%	15%	14%	14%	21%	21%
4.A.1.b.iii.	Perturbaciones	CH ₄	15%	15%	74%	74%	76%	76%
4.A.1.b.iii.	Perturbaciones	N ₂ O	15%	15%	60%	60%	62%	62%
4.A.1.b.iv.	Quema controlada de residuos forestales	CH ₄	15%	15%	107%	107%	108%	108%
4.A.1.b.iv.	Quema controlada de residuos forestales	N ₂ O	15%	15%	90%	90%	91%	91%
4.A.1.c.	Tierras forestales con cambio de vegetación	CO ₂	14%	14%	29%	29%	32%	32%
4.A.2	Tierras convertidas en tierras forestales	CO ₂	20%	20%	17%	17%	26%	26%

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. La información de errores se encuentra en el Anexo 11.08.

6.4.5 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. Cuando se realizaron cambios de actividad paramétrica o de factor de emisión, los nuevos cálculos realizados cubrieron la serie temporal completa.

6.4.6 Procedimiento de garantía y control de calidad

6.4.6.1 Control de la calidad

Durante la actualización del ISGEI de UTCUTS se han aplicado la recomendación de control de calidad de las *Directrices del IPCC de 2006* para la subcategoría y las actividades propias del Equipo Técnico de UTCUTS. Todas estas actividades están listadas y documentadas dentro del SRT del SNICHILE, correspondiente al libro de cálculo *2020_SGCC_4UTCUTS*.

6.4.6.2 Garantía de la calidad

Previo a la actualización del sector *UTCUTS*, el Equipo Técnico de UTCUTS ha desarrollado un análisis de la inclusión de las recomendaciones levantadas durante la revisión externa, tanto del ISGEI de UTCUTS como del INGEI de Chile, para evaluar la factibilidad de su aplicación. Las recomendaciones

realizadas por los revisores expertos han sido listadas y documentadas dentro del SRT del SNICHILE, correspondiente al libro de cálculo *2022_SGCC_4UTCUTS*.

6.4.6.3 Verificación

El procedimiento de verificación consistió en realizar comparaciones de los resultados obtenidos durante esta serie temporal y la anterior calculada. Gracias a ello se logró detectar diferencias y establecer inconsistencias entre los datos empleados. Además, se realizan comparaciones de los factores de emisión, específicamente crecimientos de plantaciones con la información proporcionada en las *Directrices del IPCC de 2006*, no existiendo diferencias significativas en el crecimiento de las plantaciones. En el caso particular de los bosques nativos de Chile, no existe información en estas guías que permita hacer comparaciones.

6.4.7 Nuevos cálculos

6.4.7.1 Justificaciones de los nuevos cálculos y mejoras

Para esta subcategoría se realizaron mejoras en la gestión de los datos de actividad, y se actualizaron datos paramétricos de crecimiento de plantaciones y bosque nativo y el mayor impacto estuvo en este último factor (datos paramétricos) seguido por los cambios de los datos de actividad para superficie de bosque nativo manejado. Esto llevó a realizar nuevos cálculos 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. 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. La información se depuró y para el período 1990-2018 resultó en una disminución de un 48 % de la superficie total respecto al inventario anterior.

Crecimiento en volumen de bosque nativo

Se ha actualizado la información de crecimiento obtenida desde datos de parcelas permanentes del Inventario Forestal Nacional (IFN). Esta información actualizada incorpora datos comprendidos en el levantamiento de línea base (2001-2010) y de los dos ciclos de monitoreo (2011-2018), de esta forma se cuenta con mayor robustez, al considerar el empleo de una muestra de mayor tamaño en relación con la utilizada en los inventarios de GEI previos. Los crecimientos en la mayoría de los casos son mayores que en las actualizaciones del INGEI anteriores provocando un efecto combinado en el inventario, por un lado, existen mayores absorciones de carbono, pero también se alcanza antes el diámetro límite de crecimiento (60 cm de diámetro) con lo cual hay una leve disminución de la superficie que está capturando carbono.

Cambio en los crecimientos de plantaciones forestales de las especies *Pinus radiata*, *Eucalyptus globulus* y *Eucalyptus nitens*

Hasta la serie temporal 1990-2018 se trabajó con el estudio Disponibilidad de Madera de Plantaciones de Pino Radiata y Eucalipto (2010-2040) publicado en 2013. En el presente inventario del sector UTCUTS se actualizó la información de crecimiento en base al último estudio de Disponibilidad de Madera de Plantaciones de *Pinus radiata*, *Eucalyptus globulus* y *Eucalyptus nitens* 2017 – 2047 publicado en 2018. En este estudio, los crecimientos de plantaciones fueron actualizados debido a que las empresas contaron con más 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 6-34 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 6-34. Variaciones en crecimiento de las plantaciones de pino y *Eucalyptus* spp respecto a valores usados en INGEI 4IBA.

Región	E. globulus	E. nitens	P. radiata
Valparaíso	-67%		14%
Metropolitano	-68%		
O'Higgins	-69%		6%
Maule	-53%	19%	13%
Ñuble	-58%	-2%	-4%
Biobío	-18%	3%	-10%
Araucanía	-25%	1%	2%
Los Ríos	-40%	-19%	0%
Los Lagos	-34%	-15%	0%

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

Incorporación de materia orgánica muerta (hojarasca) de plantaciones

Se incorporó información país de aporte de hojarasca de plantaciones, lo que permite incluir el aporte de este depósito de biomasa en el INGEI.

Factores de pérdida de biomasa por incendios

Se realizó un trabajo con especialistas en incendios forestales con talleres de trabajo, donde CORMA, sus empresas e investigadores asociados presentaron un estudio realizado con información de terreno sobre pérdidas de biomasa y aprovechamiento de ésta *post*-incendio para plantaciones de pino y eucalipto sp. De esta forma se actualizó el factor de pérdida de biomasa de un factor único de 0,81 de incendios en plantaciones de las especies mencionadas a un factor variable según la edad de la plantación para toda la serie temporal.

En la actualización del INGEI 1990-2018, para el caso de los factores de pérdida de biomasa de los incendios forestales del año 2017, CORMA recopiló información y se determinó un factor de pérdida de biomasa de 0,39. Con la información actualizada de esta serie temporal, las pérdidas son mayores fluctuando entre 0,45 y 0,81 según la edad de la plantación afectada por el incendio. Este cambio provoca que aumenten las pérdidas consideradas en los incendios de 2017, aumentando las emisiones en plantaciones en 10.188 kt CO₂ eq.

Factor de combustión en plantaciones

Se realizó un trabajo con especialistas en incendios forestales con talleres de trabajo, donde investigadores presentaron un trabajo de determinación de factores de combustión para incendios de plantaciones forestales de pino y eucaliptus sp. (Olmedo et al. 2022 *en prep.*). De esta forma se actualizó el factor de combustión de plantaciones, dejando un factor variable según edad de la plantación incendiada que reemplaza al factor de combustión único sugerido por la Directrices del IPCC de 2006.

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 (restitución y sustitución) y cambios en las conversiones a tierras forestales

Leña

Se actualiza la información desde 2011 al 2020, ya que se cuenta con información más detallada para la información de consumo de leña.

6.4.7.2 Implicaciones para los niveles de emisión

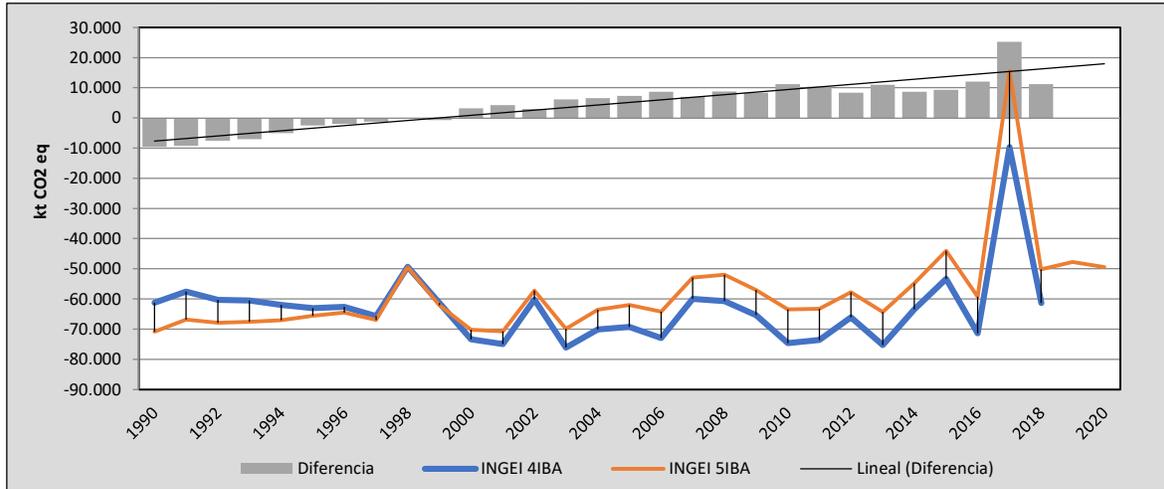
En la Tabla 6-35 y Figura 6-20 se observa cómo variaron las emisiones de CO₂ de esta categoría respecto del inventario anterior (INGEI 4IBA). La diferencia se debe principalmente a los ajustes previamente descritos. Esto generó una disminución del balance de CO₂ (menor capacidad de absorción) de la subcategoría en un promedio de 4.332,6 kt CO₂ eq anuales durante la serie 1990-2018.

Tabla 6-35. 4.A.1. Tierras forestales: comparación entre el balance de CO₂ (kt CO₂ eq) del INGEI 5IBA (serie 1990-2020) e INGEI 4IBA (serie 1990-2018)

INGEI	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020
INGEI 4IBA	-61.251,5	-73.421,7	-74.661,9	-75.282,5	-71.367,8	-61.344,3	
INGEI 5IBA	-70.820,8	-70.224,7	-63.467,5	-64.321,6	-59.290,4	-50.152,2	-49.430,2
Diferencia	-9.569,4	3.197,0	11.194,3	10.960,9	12.077,4	11.192,1	
Diferencia %	13,5%	-4,6%	-17,6%	-17,0%	-20,4%	-22,3%	

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

Figura 6-20. 4.A.1. Tierras forestales: comparación entre el balance de CO₂ (kt CO₂ eq) del INGEI 5IBA (serie 1990-2020) e INGEI 4IBA (serie 1990-2018)



Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

6.4.8 Plan de mejoramiento

En respuesta al análisis propio del Equipo Técnico de UTCUTS y considerando las recomendaciones de la revisión del INGEI por parte del ERE en el 2019 sobre dar plazos a las mejoras consideradas en el sector. Se considera corto plazo 2 años lo que equivale a la siguiente actualización del INGEI, mediano plazo 6 a 8 años y largo plazo 20 años, se detallan las siguientes mejoras en la Tabla 6-36.

Tabla 6-36. Resumen plan de mejoramiento continuo: Tierras Forestales

ID	Categoría	Mejoras detectadas por el equipo técnico del sector	Estatus	Acciones implementadas o en implementación	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. Como mejora, las regiones pendientes se implementarán en la próxima actualización del inventario de GEI, serie 1990-2020.	No implementado	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	Se desconocen los avances del MMA al respecto	No dependen del equipo del SNiChile
U3	4.A.1. Tierras forestales	Se requiere actualizar los factores de pérdida de biomasa en incendios forestales, ya que la información que se usa en la serie temporal fue levantada en los primeros inventarios por juicio experto. Este mejoramiento se abordará en el corto plazo, y se debería contar con información	Implementado	Se cuenta con factores de pérdida para incendios en plantaciones, queda pendiente avanzar en los factores de pérdida	Realizar talleres con los actores vinculadas a tema incendios en bosque nativo para ver como

ID	Categoría	Mejoras detectadas por el equipo técnico del sector	Estatus	Acciones implementadas o en implementación	Acciones previstas
		para la próxima actualización del INGEI, serie 1990-2020.		de incendios en bosque nativo	avanzar en futuras actualizaciones
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	No implementado	CONAF se encuentra avanzando en este desarrollo y se espera que, en el mediano plazo, no superior a 6 años se pueda contar con esta información.	
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.	No implementado	No dependen del equipo del SNiChile	No dependen del equipo del SNiChile
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.	Implementado	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	No dependen del equipo del SNiChile
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	No dependen del equipo del SNiChile
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	No dependen del equipo del SNiChile
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 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.	No implementado	No dependen del equipo del SNiChile	No dependen del equipo del SNiChile

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

6.5 Tierras de cultivo (4.B.)

6.5.1 Descripción de la categoría

De acuerdo con la definición de CONAF, las tierras de cultivo en el país corresponden a zonas actualmente destinadas a la producción agropecuaria, incluyendo cereales, horticultura, fruticultura y ganadería. Las tierras de cultivo alcanzan una superficie de 3.153.928 ha en el año 2020, y han disminuido desde 1990 en 15 %.

Según las *Directrices del IPCC de 2006*, la cantidad de carbono almacenado en las tierras de cultivo permanentes, así como la emitida o absorbida, depende del tipo de cultivo, de las prácticas de gestión y del suelo y clima. Por ejemplo, los cultivos anuales (cereales, legumbres) se cosechan todos los años, por lo que no hay un almacenamiento de largo plazo del carbono en la biomasa. En cambio, la vegetación leñosa perenne de los huertos, viñas y sistemas agroforestales puede implicar depósitos de carbono en biomasa de larga vida, donde la cantidad depende del tipo de especies a cultivar, la densidad, las tasas de crecimiento y las prácticas de cosecha y poda.

Esta categoría incluye las emisiones y absorciones de CO₂ que se generan por cambios en la biomasa y las emisiones no-CO₂ de incendios en *tierras de cultivo que permanecen como tales*, donde se consideran a las tierras de cultivo que no se han sometido a ninguna conversión en su uso durante un período de al menos 20 años y se incluyen las emisiones y absorciones de CO₂ generadas por cambios en la biomasa, materia orgánica muerta y carbono en el suelo en *Tierras convertidas a tierras de cultivo*, y que son tierras que se han convertido a *Tierras de cultivo* y tienen un período menor a 20 años en esta subcategoría.

6.5.2 Tendencia de las emisiones de GEI

En 2020, el balance de GEI en *Tierras de cultivo* contabilizó una emisión de 1.164,1,0 kt CO₂ eq, aumentando en un 145,2 % desde 1990 y disminuyendo en un 4,0 % desde 2018 (Tabla 6-37). Las principales causantes de la tendencia de la categoría son las emisiones de las conversiones de tierras a tierras de cultivo, donde contribuyen principalmente las conversiones de tierras forestales y pastizales.

Tabla 6-37. 4.B. Tierras de cultivo: emisiones y absorciones de GEI (kt CO₂ eq) por subcategoría, serie 1990-2020.

Subcategoría	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020
4.B.1. Tierras de cultivo que permanecen como tales	0,4	0,2	0,2	0,1	0,9	0,6	2,1
4.B.2 Tierras convertidas en tierras de cultivo	474,4	928,9	1.488,1	1.487,7	1.038,9	1.211,9	1.162,0
Balance	474,7	929,1	1.488,3	1.487,8	1.039,8	1.212,5	1.164,1

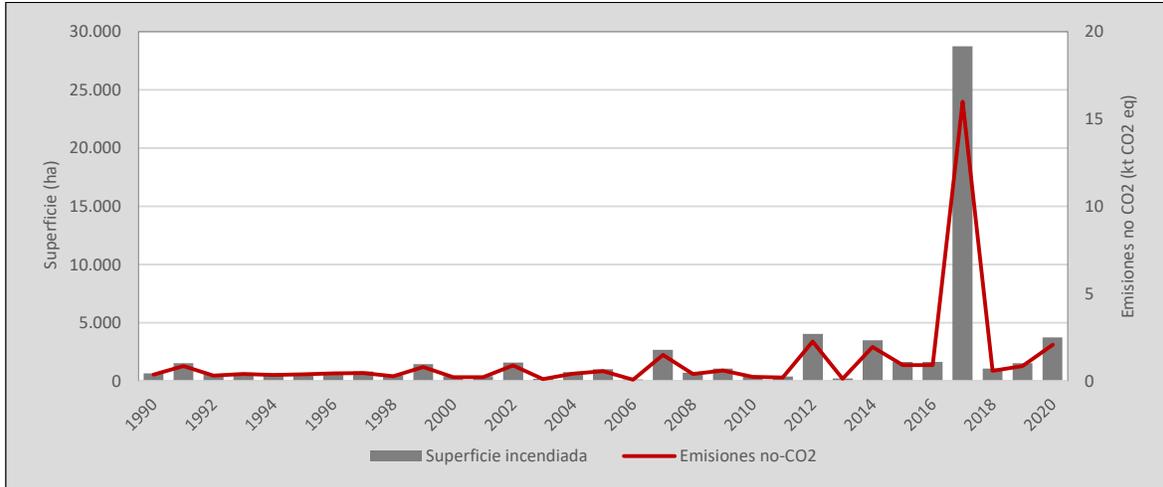
Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

Para el caso de las tierras de cultivo que permanecen como tales, se contabilizan las emisiones no-CO₂ que corresponden a incendios en tierras de cultivo. En 2020 el balance de GEI de esta subcategoría contabilizó 2,1 kt CO₂ eq, aumentando en 484,2 % desde 1990 y aumentando en 256,5 % desde 2018 (Tabla 6-38 y Figura 6-21). 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.B.1. Tierras de cultivo que permanecen como tales: emisiones y absorciones de GEI (kt CO₂ eq) por componente, serie 1990-2020

Componente	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020
Tierras de cultivo incendiadas	0,4	0,2	0,2	0,1	0,9	0,6	2,1
Balance	0,4	0,2	0,2	0,1	0,9	0,6	2,1

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

Figura 6-21. 4.B.1. Tierras de cultivo que permanecen como tales: emisiones no CO₂ de incendios en tierras de cultivo (kt CO₂ eq), serie 1990-2020

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

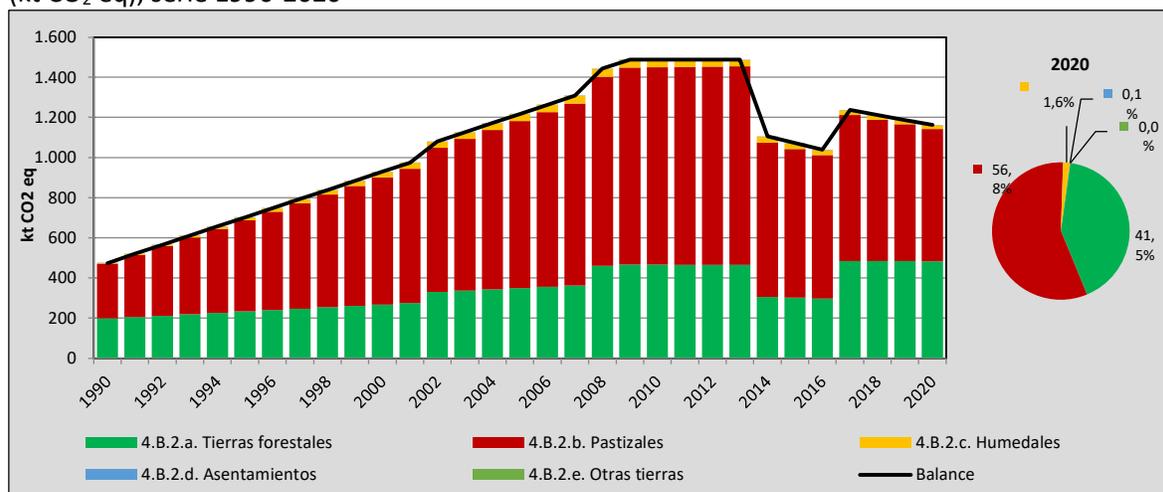
Para el caso de las tierras convertidas en tierras de cultivo, en 2020, el balance de CO₂ de esta subcategoría contabilizó 1.162 kt CO₂ eq, aumentando en un 145 % desde 1990 y disminuyendo en un 4,1 % desde 2018 (Tabla 6-39 y Figura 6-22). Respecto de las emisiones y absorciones de GEI en términos absolutos, los *Pastizales* convertidos a *Tierras de cultivo* son las de mayor aporte en las emisiones con un 56,8 % seguido por las *Tierras forestales* con un 41,5 % y finalmente los *Humedales* con un 1,6 %. Esta tendencia se relaciona directamente con los resultados de la superficie de cambio de uso de la tierra.

Tabla 6-39. 4.B.2. Tierras convertidas en tierras de cultivo: emisiones y absorciones de GEI (kt CO₂ eq) por componente, serie 1990-2020

Subcomponente	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020
4.B.2.a. Tierras forestales	198,0	267,5	466,0	464,9	297,5	483,9	482,7
4.B.2.b. Pastizales	273,7	634,1	983,3	989,5	714,0	704,5	659,8
4.B.2.c. Humedales	2,4	26,7	37,8	32,3	26,4	22,5	18,7
4.B.2.d. Asentamientos	0,2	0,6	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
4.B.2.e. Otras tierras	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Balance	474,4	928,9	1.488,1	1.487,7	1.038,9	1.211,9	1.162,0

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

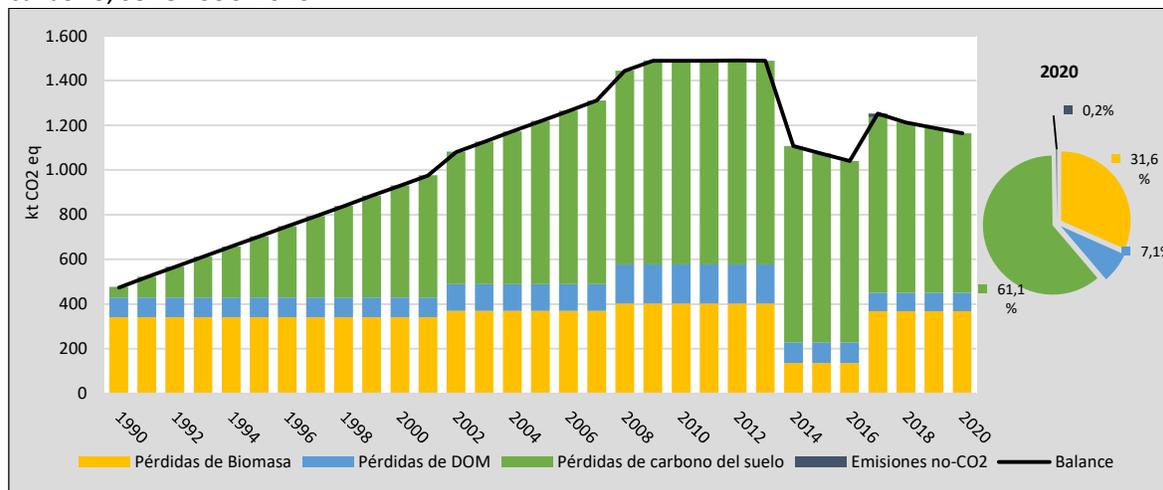
Figura 6-22. 4.B.2. Tierras convertidas en tierras de cultivo: emisiones y absorciones de GEI (kt CO₂ eq), serie 1990-2020



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 6-23), donde las pérdidas de carbono de suelo tienen la mayor importancia, alcanzando en el 2020 una participación del 61,1 % en el total de emisiones, seguido por las pérdidas de biomasa que alcanzan un 31,6 %, luego las pérdidas de carbono de la materia orgánica muerta que alcanzan un 7,1 % y finalmente las emisiones no-CO₂ que llegan al 0,2 %. Las pérdidas de carbono del suelo provienen del cambio tanto de *tierras forestales* como de *pastizales*, que al convertirse en *tierras de cultivo* tienen una pérdida de carbono asociado al manejo del suelo, las pérdidas de biomasa y de materia orgánica muerta son exclusivamente de las pérdidas por conversión de *tierras forestales* en *tierras de cultivo*.

Figura 6-23. 4.B. Tierras de cultivo: emisiones y absorciones de GEI (kt CO₂ eq) por depósito de carbono, serie 1990-2020.



Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

6.5.3 Aspectos metodológicos de la categoría

Para la estimación de las emisiones y absorciones de GEI de la categoría *Tierras de cultivo* se aplicaron el método Nivel 1 para *Tierras de cultivo que permanecen como tales* y una combinación

del método Nivel 1 y Nivel 2 para *Tierras convertidas en tierras de cultivo*. El método Nivel 2 proviene de las estimaciones realizadas para las *Tierras forestales*. Ambos métodos de acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006*. En la Tabla 6-40 se observa un resumen de los métodos aplicados por subcategoría y por tipo de GEI.

Tabla 6-40. 4.B. Tierras de cultivos: métodos aplicados por subcategoría

Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero	CO ₂		CH ₄		N ₂ O	
	Método aplicado	Factor de emisión	Método aplicado	Factor de emisión	Método aplicado	Factor de emisión
4.B.2.a. Tierras de cultivo que permanecen como tales	T1	D, CS	T1	D	T1	D
4.B.2.b. Tierras convertidas en tierras de cultivo	T1, T2, NO	D,CS, NO	NO	NO	NO	NO

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

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

El cálculo de las emisiones para esta categoría se realizó a través de libros de cálculo elaborados por el Equipo Técnico de UTCUTS con base en las hojas de cálculo de las *Directrices del IPCC de 2006*.

6.5.3.1 Biomasa

6.5.3.1.1 Método

Tierras de cultivo que permanecen como tales

Se trabaja con información de criterio experto que se levantó en la actualización del INGEI 1990-2010, generando información de la tasa de crecimiento anual para distintos tipos de frutales. De acuerdo con esto se asume que las pérdidas anuales de materia seca por efectos del manejo que se hace a los huertos (podas y limpiezas) es equivalente al crecimiento anual en biomasa, así se evita sobreestimar las absorciones bajo este concepto. Se requiere avanzar con información país específica para mejorar estas estimaciones.

Tierras convertidas en tierras de cultivo

Para el caso de las tierras que se convierten a tierras de cultivo, se consideró la cantidad de biomasa que se corta o extrae de los distintos usos de la tierra, utilizando los valores paramétricos que corresponden a cada categoría específica, y bajo un método de nivel 1 se consideró que la biomasa inmediatamente después de la corta tiene un valor de cero, debido a que la tierra se limpia completamente antes de establecer un cultivo.

Emisiones no-CO₂

Las emisiones no-CO₂ son aquellas provenientes de los incendios en tierras cultivadas por lo que se utiliza la Ecuación 6-9, descrita en la sección 4.4.3.

6.5.3.1.2 Datos paramétricos

Para establecer la biomasa de frutales que crece y se pierde anualmente con actividades de formación y producción del huerto frutal, se utiliza la información establecida por juicio experto en la serie temporal 1990-2012 del INGEI (Tabla 6-41).

Tabla 6-41. 4.B.1 Tierras de cultivos que permanecen como tales: tasa de crecimiento y pérdida anual de frutales.

Tipos de frutales	Especie	Tasa de crecimiento y pérdida anual (tMS/ha)
Frutales mayores caducifolios	Almendro	0,56
	Cerezo	0,24

Tipos de frutales	Especie	Tasa de crecimiento y pérdida anual (tMS/ha)
	Ciruelo Europeo	1,15
	Ciruelo Japonés	1,53
	Duraznero Consumo Fresco	1,67
	Duraznero Tipo Conservero	1,26
	Kiwi	0,45
	Manzano Rojo	0,28
	Manzano verde	0,40
	Nectarino	1,79
	Nogal	0,43
	Peral	0,17
Frutales mayores perennifolios	Limonero	0,25
	Naranja	0,20
	Olivo	0,48
	Palto	0,17
Frutales menores	Arándano americano	0,16
	Avellano	0,32
	Frambuesa	0,37
Viñas y Parronales	Vid de mesa	0,55
	Vid pisquera	0,34
	Vid vinífera	0,58

Fuente: Juicio experto usado en INGEI 1990-2010

Para determinar las emisiones no-CO₂, se considera la información de stock de biomasa que reporta las *Directrices del IPCC de 2006* y un factor de biomasa incendiada establecida por criterio experto en inventarios anteriores (Tabla 6-42).

Tabla 6-42. 4.B.1. Tierras de cultivo que permanecen como tales: Datos paramétricos para la determinación de emisiones no-CO₂ de incendios

Tierra	Biomasa aérea (t/ha)	Factor de biomasa incendiada	Biomasa total incendiada (t/ha/año)
Tierras de cultivo	10,0	0,7	8,4

Fuente: Directrices del IPCC de 2006, Tabla 5.9 y Factor biomasa incendiada juicio experto

6.5.3.2 Materia Orgánica Muerta

6.5.3.2.1 Método

Tierras de cultivo que permanecen como tal

Se consideró el método nivel 1 de las *Directrices del IPCC de 2006* donde la madera muerta y la hojarasca no están presentes en las tierras de cultivo, o en aquellas tierras destinadas a la agroforestería, y este depósito de carbono se encuentra en equilibrio.

Tierras convertidas en tierras de cultivo

Para el caso de las tierras convertidas en tierras de cultivo se consideró la aplicación del método de nivel 1, donde toda la materia orgánica de las tierras convertidas se emite en el año de la conversión y que no queda materia orgánica muerta en las tierras convertidas.

6.5.3.2.2 Datos paramétricos

Los valores de materia orgánica muerta corresponden a los datos paramétricos de cada categoría en dicho depósito de carbono.

6.5.3.3 Carbono del suelo

6.5.3.3.1 Método

Tierras de cultivo que permanecen como tales

Debido a que no existe suficiente información que permita determinar los cambios de cultivos que pueden existir dentro de las tierras de cultivo, se considera que el carbono del suelo no presenta cambios dentro de las tierras de cultivo.

Tierras convertidas en tierras de cultivo

Para el caso de tierras convertidas en tierras de cultivo se considera la aplicación de la Ecuación 6-11, con base en las *Directrices del IPCC de 2006*.

6.5.3.3.2 Datos paramétricos

Se toman los valores de referencia para el carbono del suelo que entrega *Directrices del IPCC de 2006* adaptados al país y para el caso de las tierras de cultivo se consideran los factores de cambio de acuerdo con la Tabla 6-43, establecidos por criterio experto.

Tabla 6-43. 4.B.2. Tierras convertidas a tierras de cultivo: Datos paramétricos para determinar carbono del suelo

Tipos de Usos/vegetación	Regiones	FLU	FMG	FI
Cultivos	ARI a MAU	0,8	1	1
Cultivos	ÑUB a MAG	0,69	1	1

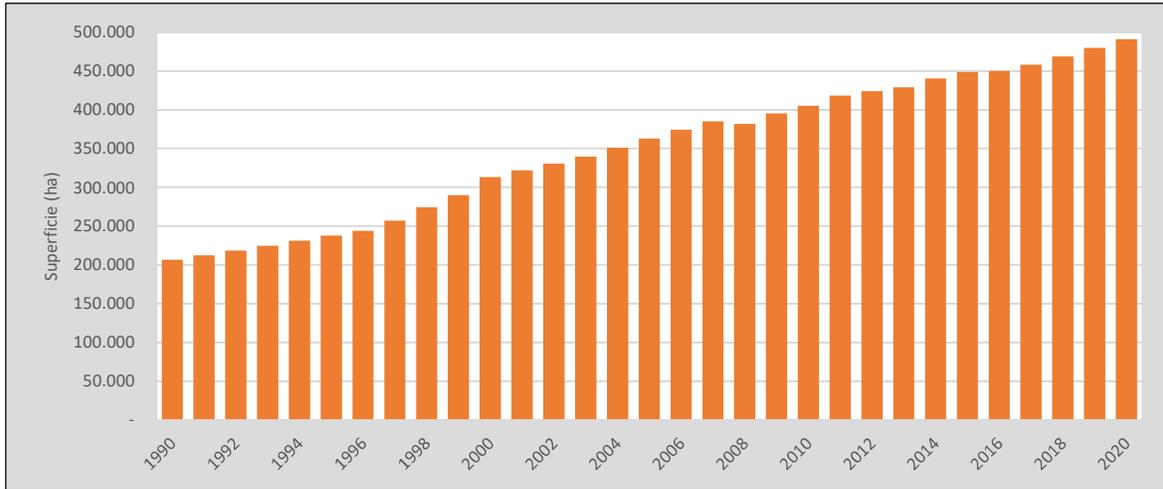
Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

6.5.3.4 Datos de actividad estadísticos

Superficie de frutales

Se cuenta con información de la superficie de frutales (Figura 6-24) que proviene del Censo Agropecuario y Forestal que se ha levantado en los años 1997 y 2007 e información actualizada en algunas regiones publicadas en los boletines de ODEPA. Los años intermedios se completan con interpolaciones e información complementaria de estadísticas del país.

Figura 6-24. 4.B.1. Tierras de cultivo que permanecen como tal: superficie de frutales (ha), serie 1990-2020.

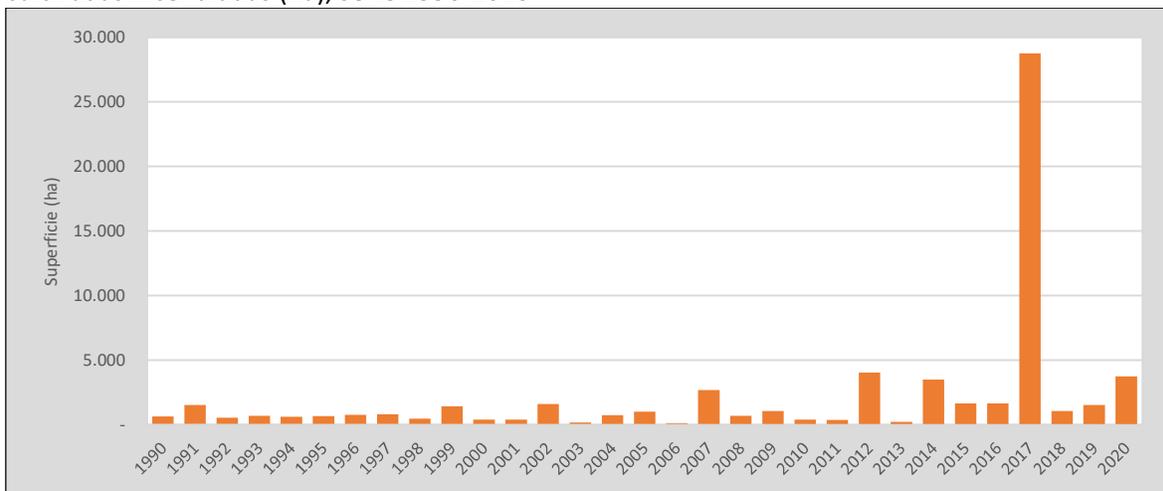


Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

Superficie de incendios en tierras de cultivo

La información de superficie de tierras agrícolas afectada por incendios proviene de la Gerencia Manejo del Fuego (CONAF). La información sobre superficie agrícola incendiada viene claramente diferenciada entre 2003-2020, 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 6-25 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 6-25. 4.B.1. Tierras de cultivos que permanecen como tales: superficie anual de tierras cultivadas incendiadas (ha), serie 1990-2020



Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

6.5.4 Incertidumbre

La incertidumbre combinada de esta categoría, para el 2018, ha sido estimada para cada componente o especie. Un resumen de los resultados de la incertidumbre combinada se presenta en la Tabla 6-44.

Tabla 6-44. 4.B. Tierras de cultivo: resumen de la incertidumbre combinada, 2018

Código IPCC	Categoría del IPCC	Gas	Incertidumbre en los datos de actividad		Incertidumbre en el factor de emisión		Incertidumbre combinada	
			(-)%	(+)%	(-)%	(+)%	(-)%	(+)%
4.B.1.	Tierras de cultivo que permanecen como tales	CH ₄	15 %	15 %	128 %	128 %	129 %	129 %
4.B.1.	Tierras de cultivo que permanecen como tales	N ₂ O	15 %	15 %	139 %	139 %	139 %	139 %
4.B.2.	Tierras convertidas en tierras de cultivo	CO ₂	21%	21%	55 %	55 %	59 %	59 %

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

Los detalles de los errores considerados en las incertidumbres se presentan en el Anexo 11.08.

6.5.5 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. Cuando se realizaron cambios de actividad paramétrica o de factor de emisión, los nuevos cálculos realizados cubrieron la serie temporal completa.

6.5.6 Procedimiento de garantía y control de calidad

6.5.6.1 Control de la calidad

Durante la actualización del ISGEI de UTCUTS se han aplicado la recomendación de control de calidad de las *Directrices del IPCC de 2006* para la subcategoría y las actividades propias del Equipo Técnico de UTCUTS. Todas estas actividades están listadas y documentadas dentro del SRT del SNICHILE, correspondiente al libro de cálculo *2020_SGCC_4UTCUTS*.

6.5.6.2 Garantía de la calidad

Previo a la actualización del sector *UTCUTS*, el Equipo Técnico de UTCUTS ha desarrollado un análisis de la inclusión de las recomendaciones levantadas durante la revisión externa, tanto del ISGEI de UTCUTS como del INGEI de Chile, para evaluar la factibilidad de su aplicación. Las recomendaciones realizadas por los revisores expertos han sido listadas y documentadas dentro del SRT del SNICHILE, correspondiente al libro de cálculo *2020_SGCC_4UTCUTS*.

6.5.6.3 Verificación

El procedimiento de verificación consistió en realizar comparaciones de los resultados obtenidos durante esta serie temporal y la anterior calculada. Gracias a ello se logró detectar diferencias y establecer inconsistencias entre los datos empleados.

Por el momento no se cuenta con datos de otras fuentes (nacionales o internacionales) con los cuales se pueda comparar los resultados.

6.5.7 Nuevos cálculos

6.5.7.1 Justificaciones de los nuevos cálculos y mejoras

Superficie de tierras convertidas a tierras de cultivo

La matriz de cambio de uso de la tierra fue modificada para la serie temporal y esto generó cambios en la superficie que fue convertida a tierras de cultivo.

6.5.7.2 Implicaciones para los niveles de emisión

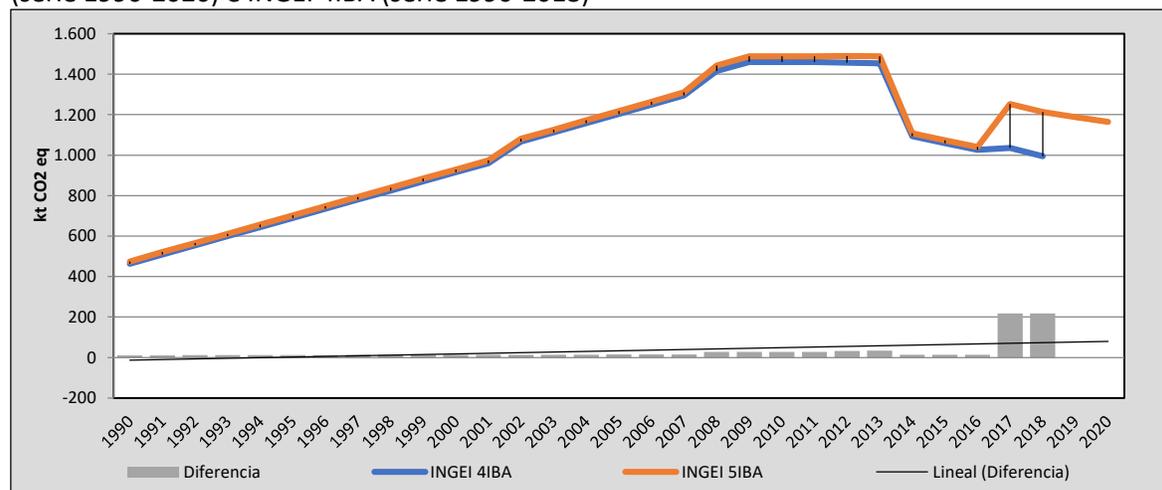
En la Tabla 6-45 y Figura 6-26 se observa cómo variaron las emisiones de GEI de esta categoría respecto del inventario anterior (INGEI 4IBA). La diferencia se debe al cambio de superficie de conversión de tierras a tierras de cultivo. Esto generó, en suma, un aumento de las emisiones GEI de la categoría en un promedio de 30,7 kt CO₂ eq anuales durante la serie 1990-2018.

Tabla 6-45. 4.B. Tierras de cultivo: comparación entre el balance de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI 5IBA (serie 1990-2020) e INGEI 4IBA (serie 1990-2018)

INGEI	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020
INGEI 3IBA	463,9	915,3	1.460,4	1.453,7	1.025,6	995,0	
INGEI 4IBA	474,7	929,1	1.488,3	1.487,8	1.039,8	1.212,5	1.164,1
Diferencia	10,9	13,7	27,9	34,1	14,2	217,4	
Diferencia %	2,3%	1,5%	1,9%	2,3%	1,4%	17,9%	

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

Figura 6-26. 4.B. Tierras de cultivo: comparación entre el balance de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI 5IBA (serie 1990-2020) e INGEI 4IBA (serie 1990-2018)



Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

6.5.8 Plan de mejoramiento

En respuesta al análisis propio del Equipo Técnico de UTCUTS y a las recomendaciones de la revisión experta del INGEI de Chile, las mejoras planificadas del sector se presentan en la Tabla 6-46.

Tabla 6-46. Plan de mejoramiento continuo: Tierras de cultivo

ID	Categoría	Mejoras detectadas por el equipo técnico del sector	Estatus	Acciones implementadas o en implementación	Acciones previstas
U10	4.B. Tierras de cultivo	Es importante considerar la actualización de los factores de emisión en los frutales, ya que, de acuerdo con criterio experto, actualmente las ganancias y pérdidas de biomasa se encuentran en balance cero. Si bien, las Tierras de cultivo no son una categoría principal del INGEI, es importante avanzar en el desarrollo de estos factores de emisión, debido al aumento de superficie de frutales en la serie temporal. Se espera avanzar en este mejoramiento en un corto a mediano plazo y dependerá de la existencia de información país y posibles nuevos trabajos de investigación que se realicen.	No implementado	No dependen del equipo del SNICHile	No dependen del equipo del SNICHile
U11	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	No dependen del equipo del SNICHile

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

6.6 Pastizales (4.C.)

6.6.1 Descripción de la categoría

En el país se considera el uso de la tierra *Pastizales* como el área de praderas y matorrales, y se refiere a formaciones herbáceas, suculentas, arbustivas y arbustivo-herbáceas. Se subdividen de acuerdo con el tipo biológico preponderante (pastos o arbustos) y sus especies dominantes. En 2020 se cuenta con una superficie de 30.494.352 ha (CONAF, 2021) y ha disminuido desde 1990 en 3%.

Esta categoría incluye las emisiones no-CO₂ de incendios en *Pastizales que permanecen como tales*, donde se consideran a los Pastizales que no se han sometido a ninguna conversión en su uso durante un período de al menos 20 años y se incluyen las emisiones y absorciones de CO₂ generadas por cambios en la biomasa, materia orgánica muerta y carbono en el suelo en *Tierras convertidas a Pastizales*, y que son tierras que se han convertido a *Pastizales* y tienen un período menor a 20 años en esta subcategoría.

6.6.2 Tendencia de las emisiones de GEI

En 2020, el balance de GEI contabilizó una emisión de 4.201,3 kt CO₂ eq. Las emisiones han disminuido en 47 % desde 1990 y han aumentado en 1 % desde 2018 (Tabla 6-47).

Tabla 6-47. 4.C. Pastizales: emisiones y absorciones de GEI (kt CO₂ eq) por subcategoría, serie 1990-2020.

Componente	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020
4.C.1. Pastizales que permanecen como tales	14,93	10,01	29,97	10,69	22,66	19,31	44,64
4.C.2. Tierras convertidas en pastizales	7.961,0	7.695,5	3.561,8	3.526,1	2.897,4	4.155,0	4.156,7
Balance	7.975,9	7.705,5	3.591,8	3.536,7	2.920,0	4.174,3	4.201,3

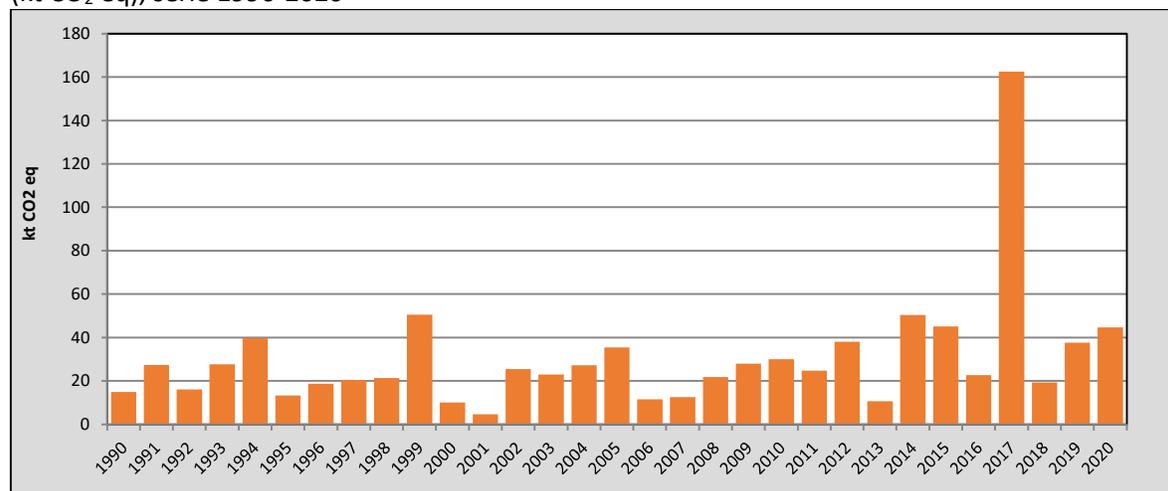
Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

Para el caso de las tierras de pastizales que permanecen como tales, se contabilizan las emisiones no-CO₂ de incendios que ocurren en esta categoría. En 2020, el balance de GEI de esta subcategoría contabilizó 44,6 kt CO₂ eq, aumentando en 199 % desde 1990 y aumentando en un 131,12 % desde 2018 (Tabla 6-48 y Figura 6-27). Se observa una variabilidad en la serie temporal que se relaciona directamente con la variabilidad de ocurrencia de incendios en el país.

Tabla 6-48. 4.C.1. Pastizales que permanecen como tales: emisiones no-CO₂ de incendios (kt CO₂ eq) por componente, serie 1990-2020

Subcomponente	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020
Pastizales incendiados	14,9	10,0	30,0	10,7	22,7	19,3	44,6
Balance	14,9	10,0	30,0	10,7	22,7	19,3	44,6

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

Figura 6-27. 4.C.1. Pastizales que permanecen como tales: emisiones no-CO₂ de incendios (kt CO₂ eq), serie 1990-2020

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

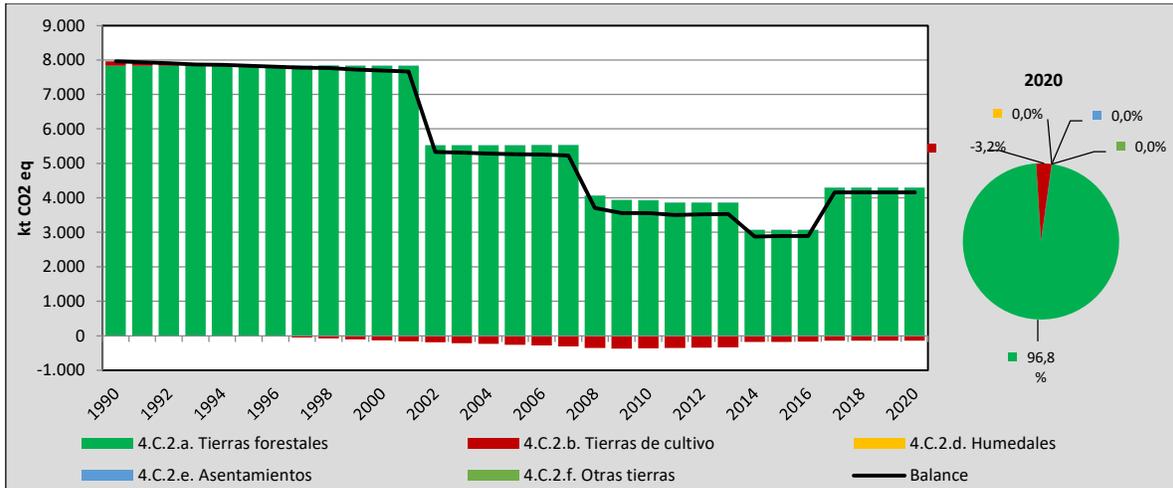
Las tierras convertidas a pastizales son las más importantes en términos de emisiones, en 2020, el balance de CO₂ de esta subcategoría contabilizó 4.156,7 kt CO₂ eq, disminuyendo en 47,8 % desde 1990 y aumentando en un 0,04 % desde 2018 (Tabla 6-49 y Figura 6-28). Respecto de las emisiones y absorciones de GEI en términos absolutos, las *Tierras forestales* convertidas a tierras de pastizales son las de mayor aporte en las emisiones con un 96,8 % seguido por las *Tierras de cultivo* con un 3,2 %.

Tabla 6-49. 4.C.2. Tierras convertidas en pastizales: emisiones y absorciones de GEI (kt CO₂ eq) por componente, serie 1990-2020

Subcomponente	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020
4.C.2.a. Tierras forestales	7.828,9	7.828,9	3.926,7	3.862,7	3.066,9	4.298,2	4.298,2
4.C.2.b. Tierras de cultivo	132,0	-133,5	-365,0	-336,7	-169,6	-143,3	-141,6
4.C.2.c. Humedales	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
4.C.2.d. Asentamientos	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
4.C.2.e. Otras tierras	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Balance	7.961,0	7.695,5	3.561,8	3.526,1	2.897,4	4.155,0	4.156,7

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

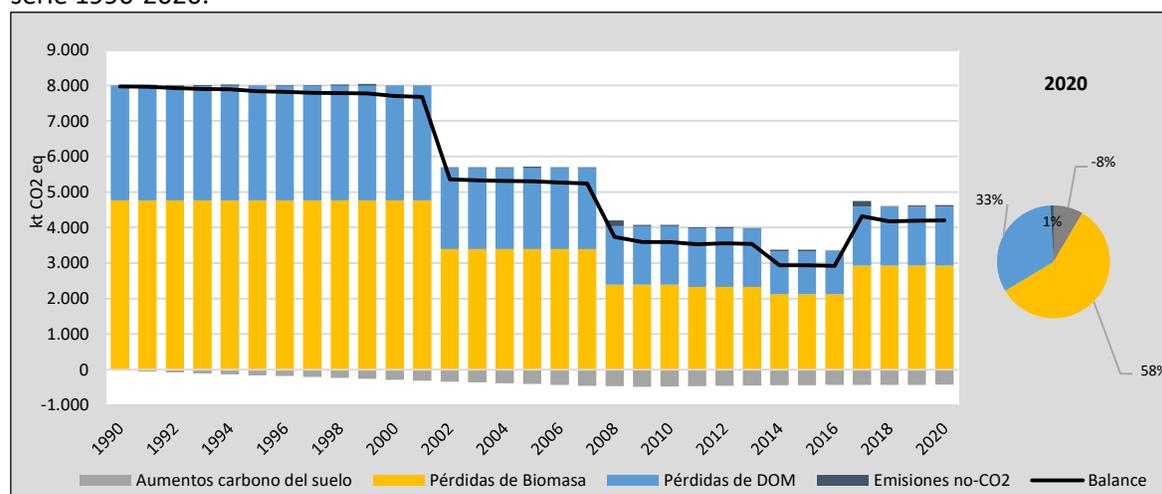
Figura 6-28. 4.C.2. Tierras convertidas en pastizales: emisiones y absorciones de GEI (kt CO₂ eq), serie 1990-2018



Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

El impacto de las conversiones de tierras a pastizales se refleja en los depósitos de carbono (Figura 6-29), en el 2020, la pérdida de biomasa alcanza un 58 %, seguido por las pérdidas de materia orgánica muerta con un 33 %, y los aumentos de carbono del suelo con un 8 %, mientras que las emisiones no-CO₂ alcanzan un 1%. Las pérdidas de carbono de la biomasa y de la materia orgánica muerta provienen del cambio de tierras forestales a pastizales, también existe un aumento del depósito de carbono del suelo, que se debe al cambio de tierras de cultivo a pastizales.

Figura 6-29. 4.C. Pastizales: emisiones y absorciones de GEI (kt CO₂ eq) por depósito de carbono, serie 1990-2020.



Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

6.6.3 Aspectos metodológicos de la categoría

Para la estimación de las emisiones y absorciones de CO₂ de la categoría *Pastizales* se aplicó método Nivel 1 y Nivel 2 de acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006*. El método Nivel 2 se aplica en las estimaciones realizadas para las *Tierras forestales en Tierras convertidas en pastizales*. En la Tabla 6-50 se observa un resumen de los métodos aplicados por subcategoría y por tipo de GEI.

Tabla 6-50. 4.C. Pastizales: métodos aplicados por subcategoría

Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero	CO ₂		CH ₄		N ₂ O	
	Método aplicado	Factor de emisión	Método aplicado	Factor de emisión	Método aplicado	Factor de emisión
4.C.1. Pastizales que permanecen como tal	T1	D	T1	D	T1	D
4.C.2. Tierras convertidas en Pastizales	T1, T2, NO	D, CS, NO	T1, T2	D, CS	T1, T2	D, CS

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

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

El cálculo de las emisiones para esta subcategoría se realizó a través de libros de cálculo elaborados por el Equipo Técnico de UTCUTS con base en las hojas de cálculo de las *Directrices del IPCC de 2006*.

6.6.3.1 Biomasa

6.6.3.1.1 Método

Para el caso de los *Pastizales que permanecen como tales* se aplica el método de Nivel 1 en el cual se supone que no hay cambios en la biomasa. En los pastizales en los que no hay cambios ni en el tipo ni en la intensidad de la gestión, la biomasa estará en un régimen más o menos constante (esto es, la acumulación de carbono debida al crecimiento vegetal se equilibra con las pérdidas debidas al pastoreo, la descomposición, y el fuego). Para efectos de la elaboración del INGEI existe una carencia de valores país o región específicos respecto de depósitos de carbono en la biomasa aérea y subterránea de pastizales, especialmente en lo que se refiere a biomasa aérea y subterránea de los pastizales, que permitan avanzar a una metodología de nivel superior.

Las emisiones que considera esta subcategoría son las emisiones de no-CO₂ provenientes de los incendios en pastizales, por lo que se utiliza la Ecuación 6-9, descrita en la sección 4.4.3.1.1.

Para el caso de las tierras que se convierten a pastizales, se consideró la cantidad de biomasa que se corta o extrae de los distintos tipos de tierras, utilizando los valores paramétricos que corresponden a cada categoría de tierras, y bajo un método de nivel 1 se supone que se pierde toda la biomasa del ecosistema anterior, justo después de la conversión, incluso si no hay un cambio abrupto, y se supone que la biomasa residual ($B_{\text{DESPUÉS}}$) es, por lo tanto, cero (es decir, se elimina toda la vegetación de la tierra antes de que se establezca la vegetación del pastizal). Además, se supone que los pastizales alcanzan su biomasa de régimen constante durante el primer año posterior a la conversión.

6.6.3.1.2 Datos paramétricos

En cuanto a los datos requeridos se considera la información de stock de biomasa de pastizales que reporta las *Directrices del IPCC de 2006* diferenciada por zona climática para las regiones administrativas del país (Tabla 6-51).

Tabla 6-51. 4.C.1. Pastizales que permanecen como tal: datos paramétricos de biomasa de pastizales

Región	Biomasa aérea (t/ha)	R	Biomasa aérea total (t/ha)
ARI-MAU(Warm temperate - Dry/table 6.4)	1,6	2,8	6,1
ÑUB-LAG (Warm temperate -Wet / Table 6.4)	2,7	4,0	13,5
AIS-MAG (Cold temperate-Wet/Table 6.4)	2,4	4,0	12,0

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

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” con un valor de 14,3. Para el caso de incendios en tierras de pastizales se usa el factor de combustión de la tabla 2.6 correspondiente a sabana con un valor de 0,86.

6.6.3.2 Materia Orgánica Muerta

6.6.3.2.1 Método

Para los pastizales que permanecen como tal se consideró el método nivel 1 de las *Directrices del IPCC de 2006*, que supone que la materia muerta y los depósitos de hojarasca están en equilibrio, de modo que no es necesario estimar los cambios en las existencias de carbono para estos depósitos.

Para el caso de las tierras convertidas a pastizales se consideró la aplicación del método de nivel 1, donde toda la materia orgánica de las tierras convertidas se emite en el año de la conversión y que no queda materia orgánica muerta en las tierras convertidas.

6.6.3.2.2 Datos paramétricos

Los valores de materia orgánica muerta para el caso las tierras forestales convertidas a pastizales corresponden a los datos paramétricos informados en la sección de tierras forestales (Tabla 6-29 y Tabla 6-30).

6.6.3.3 Carbono del suelo

6.6.3.3.1 Método

Debido a que no existe suficiente información que permita determinar los cambios de pastizales que pueden existir dentro de la subcategoría de pastizales que permanecen como tales, se considera un método de nivel 1, donde el carbono del suelo no presenta cambios dentro de los pastizales.

Para el caso de tierras convertidas a pastizales se considera la aplicación de la Ecuación 6-11 (Ecuación 2.25 de las *Directrices del IPCC de 2006*, Volumen 4, Capítulo 2). Específicamente, las existencias iniciales (antes de la conversión) de carbono orgánico del suelo ($SOC_{(0-T)}$) y las existencias del último año del periodo de inventario (SOC_0) se contabilizan a partir de las existencias de referencia por defecto de C orgánico del suelo (SOC_{REF}) y los factores de cambio de existencias (F_{LU} , F_{MG} , F_I). Las tasas anuales de cambio de existencias se estiman basándose en la diferencia en las existencias (a través del tiempo) para el primer y el último año del periodo de inventario, dividido por la dependencia temporal de los factores de cambio de existencias (D , el valor por defecto es de 20 años).

6.6.3.3.2 Datos paramétricos

Se toman los valores de referencia para el carbono del suelo que entrega *Directrices del IPCC de 2006* adaptados al país, y para el caso de los pastizales se consideran los factores de cambio de acuerdo con la Tabla 6-52, establecidos por juicio experto.

Tabla 6-52. 4.C. Pastizales: Datos paramétricos para determinar carbono del suelo

Tipos de Usos/vegetación	FLU	FMG	FI
Pastizales	1	1	1

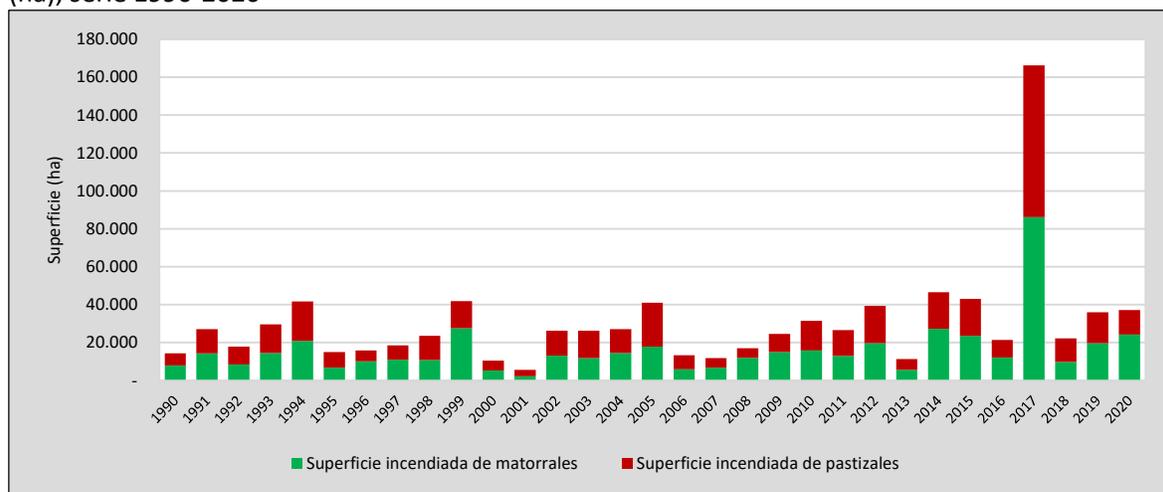
Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

6.6.3.4 Datos de actividad estadísticos

Superficie de incendios en pastizales

La información de superficie de pastizales afectada por incendios forestales proviene de la Gerencia Manejo del Fuego (CONAF). La Figura 6-30 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 6-30. 4.C.1. Pastizales que permanecen como tales: superficie anual de pastizales incendiadas (ha), serie 1990-2020



Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

6.6.4 Incertidumbre

La incertidumbre combinada de esta subcategoría, para el 2020, ha sido estimada para cada componente. Un resumen de los resultados de la incertidumbre combinada se presenta en la Tabla 6-53. Los detalles de los errores considerados para el cálculo de la incertidumbre se presentan en el Anexo 11.08.

Tabla 6-53. 4.B. Tierras de cultivo: resumen de la incertidumbre combinada.

Código IPCC	Categoría del IPCC	Gas	Incertidumbre en los datos de actividad		Incertidumbre en el factor de emisión		Incertidumbre combinada	
			(-)%	(+)%	(-)%	(+)%	(-)%	(+)%
4.C.1.	Pastizales que permanecen como tales	CH ₄	15 %	15 %	127 %	127 %	128 %	128 %
4.C.1.	Pastizales que permanecen como tales	N ₂ O	15 %	15 %	138 %	138 %	139 %	139 %
4.C.2.	Tierras convertidas en pastizales	CO ₂	21 %	21 %	28 %	28 %	35 %	35 %

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

6.6.5 Consistencia de la serie temporal

Para mantener la consistencia de la serie temporal 1990-2018 se usaron los mismos factores de emisión y la misma fuente de datos de actividad, tanto estadísticos como paramétricos. Cuando se realizaron cambios de actividad paramétrica o de factor de emisión, los nuevos cálculos realizados cubrieron la serie temporal completa.

6.6.6 Procedimiento de garantía y control de calidad

6.6.6.1 Control de la calidad

Durante la actualización del ISGEI de UTCUTS se han aplicado la recomendación de control de calidad de las *Directrices del IPCC de 2006* para la subcategoría y las actividades propias del Equipo Técnico de UTCUTS. Todas estas actividades están listadas y documentadas dentro del SRT del SNICHILE, correspondiente al libro de cálculo *2020_SGCC_4UTCUTS*.

6.6.6.2 Garantía de la calidad

Previo a la actualización del sector *UTCUTS*, el Equipo Técnico de *UTCUTS* ha desarrollado un análisis de la inclusión de las recomendaciones levantadas durante la revisión externa, tanto del ISGEI de *UTCUTS* como del INGEI de Chile, para evaluar la factibilidad de su aplicación. Las recomendaciones realizadas por los revisores expertos han sido listadas y documentadas dentro del SRT del SNICHILE, correspondiente al libro de cálculo *2020_SGCC_4UTCUTS*.

6.6.6.3 Verificación

El procedimiento de verificación consistió en realizar comparaciones de los resultados obtenidos durante esta serie temporal y la anterior calculada. Gracias a ello se logró detectar diferencias y establecer inconsistencias entre los datos empleados.

Por el momento no se cuenta con datos de otras fuentes (nacionales o internacionales) con los cuales se pueda comparar los resultados.

6.6.7 Nuevos cálculos

6.6.7.1 Justificaciones de los nuevos cálculos y mejoras

Superficie de tierras convertidas a tierras de pastizales

La matriz de cambio de uso de la tierra fue modificada para la serie temporal y esto generó cambios en la superficie que se convierte a tierras de pastizales.

Valor de consumo de combustible provocado por incendios en el tipo de vegetación matorrales

Se revisó la información de biomasa de matorrales, y se estableció que no representaba de manera adecuada la distribución de matorrales en el uso de la tierra de pastizales y se usó el valor de consumo de combustible de las *Directrices del IPCC de 200* de la Tabla 2.4, mientras se avanza en una mejor información específica para el país.

6.6.7.2 Implicaciones para los niveles de emisión

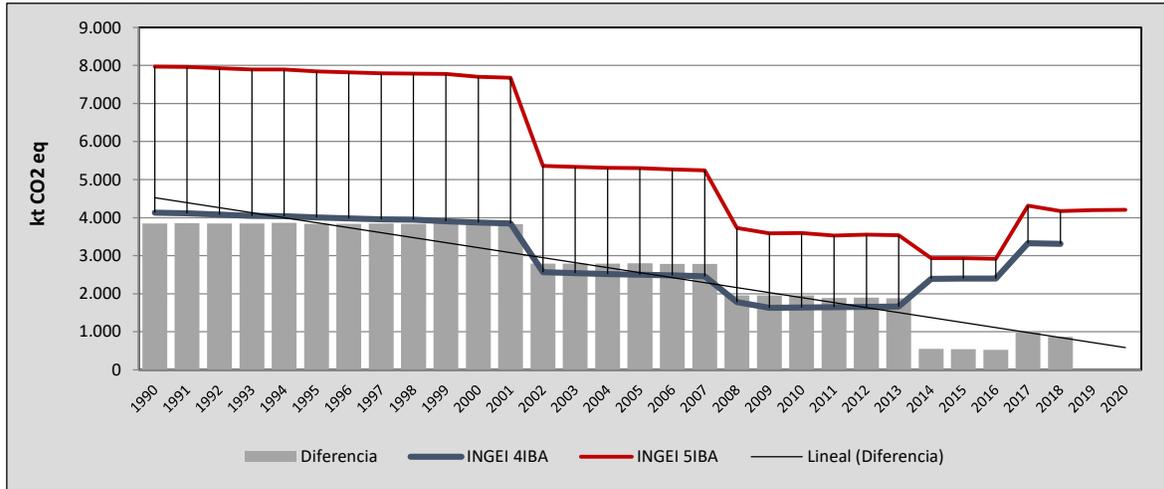
En la Tabla 6-54 y Figura 6-31 se observa cómo variaron las emisiones de GEI de esta categoría respecto del inventario anterior (INGEI 4IBA). La diferencia se debe al cambio de superficie de conversión de tierras a pastizales y al cambio en el valor de consumo de combustible. Esto generó un aumento de las emisiones GEI de la categoría en un promedio de 2.685,1 kt CO₂ eq anuales durante la serie 1990-2018.

Tabla 6-54. 4.C. Pastizales: comparación entre el balance de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI 5IBA (serie 1990-2020) e INGEI 4IBA (serie 1990-2018)

INGEI	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020
INGEI 4IBA	4.133,4	3.873,7	1.634,2	1.659,1	2.397,4	3.307,7	
INGEI 5IBA	7.975,9	7.705,5	3.591,8	3.536,7	2.920,0	4.174,3	4.201,3
Diferencia	3.842,5	3.831,8	1.957,6	1.877,6	522,6	866,6	
Diferencia %	48,2%	49,7%	54,5%	53,1%	17,9%	20,8%	

Fuente: Equipo Técnico de *UTCUTS* del MINAGRI

Figura 6-31. 4.C. Pastizales: comparación entre el balance de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI 5IBA (serie 1990-2020) e INGEI 4IBA (serie 1990-2018)



Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

6.6.8 Plan de mejoramiento

En respuesta al análisis propio del Equipo Técnico de UTCUTS y a las recomendaciones de la revisión experta del INGEI de Chile, las mejoras planificadas del sector se resumen en la Tabla 6-55.

Tabla 6-55. Plan de mejoramiento continuo: Pastizales

ID	Categoría	Mejoras detectadas por el equipo técnico del sector	Estatus	Acciones implementadas o en implementación	Acciones previstas
U12	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	No dependen del equipo del SNICHile
U13	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	No dependen del equipo del SNICHile

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

6.7 Humedales (4.D.)

6.7.1 Descripción de la categoría

De acuerdo con la definición del país en humedales se consideran extensiones de marismas, pantanos y turberas o, en general, superficies cubiertas de agua, sean estas de caracteres naturales o artificiales, permanentes o temporales, estancados o corrientes, dulces, salobres o salados. Se incluyen las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda de 6 metros. Además, se incluyen en esta categoría las vegas y bofedales debido a su hidromorfismo. También se incluyen los cuerpos de agua que son las zonas cubiertas por el mar, ríos, lagos, lagunas y embalses. La superficie de humedales llega a los 2.303.744 ha en el año 2020 disminuyendo en 1 % desde 1990 (CONAF, 2021).

Las *Directrices del IPCC de 2006* brindan orientación sobre cómo estimar y declarar las emisiones de gases de efecto invernadero producidas por humedales gestionados considerando dos categorías, turberas y reservorios o embalses para la producción de energía, irrigación, navegación o recreación. No existe información suficiente de datos de actividad en el país para cuantificar las emisiones por gestión de turberas. Por lo que sólo se contabiliza las emisiones de CO₂ asociadas a los reservorios o embalses, específicamente para tierras convertidas en tierras inundadas.

6.7.2 Tendencia de las emisiones de GEI

En 2020, el balance de GEI contabilizó una emisión de 3,6 kt CO₂ eq. Las emisiones han disminuido en 94,3% desde 1990 y no presenta cambios desde 2018 (Tabla 6-56). Las tierras convertidas a humedales son las que generan emisiones por las pérdidas del depósito de carbono de la biomasa.

Tabla 6-56. 4.C. Humedales: emisiones y absorciones de GEI (kt CO₂ eq) por subcategoría, serie 1990-2020.

Componente	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020
4.D.1. Humedales que permanecen como tales							
4.D.2. Tierras convertidas en humedales	82,3	82,3	41,8	41,8	4,5	4,7	4,7
Balance	82,3	82,3	41,8	41,8	4,5	4,7	4,7

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

Para el caso de la subcategoría *Humedales que permanecen como tales* no se estiman emisiones. Para las *tierras convertidas a Humedales*, en 2020, el balance de CO₂ de esta subcategoría contabilizó 4,7 kt CO₂ eq, disminuyendo en un 94,3 % desde 1990 y sin variaciones respecto al 2018 (Tabla 6-57 y Figura 6-32). Respecto de las emisiones y absorciones de GEI en términos absolutos, las *tierras forestales* convertidas a *humedales* son las de mayor aporte en las emisiones con un 66,7 % seguido por *Pastizales* con un 32,7 %. Esta tendencia en la serie temporal se relaciona directamente con los resultados de la superficie de cambio de uso de la tierra, donde las tierras forestales son la superficie con mayor cambio a humedales.

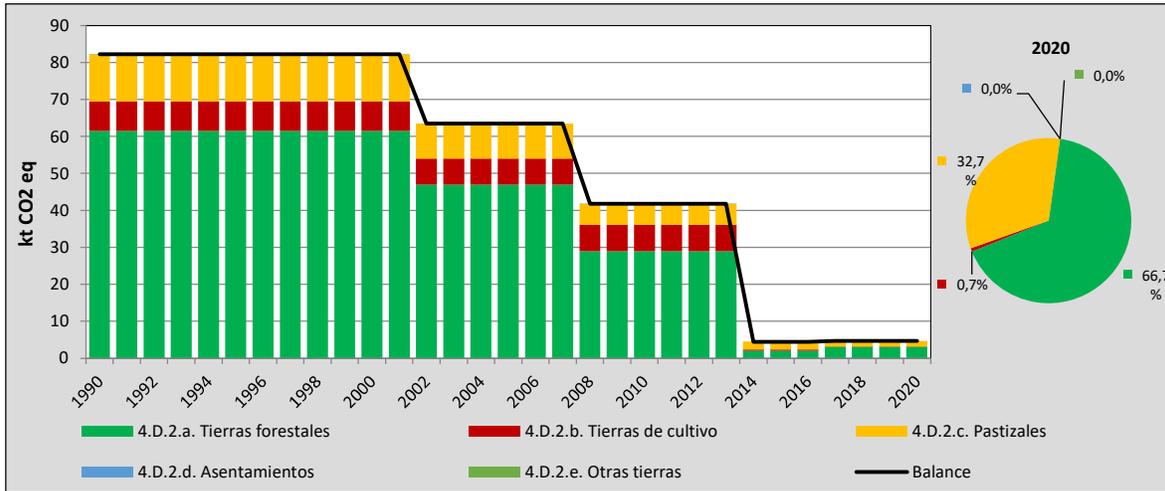
Tabla 6-57. 4.D.2. Tierras convertidas en humedales: emisiones y absorciones de GEI (kt CO₂ eq) por componente, serie 1990-2020

Subcomponente	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020
4.D.2.a. Tierras forestales	61,5	61,5	28,9	28,9	2,0	3,1	3,1
4.D.2.b. Tierras de cultivo	8,0	8,0	7,1	7,1	0,3	0,0	0,0

Subcomponente	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020
4.D.2.c. Pastizales	12,8	12,8	5,7	5,7	2,1	1,5	1,5
4.D.2.d. Asentamientos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
4.D.2.e. Otras tierras	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Balance	82,3	82,3	41,8	41,8	4,5	4,7	4,7

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

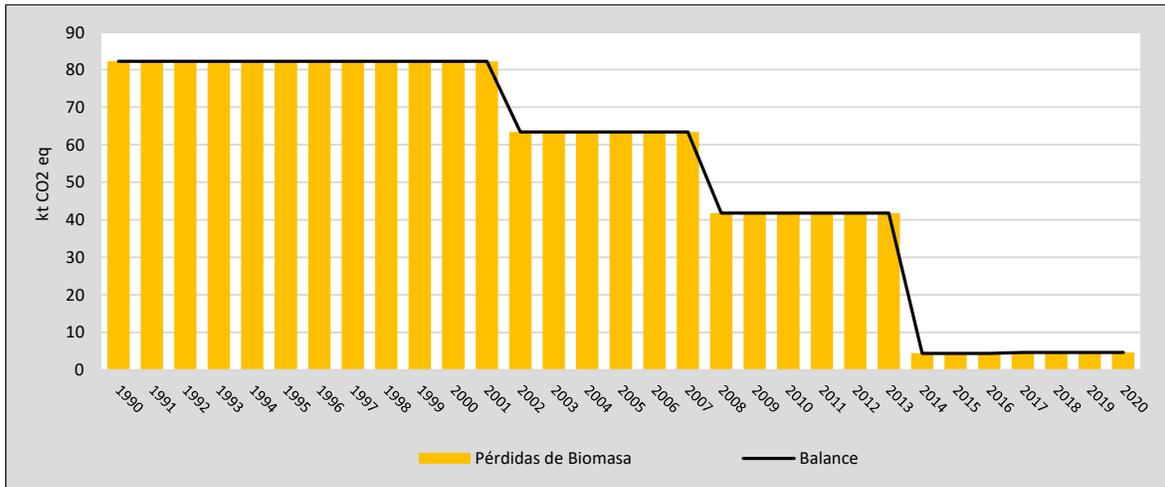
Figura 6-32. 4.D.2. Tierras convertidas en humedales: emisiones y absorciones de GEI (kt CO₂ eq), serie 1990-2020



Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

En el caso de los depósitos de carbono, la pérdida de biomasa es afectada directamente por las conversiones de tierras a humedales (Figura 6-33). Las pérdidas de carbono de la biomasa en la serie temporal provienen principalmente del cambio de tierras forestales, seguidos por los pastizales y las tierras de cultivo que se convierten a humedales, no obstante, estas últimas ya no ocurren en los dos últimos años de la serie temporal.

Figura 6-33. 4.D. Humedales: emisiones y absorciones de GEI (kt CO₂ eq) por subcategoría, serie 1990-2020.



Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

6.7.3 Aspectos metodológicos de la categoría

La metodología por defecto para *Tierras convertidas en tierras inundadas* ofrece orientación para la estimación de emisiones de CO₂ debidas a la inundación. Para la estimación de las emisiones de CO₂ de la categoría *Humedales* se aplicó una combinación del método Nivel 1 y Nivel 2 para *Tierras convertidas en humedales*. El método Nivel 2 proviene de las estimaciones realizadas para las *Tierras forestales*. Ambos métodos de acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006*. En la Tabla se observa un resumen de los métodos aplicados por subcategoría y por tipo de GEI.

Tabla 6-58. 4.D. Humedales: métodos aplicados por subcategoría

Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero	CO ₂		CH ₄		N ₂ O	
	Método aplicado	Factor de emisión	Método aplicado	Factor de emisión	Método aplicado	Factor de emisión
4.D.1. Humedales que permanecen como tales	NE	NE				
4.D.2. Tierras convertidas en Humedales	T1, T2, NO	D, CS, NO				

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

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

El cálculo de las emisiones para esta categoría se realizó a través de libros de cálculo elaborados por el Equipo Técnico de UTCUTS con base en las hojas de cálculo de las *Directrices del IPCC de 2006*.

6.7.3.1 Biomasa

6.7.3.1.1 Método

Tierras convertidas a humedales

En el caso de *Humedales*, dado que solo se posee la superficie que cambia a humedales, se asumió que todo el carbono de la biomasa que existía previamente se emite como CO₂ en el año del cambio de uso, como se detalla en las *Directrices del IPCC de 2006*.

Para estimar las absorciones y emisiones de carbono, se utilizó el cambio anual en las existencias de carbono en la biomasa viva de tierras convertidas en tierras permanentemente inundadas (Ecuación 6-12):

Ecuación 6-12. Cambio anual en las existencias de carbono en la biomasa viva de tierras convertidas en tierras permanentemente inundadas

$$\Delta C_{LWinund.LB} = \left[\sum_i A_i * (B_{Después_i} - B_{Antes_i}) \right] * CF$$

$$CO_{2_LWinund} = \Delta C_{LWinund.LB} * \frac{-44}{12}$$

Fuente: Ecuación 7.10; Capítulo 4; Volumen 4; *Directrices del IPCC de 2006*

Donde:

- $\Delta C_{LWinund.LB}$ = Cambio anual en las existencias de carbono de la biomasa en *Tierras convertidas en humedales* (tC año⁻¹),
- A_i = Superficie de tierras convertidas anualmente en *Humedales* a partir del uso original de la tierra (ha año⁻¹),
- $B_{Después_i}$ = Biomasa inmediatamente después de la conversión en *Humedales* (t ms ha⁻¹ (= 0)),
- B_{Antes_i} = Biomasa antes de la conversión en *Humedales* (t ms ha⁻¹),

- $CF = \text{Fracción de carbono de materia seca } (= 0,5) \text{ (t C (t ms)}^{-1})$,
- $CO_{2_LWinund} = \text{Emisiones anuales de } CO_2 \text{ en } \textit{Tierras convertidas en humedales} \text{ (t } CO_2 \text{ año}^{-1})$.

Se asume que el carbono previo a la inundación se emite al año de la conversión.

6.7.3.1.2 Datos paramétricos

Para el caso de las tierras que se convierten a humedales, se consideró la cantidad de biomasa que se corta o extrae de los distintos tipos de tierras, utilizando los valores paramétricos que corresponden a cada categoría de tierras y bajo un método de nivel 1 se supone que se pierde toda la biomasa del ecosistema anterior justo después de la conversión. Los valores por defecto para la biomasa previos a la conversión pueden encontrarse en las categorías específicas de tierras.

6.7.3.2 Datos de actividad estadísticos

Los datos de actividad estadísticos provienen de la Matriz de cambio de usos de la tierra.

6.7.4 Incertidumbre

La incertidumbre combinada de esta subcategoría, para el 2020, ha sido estimada para cada componente o especie. Un resumen de los resultados de la incertidumbre combinada se presenta en la Tabla 6-59. Los detalles de los errores considerados para el cálculo de la incertidumbre se presentan en el Anexo 11.08.

Tabla 6-59. 4.D.2. Tierras convertidas en humedales: resumen de la incertidumbre combinada, 2016

Código IPCC	Categoría del IPCC	Gas	Incertidumbre en los datos de actividad		Incertidumbre en el factor de emisión		Incertidumbre combinada	
			(-)%	(+)%	(-)%	(+)%	(-)%	(+)%
4.D.2	Tierras convertidas en humedales	CO ₂	21 %	21 %	30 %	30 %	36 %	36%

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

6.7.5 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. Cuando se realizaron cambios de actividad paramétrica o de factor de emisión, los nuevos cálculos realizados cubrieron la serie temporal completa.

6.7.6 Procedimiento de garantía y control de calidad y verificación

6.7.6.1 Control de la calidad

Durante la actualización del ISGEI de UTCUTS se han aplicado la recomendación de control de calidad de las *Directrices del IPCC de 2006* para la subcategoría y las actividades propias del Equipo Técnico de UTCUTS. Todas estas actividades están listadas y documentadas dentro del SRT del SNICHILE, correspondiente al libro de cálculo *2020_SGCC_4UTCUTS*.

6.7.6.2 Garantía de la calidad

Previo a la actualización del sector *UTCUTS*, el Equipo Técnico de UTCUTS ha desarrollado un análisis de la inclusión de las recomendaciones levantadas durante la revisión externa, tanto del ISGEI de UTCUTS como del INGEI de Chile, para evaluar la factibilidad de su aplicación. Las recomendaciones

realizadas por los revisores expertos han sido listadas y documentadas dentro del SRT del SNICHILE, correspondiente al libro de cálculo 2020_SGCC_4UTCUTS.

6.7.6.3 Verificación

El procedimiento de verificación consistió en realizar comparaciones de los resultados obtenidos durante esta serie temporal y la anterior calculada. Gracias a ello se logró detectar diferencias y establecer inconsistencias entre los datos empleados.

Por el momento no se cuenta con datos de otras fuentes (nacionales o internacionales) con los cuales se pueda comparar los resultados.

6.7.7 Nuevos cálculos

6.7.7.1 Justificaciones de los nuevos cálculos y mejoras

Superficie de tierras convertidas a humedales

La matriz de cambio de uso de la tierra fue modificada para la serie temporal y esto generó cambios en la superficie convertida humedales.

6.7.7.2 Implicaciones para los niveles de emisión

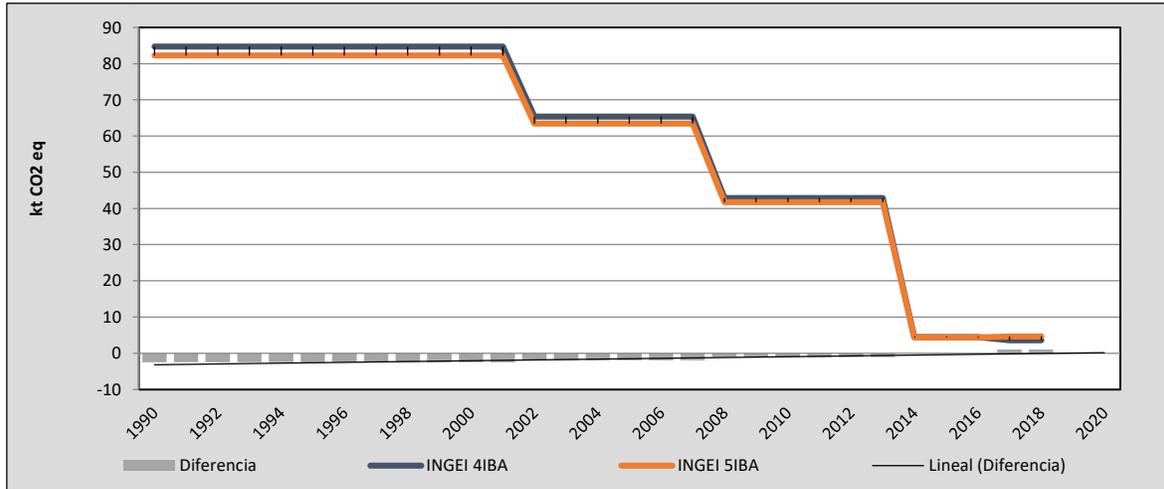
En la Tabla 6-60 y Figura 6-34 se observa cómo variaron las emisiones de GEI de esta categoría respecto del inventario anterior (INGEI 4IBA). La diferencia se debe principalmente al cambio de superficie de conversión de tierras a humedales. Esto generó una disminución de las emisiones GEI de la categoría en un promedio de 1,6 kt CO₂ eq anuales durante la serie 1990-2018.

Tabla 6-60. 4.D. Humedales: comparación entre el balance de CO₂ (kt CO₂ eq) del INGEI 5IBA (serie 1990-2020) e INGEI 4IBA (serie 1990-2018)

INGEI	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020
INGEI 4IBA	84,7	84,7	42,9	42,9	4,4	3,6	
INGEI 5IBA	82,3	82,3	41,8	41,8	4,5	4,7	4,7
Diferencia	-2,4	-2,4	-1,1	-1,1	0,0	1,1	
Diferencia %	-3,0%	-3,0%	-2,7%	-2,7%	0,2%	22,7%	

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

Figura 6-34. 4.D. Humedales: comparación entre el balance de CO₂ (kt CO₂ eq) del INGEI 5IBA (serie 1990-2020) e INGEI 4IBA (serie 1990-2018)



Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

6.7.8 Plan de mejoramiento

En respuesta al análisis propio del Equipo Técnico de UTCUTS y a las recomendaciones de la revisión experta del INGEI de Chile, las mejoras planificadas del sector se resumen en la Tabla 6-61.

Tabla 6-61. Plan de mejoramiento continuo: Humedales

ID	Categoría	Mejoras detectadas por el equipo técnico del sector	Estatus	Acciones implementadas o en implementación	Acciones previstas
U14	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	No dependen del equipo del SNiChile

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

6.8 Asentamientos (4.E.)

6.8.1 Descripción de la categoría

Esta categoría incluye las emisiones y absorciones de CO₂ generadas en las tierras donde hay asentamientos humanos, áreas urbanas e infraestructura construida (aeropuertos, carreteras, emplazamientos industriales), salvo que ya se hayan incluido en otras categorías.

En el contexto nacional, según estadísticas de CONAF (2021), los asentamientos abarcan una superficie de 823.009 ha en el país, y esta superficie ha aumentado desde 1990 en 72 %, con directa relación a la expansión de la población urbana.

En esta categoría se contabilizan las emisiones de CO₂ asociadas a la conversión de tierras en asentamientos. No se estiman las emisiones y absorciones de los asentamientos que permanecen como tales, ya que no existe información de datos de actividad y factores de emisión para cuantificar áreas verdes que se encuentren dentro de los asentamientos y que podrían contribuir al balance de CO₂.

6.8.2 Tendencia de las emisiones de GEI

En 2020, el balance de GEI contabilizó una emisión de 304,6 kt CO₂ eq. Las emisiones han aumentado en un 38,1 % desde 1990 y han disminuido en un 1,8 % desde 2018 (Tabla 6-62).

Respecto a las emisiones y absorciones de GEI en términos absolutos por subcategoría, el 100 % corresponde a *Tierras convertidas en asentamientos*.

Tabla 6-62. 4.E. Asentamientos: emisiones y absorciones de GEI (kt CO₂ eq) por categoría, serie 1990-2020.

Componente	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020
4.E.1. Asentamientos que permanecen como tales							
4.E.2. Tierras convertidas en asentamientos	220,6	286,4	336,4	325,5	249,8	310,2	304,6
Balance	220,6	286,4	336,4	325,5	249,8	310,2	304,6

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

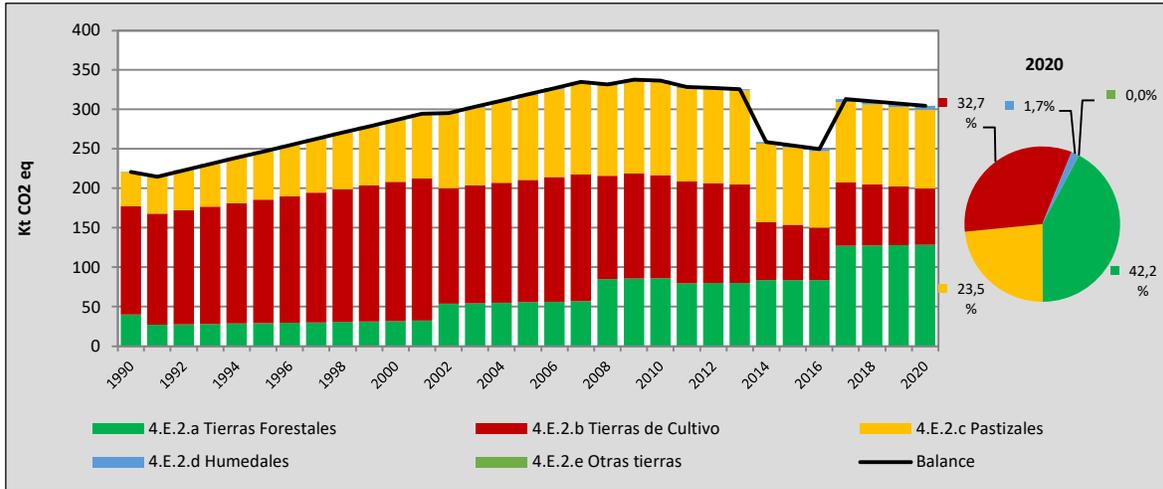
Para los *asentamientos que permanecen como tales*, se considera una metodología de nivel 1 por lo tanto no hay cambios en los depósitos de carbono. Para *las tierras convertidas a asentamientos*, en 2020 el balance de CO₂ de esta subcategoría contabilizó 304,6 kt CO₂ eq, aumentando en un 38,1 % desde 1990 y disminuyendo en 1,8 % desde 2018 (Tabla 6-63 y Figura 6-35). Respecto de las emisiones y absorciones de GEI en términos absolutos, en el 2020 las *Tierras Forestales* convertidas a asentamientos son las de mayor aporte en las emisiones con un 42,2 % seguido por las *Tierras de cultivo* con un 32,7 %, *Pastizales* con un 23,5 % y *Humedales* con un 1,7 %. 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 6-63. 4.E.2. Tierras convertidas en asentamientos: emisiones y absorciones de GEI (kt CO₂ eq) por componente, serie 1990-2020

Subcomponente	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020
4.E.2.a. Tierras Forestales	40,2	31,7	85,8	80,0	83,6	127,6	128,4
4.E.2.b. Tierras de Cultivo	136,8	176,3	130,9	124,8	66,5	77,4	71,5
4.E.2.c. Pastizales	43,5	77,4	117,9	118,9	96,7	101,3	99,7
4.E.2.d. Humedales	0,1	0,9	1,7	1,7	3,0	4,0	5,0
4.E.2.e. Otras tierras	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Balance	220,6	286,4	336,4	325,5	249,8	310,2	304,6

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

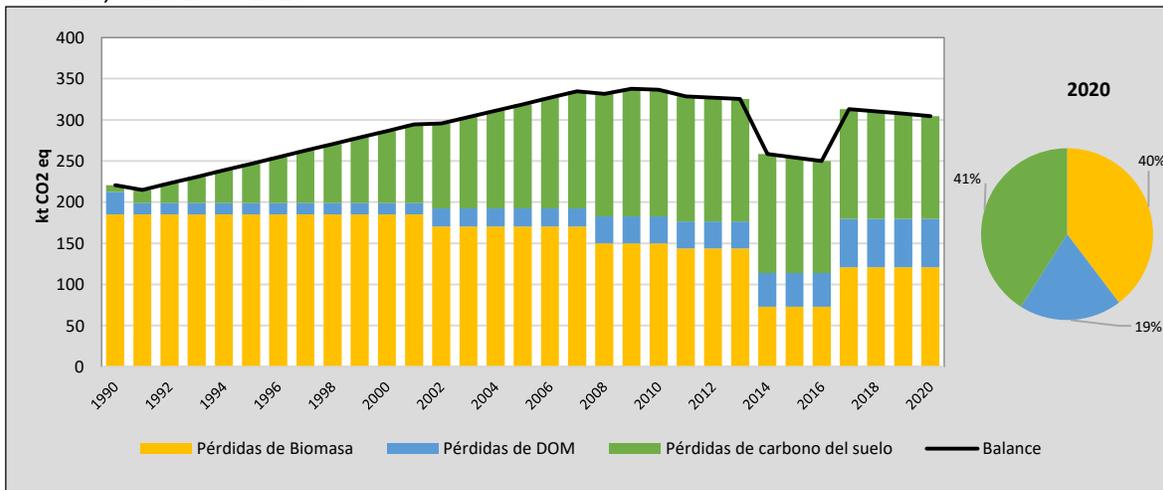
Figura 6-35. 4.E.2. Tierras convertidas en asentamientos: emisiones y absorciones de GEI (kt CO₂ eq), serie 1990-2020



Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

En cuanto a los depósitos de carbono (Figura 6-36), en la serie temporal se puede ver que la pérdida de biomasa es la más importante desde 1990 y luego aumenta la participación de la pérdida de carbono del suelo. En el 2020, la pérdida de carbono del suelo alcanza un 41 %, seguido por las pérdidas de biomasa con un 39,7 %, y con un 19,3 % de pérdidas de materia orgánica muerta (DOM). Las emisiones provienen principalmente del cambio de tierras de cultivo y de tierras forestales a asentamientos.

Figura 6-36. 4.E. Asentamientos: emisiones y absorciones de GEI (kt CO₂ eq) por depósito de carbono, serie 1990-2020



Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

6.8.3 Aspectos metodológicos de la categoría

Para la estimación de las emisiones y absorciones de CO₂ de la subcategoría *Asentamientos* se aplicaron una combinación del método Nivel 1 y Nivel 2 para *Tierras convertidas en asentamientos*. El método Nivel 2 proviene de las estimaciones realizadas para las *Tierras forestales*. Ambos

métodos de acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006*. En la Tabla se observa un resumen de los métodos aplicados por subcategoría y por tipo de GEI.

Tabla 6-64. 4.E. Asentamientos: métodos aplicados por subcategoría

Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero	CO ₂		CH ₄		N ₂ O	
	Método aplicado	Factor de emisión	Método aplicado	Factor de emisión	Método aplicado	Factor de emisión
4.E. Asentamientos	T1, T2, NE	CS, D, NE				
4.E.1. Asentamientos que permanecen como tales	NE	NE				
4.E.2. Tierras convertidas en asentamientos	T1, T2	CS, D				

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

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

El cálculo de las emisiones para esta subcategoría se realizó a través de libros de cálculo elaborados por el Equipo Técnico de UTCUTS con base en las hojas de cálculo de las *Directrices del IPCC de 2006*.

6.8.3.1 Biomasa

6.8.3.1.1 Método

Asentamientos que permanecen como tal

Las emisiones y absorciones de CO₂ de *Asentamientos que permanecen como tales* según un nivel 1 de las *Directrices del IPCC de 2006* se encuentran en valor cero, ya que conservadoramente los cambios en las existencias de carbono de la biomasa debidos al crecimiento de esta se compensan totalmente con las reducciones en las existencias de carbono debidas a remociones.

Tierras convertidas a asentamientos

Para el caso de las tierras que se convierten a asentamientos se consideró la cantidad de biomasa que se corta o extrae de los distintos tipos de tierras, utilizando los valores paramétricos que corresponden a cada categoría específica, y bajo un método de nivel 1 se supone que se pierde toda la biomasa del ecosistema anterior, justo después de la conversión, incluso si no hay un cambio abrupto, y se supone que la biomasa residual ($B_{\text{DESPUÉS}}$) es, por lo tanto, cero. Además, se supone que los asentamientos alcanzan su biomasa de régimen constante durante el primer año posterior a la conversión.

6.8.3.1.2 Datos paramétricos

En cuanto a los datos requeridos se considera la información de stock de biomasa que el inventario de gases de efecto invernadero ha reportado desde la serie temporal 1984-2006 y que fue establecido con criterio experto.

Tabla 6-65. 4.E. Asentamientos: Datos paramétricos de biomasa de asentamientos

Tipo de tierra	Biomasa aérea (t/ha)	Incremento anual Biomasa aérea (t/ha)	Pérdida anual en biomasa aérea (t/ha)
Asentamientos	2,0	1,0	1,0

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

6.8.3.2 Materia Orgánica Muerta

6.8.3.2.1 Método

Para las tierras de asentamientos que permanecen como tal, se consideró una metodología de nivel 1 donde se supone que la materia muerta y hojarasca están en el equilibrio y, por ende, no es necesario estimar los cambios en las existencias de carbono de estos depósitos.

Para el caso de las tierras convertidas a asentamientos se consideró la aplicación del método de nivel 1, donde toda la materia orgánica de las tierras convertidas se emite en el año de la conversión y que no queda materia orgánica muerta en las tierras convertidas.

6.8.3.2.2 Datos paramétricos

Los valores de materia orgánica muerta que se consideran corresponden a los datos paramétricos de DOM de la categoría de tierras forestales cuando son convertidas a asentamientos.

6.8.3.3 Carbono del suelo

6.8.3.3.1 Método

Asentamientos que permanecen como tal

Debido a que no existe suficiente información que permita determinar los cambios de asentamientos que pueden existir dentro de esta subcategoría, se considera que el carbono del suelo no presenta cambios dentro de los asentamientos.

Tierras convertidas a asentamientos

Para el caso de tierras convertidas a asentamientos se considera la aplicación de la Ecuación 6-11 (Ecuación 2.25 del Cap.2 del Volumen 4 de las *Directrices del IPCC de 2006*). Específicamente, las existencias iniciales (antes de la conversión) de C orgánico del suelo ($SOC_{(0-T)}$) y las existencias del último año del periodo de inventario (SOC_0) se contabilizan a partir de las existencias de referencia por defecto de C orgánico del suelo (SOC_{REF}) y los factores de cambio de existencias (F_{LU} , F_{MG} , F_I). Las tasas anuales de cambio de existencias se estiman basándose en la diferencia en las existencias (a través del tiempo) para el primer y el último año del periodo de inventario, dividido por la dependencia temporal de los factores de cambio de existencias (D, el valor por defecto es de 20 años).

6.8.3.3.2 Datos paramétricos

Se toman los valores de referencia para el carbono del suelo que entrega *Directrices del IPCC de 2006* adaptados al país, y para el caso de los asentamientos se consideran los factores de cambio de acuerdo con la Tabla 6-66, establecidos por criterio experto.

Tabla 6-66. 4.E. Asentamientos: Datos paramétricos para determinar carbono del suelo

Asentamientos	FLU	FMG	FI	% participación ciudad
Pavimento	0,8	1	1	80 %
Jardines	1	1,14	1	10 %
Arbóreo	1	1	1	10 %

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

6.8.3.4 Datos de actividad estadísticos

Los datos de actividad estadísticos provienen de las tasas anuales de cambio de usos de la tierra.

6.8.4 Incertidumbre

La incertidumbre combinada de esta subcategoría, para el 2020, ha sido estimada para cada componente o especie. Un resumen de los resultados de la incertidumbre combinada se presenta en la Tabla 6-67. Los detalles de los errores considerados para el cálculo de la incertidumbre se presentan en el Anexo 11.08.

Tabla 6-67. 4.E.2. Tierras convertidas en asentamientos: resumen de la incertidumbre combinada, 2018

Código IPCC	Categoría del IPCC	Gas	Incertidumbre en los datos de actividad		Incertidumbre en el factor de emisión		Incertidumbre combinada	
			(-)%	(+)%	(-)%	(+)%	(-)%	(+)%
4.E.2	Tierras convertidas en asentamientos	CO ₂	21 %	21%	29 %	29%	36 %	36 %

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

6.8.5 Consistencia de la serie temporal

Para mantener la consistencia de la serie temporal 1990-2018 se usaron los mismos factores de emisión y la misma fuente de datos de actividad, tanto estadísticos como paramétricos. Cuando se realizaron cambios de actividad paramétrica o de factor de emisión, los nuevos cálculos realizados cubrieron la serie temporal completa.

6.8.6 Procedimiento de garantía y control de calidad y verificación

6.8.6.1 Control de la calidad

Durante la actualización del ISGEI de UTCUTS se han aplicado la recomendación de control de calidad de las *Directrices del IPCC de 2006* para la subcategoría y las actividades propias del Equipo Técnico de UTCUTS. Todas estas actividades están listadas y documentadas dentro del SRT del SNICHILE, correspondiente al libro de cálculo *2020_SGCC_4UTCUTS*.

6.8.6.2 Garantía de la calidad

Previo a la actualización del sector *UTCUTS*, el Equipo Técnico de UTCUTS ha desarrollado un análisis de la inclusión de las recomendaciones levantadas durante la revisión externa, tanto del ISGEI de UTCUTS como del INGEI de Chile, para evaluar la factibilidad de su aplicación. Las recomendaciones realizadas por los revisores expertos han sido listadas y documentadas dentro del SRT del SNICHILE, correspondiente al libro de cálculo *2020_SGCC_4UTCUTS*.

6.8.6.3 Verificación

El procedimiento de verificación consistió en realizar comparaciones de los resultados obtenidos durante esta serie temporal y la anterior calculada. Gracias a ello se logró detectar diferencias y establecer inconsistencias entre los datos empleados.

Por el momento no se cuenta con datos de otras fuentes (nacionales o internacionales) con los cuales se pueda comparar los resultados.

6.8.7 Nuevos cálculos

6.8.7.1 Justificaciones de los nuevos cálculos y mejoras

Superficie de tierras convertidas a asentamientos

La matriz de cambio de uso de la tierra fue modificada para la serie temporal y esto generó cambios en la superficie convertida a asentamientos.

6.8.7.2 Implicaciones para los niveles de emisión

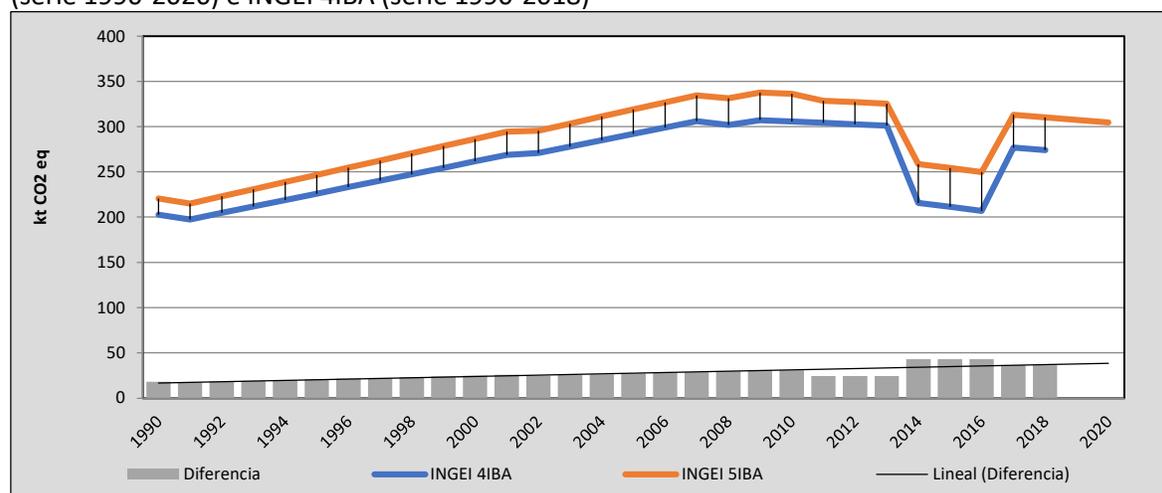
En la Tabla 6-68 y Figura 6-37 se observa cómo variaron las emisiones de GEI de esta categoría respecto del inventario anterior (INGEI 4IBA). La diferencia se debe principalmente al cambio de superficie de conversión de tierras a asentamientos. Esto generó un aumento de las emisiones GEI de la categoría en un promedio de 26,9 kt CO₂ eq anuales durante la serie 1990-2018.

Tabla 6-68. 4.E. Asentamientos: comparación entre el balance de CO₂ (kt CO₂ eq) del INGEI 5IBA (serie 1990-2020) e INGEI 4IBA (serie 1990-2018)

INGEI	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020
INGEI 4IBA	202,6	261,5	305,8	301,0	206,9	274,0	
INGEI 5IBA	220,6	286,4	336,4	325,5	249,8	310,2	304,6
Diferencia	18,0	24,8	30,6	24,4	42,9	36,2	304,6
Diferencia %	8,2%	8,7%	9,1%	7,5%	17,2%	11,7%	100,0%

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

Figura 6-37. 4.E. Asentamientos: comparación entre el balance de CO₂ (kt CO₂ eq) del INGEI 5IBA (serie 1990-2020) e INGEI 4IBA (serie 1990-2018)



Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

6.8.8 Plan de mejoramiento

No se considera un plan de mejoramiento en el corto plazo en esta categoría y que no es una categoría principal.

6.9 Otras tierras (4.F.)

6.9.1 Descripción de la categoría

Esta categoría incluye las emisiones y absorciones de CO₂ generadas en zonas de suelo desnudo, roca, hielo y todas las zonas de tierras no gestionadas que no pertenecen a ninguna de las otras cinco categorías.

En el contexto nacional corresponde a lo que en el *Catastro* se define como Áreas desprovistas de vegetación que son sectores cuya cobertura vegetal no alcanza el 25 % de cobertura mínima; Nieves eternas y glaciares que corresponde a zonas cubiertas por nieve, nieves eternas, glaciares y campos de hielo; y finalmente Áreas no reconocidas que son sectores para los cuales no ha sido posible efectuar un reconocimiento vegetal debido a que constituyen zonas de acceso restringido o por falta de fotografías aéreas o imágenes. En 2020 la superficie de otras tierras en el país alcanza 20.999.554 ha, y tiene una leve disminución desde 1990 de 0,22 %, por cambios de uso hacia asentamientos.

En esta categoría se contabilizan sólo las emisiones de CO₂ asociadas a la conversión de tierras en otras tierras. No se estiman las emisiones y absorciones otras tierras que permanecen como tales, ya que de acuerdo con lo que señalan las *Directrices del IPCC de 2006* no son tierras gestionadas.

6.9.2 Tendencia de las emisiones de GEI

En 2020, el balance de GEI contabilizó una emisión de 401,2 kt CO₂ eq. Las emisiones han aumentado en un 100,5 % desde 1990 y han disminuido en un 0,9 % desde 2018 (Tabla 6-69). Respecto a las emisiones y absorciones de GEI en términos absolutos por categoría, el 100 % corresponde a *Tierras convertidas en Otras tierras*.

Tabla 6-69. 4.F. Otras tierras: emisiones y absorciones de GEI (kt CO₂ eq) por subcategoría, serie 1990-2020.

Subcategoría	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020
4.F.1. Otras tierras que permanecen como tales	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
4.F.2. Tierras convertidas en otras tierras	200,1	301,8	659,7	624,1	590,7	405,0	401,2
Balance	200,1	301,8	659,7	624,1	590,7	405,0	401,2

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

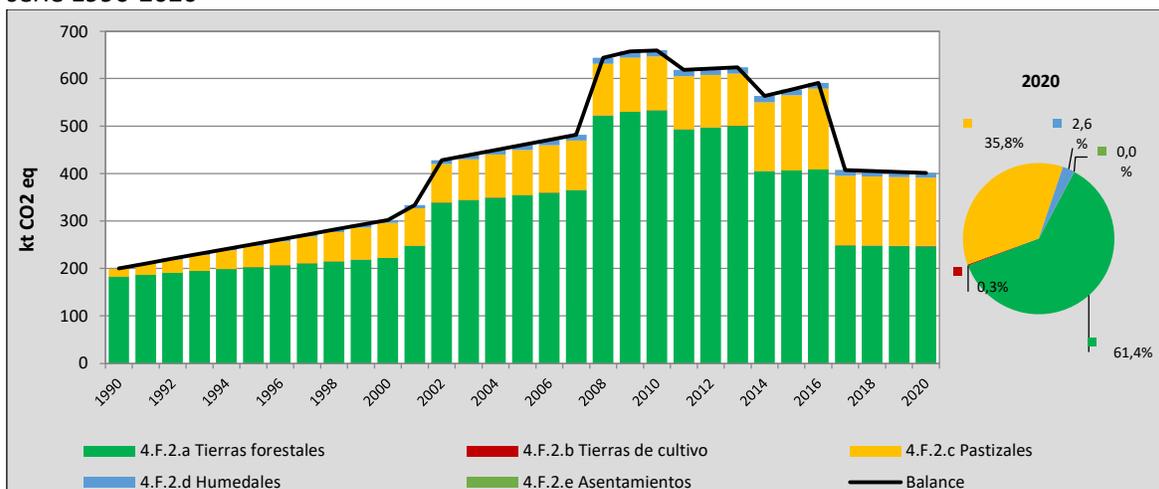
Para *las tierras convertidas a Otras Tierras*, en 2020 el balance de CO₂ de esta subcategoría contabilizó 401,2 kt CO₂ eq, aumentando en un 100,5 % desde 1990 y disminuyendo en un 0,9 % desde 2018 (Tabla 6-70 y Figura 6-38). Respecto de las emisiones y absorciones de GEI en términos absolutos, en el 2020 las *Tierras Forestales convertidas a Otras Tierras* son las de mayor aporte en las emisiones con un 61,4 % seguido por *Pastizales* con un 35,8 %, *Humedales* con un 2,6 %, *Tierras de Cultivo* con un 0,3 % y *Asentamientos* con un 0,01 %. Esta tendencia se relaciona directamente con los resultados de la superficie de cambio de uso de la tierra, donde las *Tierras Forestales* son la superficie con mayor tasa de cambio a *Otras Tierras*.

Tabla 6-70. 4.F.2 Tierras convertidas a Otras tierras: emisiones y absorciones de GEI (kt CO₂ eq) por componente, serie 1990-2020.

Subcomponente	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020
4.F.2.a Tierras forestales	182,6	222,4	533,2	500,2	408,5	247,7	246,3
4.F.2.b Tierras de cultivo	0,0	0,0	0,1	0,1	0,2	0,7	1,0
4.F.2.c Pastizales	17,0	73,2	113,0	110,2	170,2	145,5	143,5
4.F.2.d Humedales	0,6	6,2	13,4	13,5	11,8	11,1	10,4
4.F.2.e Asentamientos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Balance	200,1	301,8	659,7	624,1	590,7	405,0	401,2

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

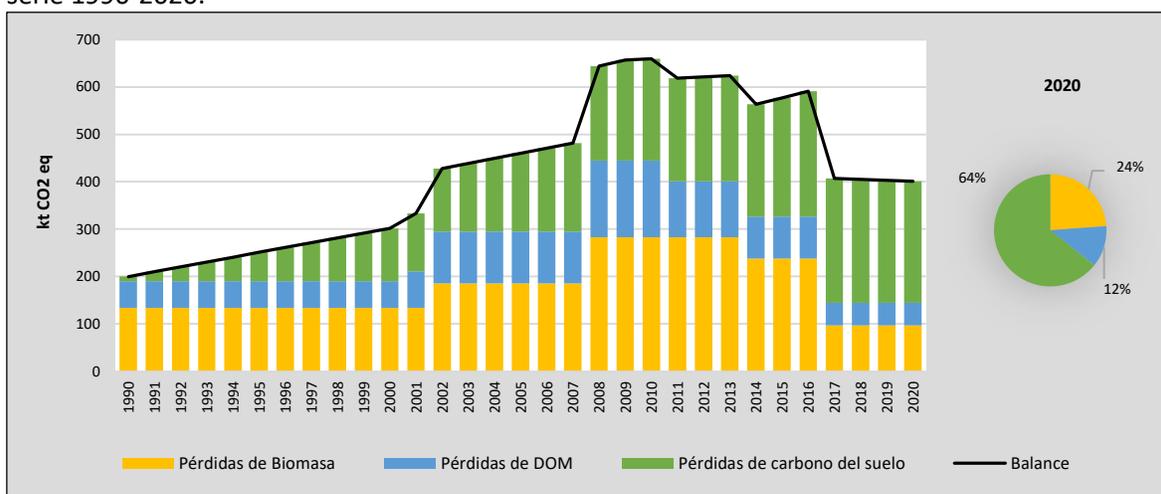
Figura 6-38. 4.E.2. Tierras convertidas en otras tierras: emisiones y absorciones de GEI (kt CO₂ eq), serie 1990-2020



Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

En cuanto a los depósitos de carbono (Figura 6-39) en la serie temporal se puede ver que la pérdida de biomasa es la más importante desde 1990 y luego aumenta la participación de la pérdida de carbono del suelo. En el 2020, la pérdida de carbono del suelo alcanza un 64 %, seguido por las pérdidas de biomasa con un 24 %, y con un 12 % de pérdidas de materia orgánica muerta (DOM). Las emisiones provienen principalmente del cambio de tierras de tierras forestales y pastizales a otras tierras.

Figura 6-39. 4.F. Otras tierras: emisiones y absorciones de GEI (kt CO₂ eq) por depósito de carbono, serie 1990-2020.



Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

6.9.3 Aspectos metodológicos de la categoría

Para la estimación de las emisiones y absorciones de CO₂ de la subcategoría *Otras Tierras* se aplicaron una combinación del método Nivel 1 y Nivel 2 para *Tierras convertidas en otras tierras*. El método Nivel 2 proviene de las estimaciones realizadas para las *Tierras forestales*. Ambos métodos de acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006*. En la Tabla se observa un resumen de los métodos aplicados por subcategoría y por tipo de GEI.

Tabla 6-71. 4.F. Otras tierras: métodos aplicados por subcategoría

Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero	CO ₂		CH ₄		N ₂ O	
	Método aplicado	Factor de emisión	Método aplicado	Factor de emisión	Método aplicado	Factor de emisión
4.F. Otras Tierras	T1, T2, NE	CS, D, NE				
4.F.1. Otras Tierras que permanecen como tales	NE	NE				
4.F.2. Tierras convertidas en otras tierras	T1, T2	CS, D				

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

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

El cálculo de las emisiones para esta subcategoría se realizó a través de libros de cálculo elaborados por el Equipo Técnico de UTCUTS con base en las hojas de cálculo de las *Directrices del IPCC de 2006*.

6.9.3.1 Biomasa

6.9.3.1.1 Método

Tierras convertidas a otras tierras

Para el caso de las tierras que se convierten a otras tierras se consideró la cantidad de biomasa que se corta o extrae de los distintos tipos de tierras, utilizando los valores paramétricos que corresponden a cada categoría específica, y bajo un método de nivel 1 se supone que se pierde toda la biomasa del ecosistema anterior, justo después de la conversión, incluso si no hay un cambio abrupto, y se supone que la biomasa residual (B_{DESPUÉS}) es, por lo tanto, cero (es decir, se elimina toda la vegetación de la tierra antes de que se establezca la vegetación del pastizal). Los valores por defecto para biomasa previos a la conversión pueden encontrarse en las categorías específicas de

tierras (p. ej., los factores por defecto para tierras forestales se encuentran en el capítulo referido a biomasa en tierras forestales).

6.9.3.2 Materia Orgánica Muerta

6.9.3.2.1 Método

Tierras convertidas a otras tierras

Para el caso de las tierras convertidas a otras tierras se consideró la aplicación del método de nivel 1, donde toda la materia orgánica de las tierras convertidas se emite en el año de la conversión y que no queda materia orgánica muerta en las tierras convertidas.

6.9.3.2.2 Datos paramétricos

Los valores de materia orgánica muerta corresponden a los datos paramétricos de cada categoría en dicho depósito de carbono.

6.9.3.3 Carbono del suelo

6.9.3.3.1 Método

Tierras convertidas a otras tierras

Para el caso de tierras convertidas a otras tierras se considera la aplicación de la Ecuación 6-11 (Ecuación 2.25 de las *Directrices del IPCC de 2006*). Específicamente, las existencias iniciales (antes de la conversión) de C orgánico del suelo ($SOC_{(0-T)}$) y las existencias del último año del periodo de inventario (SOC_0) se contabilizan a partir de las existencias de referencia por defecto de C orgánico del suelo (SOC_{REF}) y los factores de cambio de existencias (F_{LU} , F_{MG} , F_I). Las tasas anuales de cambio de existencias se estiman basándose en la diferencia en las existencias (a través del tiempo) para el primer y el último año del periodo de inventario, dividido por la dependencia temporal de los factores de cambio de existencias (D , el valor por defecto es de 20 años).

6.9.3.3.2 Datos paramétricos

De acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006* se considera bajo un método Nivel 1 que el stock de carbono del suelo de otras tierras es asumido como valor cero.

6.9.3.4 Datos de actividad estadísticos

El dato de actividad estadístico necesario es la superficie de *Tierras forestales*, *Tierras de cultivo*, *Humedales*, *Pastizales* y *Asentamientos* que cambian a *Otras tierras*, que es un dato obtenido aplicando las tasas anuales de cambio proveniente de la matriz de cambio de usos de la tierra.

6.9.4 Incertidumbre

La incertidumbre combinada de esta subcategoría, para el 2020, ha sido estimada para cada componente o especie. Un resumen de los resultados de la incertidumbre combinada se presenta en la Tabla 6-72. Los detalles de los errores considerados para el cálculo de la incertidumbre se presentan en el Anexo 11.08.

Tabla 6-72. 4.F.2. Tierras convertidas en Otras tierras: resumen de la incertidumbre combinada, 2018

Código IPCC	Categoría del IPCC	Gas	Incertidumbre en los datos de actividad		Incertidumbre en el factor de emisión		Incertidumbre combinada	
			(-)%	(+)%	(-)%	(+)%	(-)%	(+)%
4.F.2	Tierras convertidas en Otras tierras	CO ₂	21 %	21 %	26 %	26 %	33 %	33 %

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

6.9.5 Consistencia de la serie temporal

Para mantener la consistencia de la serie temporal 1990-2018 se usaron los mismos factores de emisión y la misma fuente de datos de actividad, tanto estadísticos como paramétricos. Cuando se realizaron cambios de actividad paramétrica o de factor de emisión, los nuevos cálculos realizados cubrieron la serie temporal completa.

6.9.6 Procedimiento de garantía y control de calidad y verificación

6.9.6.1 Control de la calidad

Durante la actualización del ISGEI de UTCUTS se han aplicado la recomendación de control de calidad de las *Directrices del IPCC de 2006* para la subcategoría y las actividades propias del Equipo Técnico de UTCUTS. Todas estas actividades están listadas y documentadas dentro del SRT del SNICHILE, correspondiente al libro de cálculo *2020_SGCC_4UTCUTS*.

6.9.6.2 Garantía de la calidad

Previo a la actualización del sector *UTCUTS*, el Equipo Técnico de UTCUTS ha desarrollado un análisis de la inclusión de las recomendaciones levantadas durante la revisión externa, tanto del ISGEI de UTCUTS como del INGEI de Chile, para evaluar la factibilidad de su aplicación. Las recomendaciones realizadas por los revisores expertos han sido listadas y documentadas dentro del SRT del SNICHILE, correspondiente al libro de cálculo *2020_SGCC_4UTCUTS*.

6.9.6.3 Verificación

El procedimiento de verificación consistió en realizar comparaciones de los resultados obtenidos durante esta serie temporal y la anterior calculada. Gracias a ello se logró detectar diferencias y establecer inconsistencias entre los datos empleados.

Por el momento no se cuenta con datos de otras fuentes (nacionales o internacionales) con los cuales se pueda comparar los resultados.

6.9.7 Nuevos cálculos

6.9.7.1 Justificaciones de los nuevos cálculos y mejoras

Superficie de tierras convertidas a otras tierras

La matriz de cambio de uso de la tierra fue modificada para la serie temporal y esto generó cambios en la superficie convertida a otras tierras.

6.9.7.2 Implicaciones para los niveles de emisión

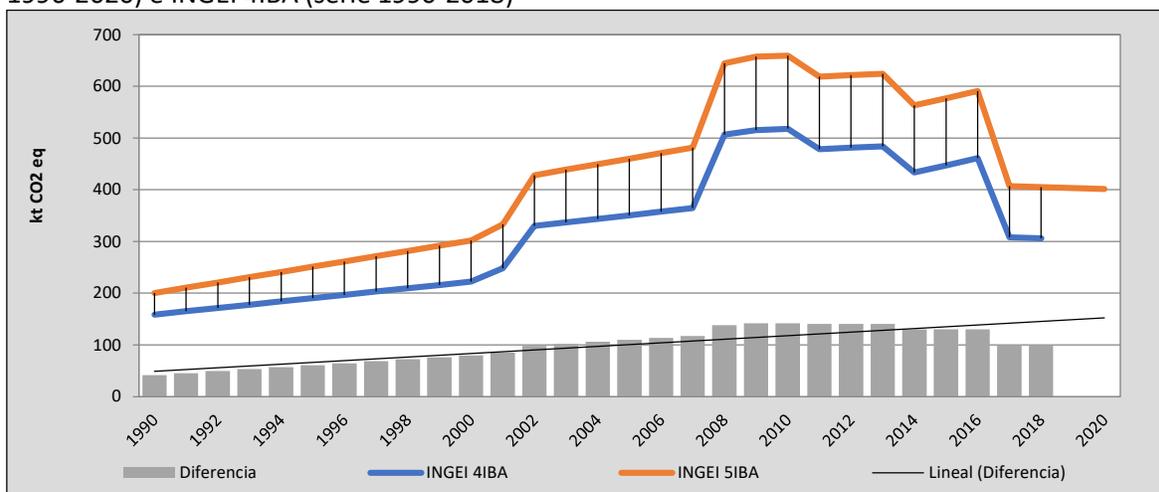
En la Tabla 6-73 y Figura 6-40 se observa cómo variaron las emisiones de GEI de esta categoría respecto del inventario anterior (INGEI 3IBA). La diferencia se debe principalmente al cambio de superficie de conversión de tierras a otras tierras. Esto generó un aumento de las emisiones GEI de la categoría en un promedio de 97,5 kt CO₂ eq anuales durante la serie 1990-2018.

Tabla 6-73. 4.F. Otras tierras: comparación entre el balance de CO₂ (kt CO₂ eq) del INGEI 5IBA (serie 1990-2020) e INGEI 4IBA (serie 1990-2018)

INGEI	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020
INGEI 4IBA	158,6	222,1	518,1	483,8	460,9	305,7	
INGEI 5IBA	200,1	301,8	659,7	624,1	590,7	405,0	401,2
Diferencia	41,5	79,7	141,6	140,3	129,8	99,3	401,2
Diferencia %	20,7%	26,4%	21,5%	22,5%	22,0%	24,5%	

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

Figura 6-40. 4.F. Otras tierras: comparación entre el balance de CO₂ (kt CO₂ eq) del INGEI 5IBA (serie 1990-2020) e INGEI 4IBA (serie 1990-2018)



Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

6.9.8 Plan de mejoramiento

En respuesta al análisis propio del Equipo Técnico de UTCUTS y a las recomendaciones de la revisión experta del INGEI de Chile, las mejoras planificadas de la categoría de *Otras Tierras* se resumen en la Tabla 6-74.

Tabla 6-74. Plan de mejoramiento continuo: Otras Tierras

ID	Categoría	Mejoras detectadas por el equipo técnico del sector	Estatus	Acciones implementadas o en implementación	Acciones previstas
U15	4.F. Otras tierras	Actualmente CONAF se encuentra trabajando en las nuevas cartografías de las regiones de Antofagasta y Magallanes y Antártica chilena, que le permitan informar con mayor detalle las categorías de tierras y en particular Otras Tierras que concentra una superficie importante en estas regiones, y que en la actualidad mantienen escala 1:250.000, y a futuro tendrán una escala de mayor detalle (1:50.000).	No implementado	CONAF señala que todas estas mejoras se implementarán en la próxima actualización del INGEI.	
U16	4.F. Otras tierras	Además, para estas regiones en la elaboración de los Catastros se está trabajando principalmente con imágenes satelitales Sentinel-2, mejorando los niveles de resolución y detección de la vegetación.	No implementado	CONAF señala que todas estas mejoras se implementarán en la próxima actualización del INGEI.	
U17	4.F. Otras tierras	Por último, en el caso del estudio de cambios de uso, se está trabajando a nivel espectral con imágenes Landsat 8 en algunas regiones.	No implementado	CONAF señala que todas estas mejoras se implementarán en la próxima actualización del INGEI.	

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

6.10 Productos de la Madera Recolectada (4.G.)

6.10.1 Descripción de la categoría

La categoría de productos de madera recolectada (PMR) da cuenta del aporte de los PMR a las emisiones/absorciones de CO₂ anuales de UTCUTS, debido a que gran parte de la madera cosechada de las tierras que se consideran en este sector, permanece en los productos durante períodos de tiempo de diferente duración, dependiendo de su tipo.

De acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006* se consideran los productos de madera maciza y los productos de papel. En los productos de madera maciza se considera específicamente a la madera aserrada y los productos de tableros, y en los productos de papel a papeles y cartones. El método de contabilidad utilizado es el de producción, y la estimación considera los productos de madera cosechada en Chile que consiste en madera que se origina de árboles cosechados en el país y que son usados para los productos de madera aserrada, tableros y papeles y cartones. El carbono almacenado en vertederos no se considera, ya que no existe información suficiente en el sector *Residuos* para poder considerarlo en la contabilidad.

6.10.2 Tendencia de las emisiones de GEI

Los *Productos de madera recolectada* han aumentado su contribución en la serie temporal en directa relación con el aumento de la producción de madera aserrada, tableros y papeles y cartones. Desde 1990 la categoría se ha incrementado en un 91 % y desde 2016 en 1 % (Tabla 6-75 y Figura 6-41). Dentro de los productos, los más relevantes 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

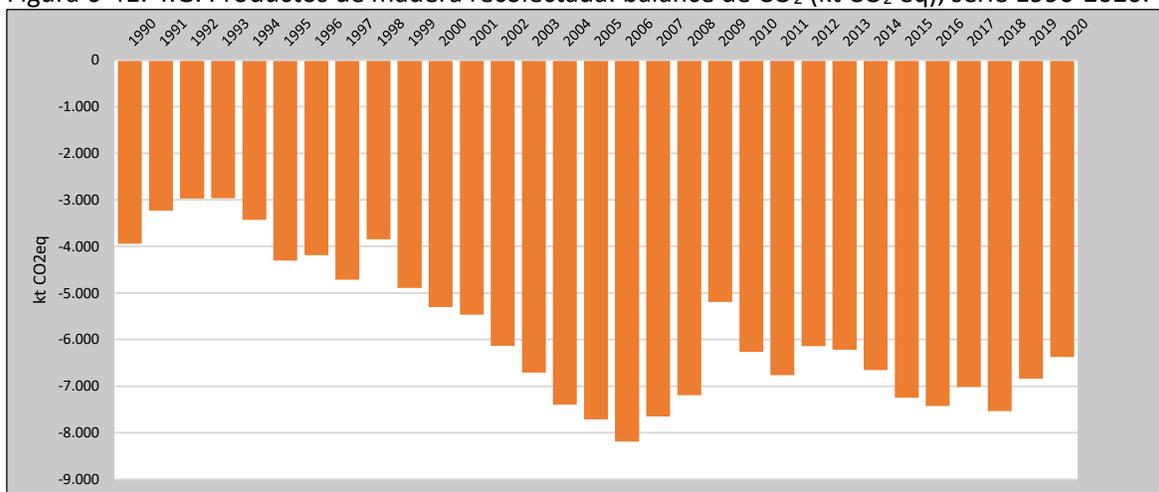
temporal el mayor impacto se ve en el 2009, que coincide con la disminución en la producción de madera aserrada y de tableros, debido a la disminución de la demanda producto de la crisis económica de la época (Figura 6-42).

Tabla 6-75. 4.G. Productos de madera recolectada: contribución de los productos de madera recolectada (kt CO₂ eq), serie 1990-2020.

Categoría	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020
4.G. Productos de madera recolectada	-3.944,3	-5.300,0	-6.265,9	-6.219,5	-7.425,4	-7.533,7	-6.373,1

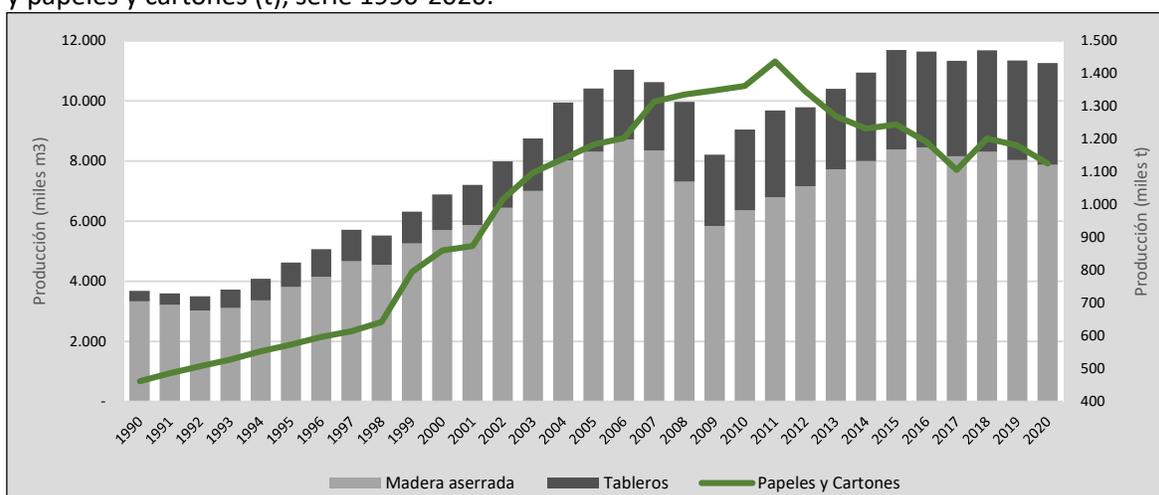
Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

Figura 6-41. 4.G. Productos de madera recolectada: balance de CO₂ (kt CO₂ eq), serie 1990-2020.



Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

Figura 6-42. 4.G. Productos de madera recolectada: producción de madera aserrada y tableros (m³) y papeles y cartones (t), serie 1990-2020.



Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

6.10.3 Aspectos metodológicos de la categoría

Para la estimación de la contribución de los PMR se aplicaron una combinación del método Nivel 1 y Nivel 2. El método Nivel 2 se aplicó para los datos de producción anual, importaciones y exportaciones por tipos de productos. Ambos métodos de acuerdo con las *Directrices del IPCC de*

2006. En la Tabla 6-76 se observa un resumen de los métodos aplicados por subcategoría y por tipo de GEI.

Tabla 6-76. 4.G. Productos de la madera recolectada: métodos aplicados por subcategoría

Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero	CO ₂		CH ₄		N ₂ O	
	Método aplicado	Factor de emisión	Método aplicado	Factor de emisión	Método aplicado	Factor de emisión
4. G. Productos de la madera recolectada	T1, T2	D, CS				

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

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

El cálculo de las emisiones para esta subcategoría se realizó a través de libros de cálculo elaborados por el Equipo Técnico de UTCUTS con base en las hojas de cálculo de las *Directrices del IPCC de 2006*.

6.10.3.1 Método

Se utiliza el método de producción que estima los cambios en las existencias de carbono del depósito forestal (y de otros suelos productores de madera) del país declarante y el depósito de productos de madera que contiene productos hechos de la madera recolectada en el país declarante. El depósito de productos de madera incluye los productos hechos a partir de la recolección nacional que se exportan y almacenan en usos en otros países. Este método realiza el inventario de los productos de madera procedentes de la madera recolectada en el ámbito nacional y no proporciona un inventario completo del carbono de la madera que se encuentra en las existencias nacionales. Puesto que algunos de los cambios en las existencias declarados por un país pueden darse en otros países (donde se retienen las exportaciones), el informe de cambio de existencias indica cuándo pero no dónde se producen los cambios (IPCC, 2006).

Para estimar la contribución de los PMR, se necesitan las variables 2A PMR en uso y 2B PMR en SEDS, para las que se originó de la cosecha doméstica de acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006*.

Ecuación 6-13. 4.G. Productos de la madera recolectada: cambio de stock de carbono.

$$\text{Aporte de PMR a las emisiones netas de CO}_2 \text{ de AFOLU} = -\frac{44}{12} * [\Delta C_{PMR IU DH} + \Delta C_{PMR SEDS DH}]$$

Fuente: Ecuación 12.6 y Cuadro 12.1; Capítulo 12; Volumen 4; *Directrices del IPCC de 2006*

Donde:

- $\Delta C_{PMR IU DH}$: Variable 2 A, Cambio anual en las existencias de carbono en PMR en uso donde la madera proviene de la cosecha nacional
- $\Delta C_{PMR SEDS DH}$: Variable 2B, Cambio en las existencias de carbono en PMR en SEDS donde la madera proviene de la cosecha nacional

Debido a que el cambio de stock de carbono en los SEDS no es estimado, la variable 2B ($\Delta C_{PMR SEDS D}$) se establece en cero, y sólo se estimó la variable 2A ($\Delta C_{PMR IU DH}$). Para la estimación de la variable 2A se utiliza método de nivel 1 y 2, para los factores de emisión se usa valores por defecto de acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006* y para los datos de actividad se usan datos provenientes de las estadísticas nacionales y sólo en algunos años ante los vacíos de información en las estadísticas nacionales se usó la información de FAOSTAT. La descomposición de los PMR se estima empleando la función de descomposición de primer orden (Ecuación 12.1, Volumen 4, Capítulo 12, *Directrices del IPCC de 2006*).

6.10.3.1.1 Datos paramétricos

Los Niveles 1 y 2 utilizan la hipótesis de que se descartan los PMR del uso a una velocidad constante, k , aplicada al carbono presente en el depósito. Esta velocidad constante de descarte puede especificarse mediante una vida media asociada en años para los productos del depósito. La vida media es la cantidad de años que transcurren hasta que la mitad de la cantidad sale de uso. Se utiliza la información de vida media e índices de descarte (k) por defecto (Tabla 6-77).

Tabla 6-77. 4.G. Productos de madera recolectada: Vidas medias por defecto para los depósitos de carbono de “productos en uso” y fracción asociada que retiene cada año

	Productos de madera maciza	Productos de papel
Vida media (años)	30	2
Índice de descomposición k ($k = \ln(2)/$ vida media)	0,023	0,347

Fuente: Cuadro 12.2 de las *Directrices del IPCC de 2006*

Para la estimación de las variables de producción antes de 1961 se utilizó la Ecuación 12.6 del Volumen 4, Capítulo 12 de las *Directrices del IPCC de 2006* y para el índice estimado de aumento para la producción de dicha ecuación, se utilizó el índice de la región América Latina del Cuadro 12.3 del Volumen 4, Capítulo 12 de las *Directrices del IPCC de 2006*, cuyo valor es 0,0220.

Se utilizó la información de factores por defecto para convertir las unidades de productos en carbono de acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006* (Tabla 6-78).

Tabla 6-78. 4.G. Productos de madera recolectada: Factores por defecto para convertir unidades de productos en carbono

Factor	Rollizos, rollizos industriales, madera aserrada, otros rollizos industriales, madera para pasta de papel, astillas, partículas, madera combustible, residuos de madera	Promedio para los paneles de madera	Papel y Cartón, pulpa, pulpa de fibra recuperada, papel recuperado
Factor de carbono (toneladas de carbono por m ³ de producto o tonelada en aire seco de producto)	0,225	0,295	0,45

Fuente: Cuadro 12.4, Volumen 4, Capítulo 12, *Directrices del IPCC de 2006*

6.10.3.1.2 Datos de actividad estadísticos

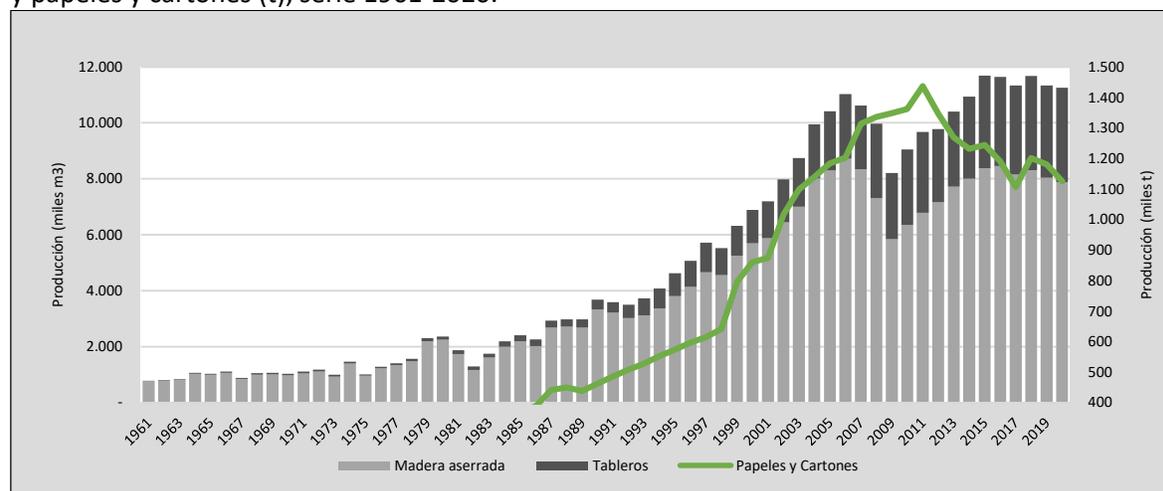
Se utilizó la información país y en los casos en que no existía información país se completó el dato con la base FAOSTAT. La información estadística de los productos madera aserrada, tableros y papel (Figura 6-43) se generó completamente con datos país que provienen de INFOR en los anuarios forestales, desde el año 1961 al 2020. Los detalles de la información y fuentes de datos se encuentran en la Tabla 6-79.

Tabla 6-79. 4.G. Productos de madera recolectada: Desagregación de productos y fuentes de datos

Variables	Productos desagregados	Fuentes
Madera aserrada	Madera aserrada	Producción, exportaciones, importaciones: 1961–2020 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: 1961-2020 Estadísticas INFOR
Papel	Papel para impresión y escritura Papeles para envolver y para fabricación de envases Papeles de uso doméstico y sanitario Otros papeles	Producción, exportaciones, importaciones: 1961 - 2020 Estadísticas INFOR
Trozos		Producción 1961–1974 FAOSTAT; 1975-2020 Estadísticas INFOR Exportaciones, importaciones 1961–2020 Estadísticas INFOR
Trozos industriales		Producción: 1961-1973 FAOSTAT; 1974 – 2020 Estadísticas INFOR Exportaciones, importaciones: 1961-2020 Estadísticas INFOR
Pulpa de madera y Papel recubierto		Exportaciones, importaciones: 1961–2020 Estadísticas INFOR
Astillas		Exportaciones: 1986–1990 FAOSTAT; 1991–2020 Estadísticas INFOR

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

Figura 6-43. 4.G. Productos de madera recolectada: producción de madera aserrada y tableros (m³) y papeles y cartones (t), serie 1961-2020.



Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

6.10.4 Incertidumbre

La incertidumbre combinada de esta categoría, para el 2020, se presenta en la Tabla 6-80. Los detalles de los errores considerados para el cálculo de la incertidumbre se presentan en el Anexo 11.08.

Tabla 6-80. 4.G. Productos de madera recolectada: resumen de la incertidumbre combinada, 2018

Código IPCC	Categoría del IPCC	Gas	Incertidumbre en los datos de actividad		Incertidumbre en el factor de emisión		Incertidumbre combinada	
			(-)%	(+)%	(-)%	(+)%	(-)%	(+)%
4.G	Productos de madera recolectada	CO ₂	10 %	10 %	27 %	27 %	29 %	29 %

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

6.10.5 Consistencia de la serie temporal

Para mantener la consistencia de la serie temporal 1990-2018 se revisó la información de productos generada en el país y que se publican en los boletines estadísticos de INFOR y la información publicada en FAOSTAT, Ante los vacíos de información del país, se usó la información de FAOSTAT.

6.10.6 Procedimiento de garantía y control de calidad y verificación

6.10.6.1 Control de la calidad

Durante la actualización del ISGEI de UTCUTS se han aplicado la recomendación de control de calidad de las *Directrices del IPCC de 2006* para la subcategoría y las actividades propias del Equipo Técnico de UTCUTS. Todas estas actividades están listadas y documentadas dentro del SRT del SNICHILE, correspondiente al libro de cálculo *2020_SGCC_4UTCUTS*.

6.10.6.2 Garantía de la calidad

Previo a la actualización del sector *UTCUTS*, el Equipo Técnico de UTCUTS ha desarrollado un análisis de la inclusión de las recomendaciones levantadas durante la revisión externa, tanto del ISGEI de UTCUTS como del INGEI de Chile, para evaluar la factibilidad de su aplicación. Las recomendaciones realizadas por los revisores expertos han sido listadas y documentadas dentro del SRT del SNICHILE, correspondiente al libro de cálculo *2020_SGCC_4UTCUTS*.

6.10.6.3 Verificación

El procedimiento de verificación consistió en realizar comparaciones de los resultados obtenidos durante esta serie temporal tanto en el software que pone a disposición el IPCC como en forma manual en las planillas entregadas como referencias por las *Directrices del IPCC de 2006*, obteniendo los mismos resultados.

6.10.7 Plan de mejoramiento

Al ser una categoría principal, se espera avanzar en un nivel 2 para los factores de emisión que se consideran de acuerdo con la información disponible en el país en el corto a mediano plazo, acorde a la Tabla 6-81.

Tabla 6-81. Plan de mejoramiento continuo: Productos de madera recolectada

ID	Categoría	Mejoras detectadas por el equipo técnico del sector	Estatus	Acciones implementadas o en implementación	Acciones previstas
U18	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

Fuente: Equipo Técnico de UTCUTS del MINAGRI

7 SECTOR RESIDUOS (5)

7.1 Panorama general

7.1.1 Introducción

El sector *Residuos* incluye las emisiones de GEI resultantes de procesos microbiológicos que ocurren en la materia orgánica bajo degradación anaeróbica, principalmente desde sitios de disposición de residuos sólidos, manejados o no manejados; la emisión de óxido nitroso por la descomposición anaeróbica de excretas humanas; y el tratamiento anaeróbico de aguas residuales domésticas e industriales en fase líquida y sólida (lodos). Las *Directrices del IPCC de 2006* asumen que el balance del CO₂ biogénico es cero, ya que la emisión de este gas proviene de un sustrato que se sintetiza periódicamente en ciclos anuales o bien, de sustratos sintetizados a partir del consumo de otros sustratos orgánicos.

El sector *Residuos*, según las *Directrices del IPCC de 2006*, comprende principalmente las emisiones de:

- La disposición de los residuos sólidos.
- El tratamiento biológico de los residuos sólidos.
- La incineración de los residuos.
- El tratamiento y descarga de las aguas residuales

Desde 1990, el país ha mejorado la gestión de sus residuos. Se han reemplazado sitios de disposición de residuos sólidos como basurales y vertederos por rellenos sanitarios que cumplen con las normas sanitarias y ambientales exigidas; así mismo hay un aumento en el interés por la valorización de residuos, como el compostaje. Sin embargo, el principal destino de los residuos sigue siendo los sitios de disposición final como rellenos sanitarios. También en el tratamiento y descarga de aguas residuales hay un crecimiento de forma significativa en la cobertura de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales domésticas y entrada en vigor de reglamentación en el tratamiento y descarga de aguas residuales industriales.

Lo anterior contrasta con la carencia y escasa calidad de la información histórica proveniente desde este sector. En los últimos años se han tomado medidas frente a esta problemática, y se han implementado sistemas y plataformas web que favorecen el reporte de este tipo de información. A la vez que se realizan chequeos que permiten validar la información ingresada por los usuarios, sin embargo, este proceso depende de los recursos con los que se disponga, por lo que no es posible llevarlo a cabo para la totalidad de datos, siendo los residuos industriales los menos confiables.

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 estas.

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

Denominación <i>Directrices del IPCC de 2006</i>	Denominación Nacional	Denominación Utilizada
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)

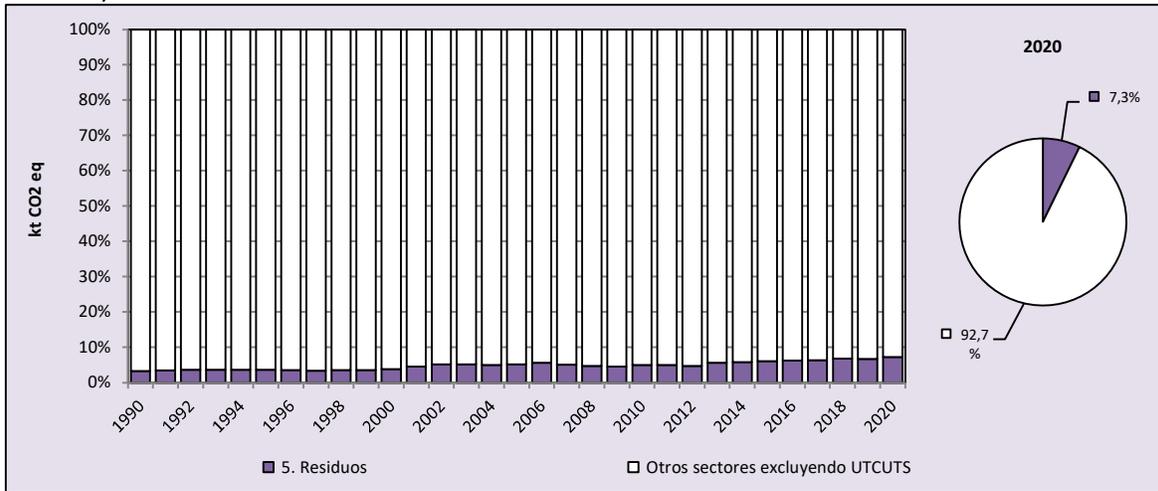
Nota: En la normativa chilena no se hace referencia a la palabra “desechos”; se usa el término residuos, es por esto que se adaptó la denominación entregada por las *Directrices del IPCC de 2006* a las condiciones nacionales.

Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

7.1.2 Tendencia de las emisiones de GEI

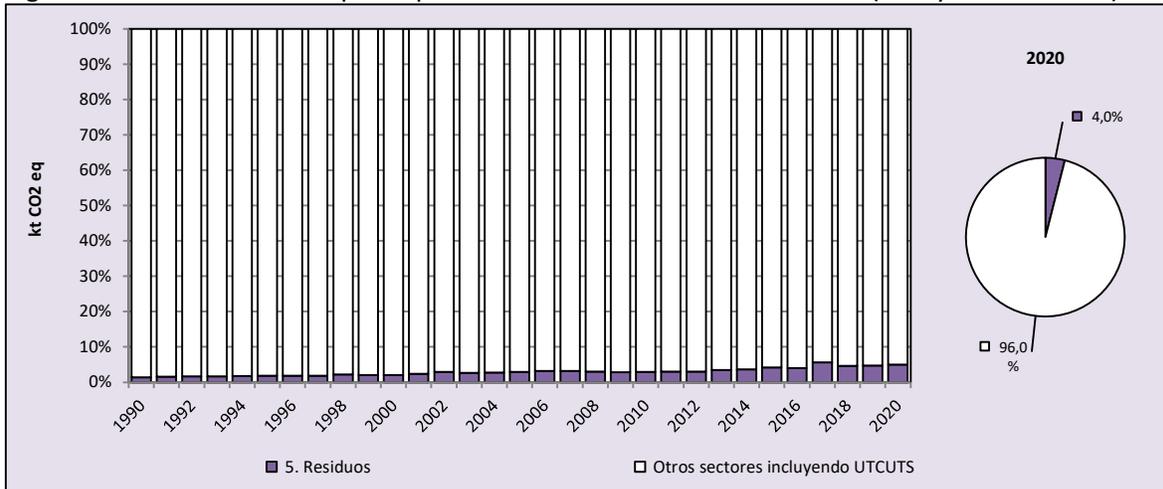
El sector *Residuos* representó el 7 % de las emisiones de GEI totales (Figura 7-1) y el 4 % del balance de GEI del país (Figura 7-2) para el 2020.

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

En 2020, las emisiones de GEI del sector contabilizaron 7.660 kt CO₂ eq, incrementándose en un 383 % desde 1990 y en un 3,7 % desde 2018 (Tabla 7-2 y Figura 7-3). Las principales causas del incremento de las emisiones de GEI del sector son el aumento de la población, su modelo de consumo y el consiguiente aumento de la generación de residuos sólidos y líquidos. La disminución en las emisiones de GEI, observadas entre 2007 y 2013 se debe, principalmente, a la recuperación de CH₄ en los Sitios de Disposición de Residuos Sólidos (SDRS), asociada a los Certificados de Reducción de Emisiones (CER), desde los proyectos de Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) que fueron un importante incentivo a este tipo de prácticas. Sin embargo, el proceso se volvió menos rentable con lo que dejaron de desarrollarse nuevos proyectos. A partir del 2013 algunos SDRS comenzaron a capturar el metano con la finalidad de generar energía, lo que ha amortiguado el crecimiento de las emisiones por aumento de población agregando además variabilidad entre años. Adicionalmente, se observan variaciones interanuales lo que tiene relación con la variabilidad en la disposición y tratamiento de residuos sólidos y líquidos industriales, tanto por cambios en la producción como por una mayor incertidumbre en los datos de residuos industriales.

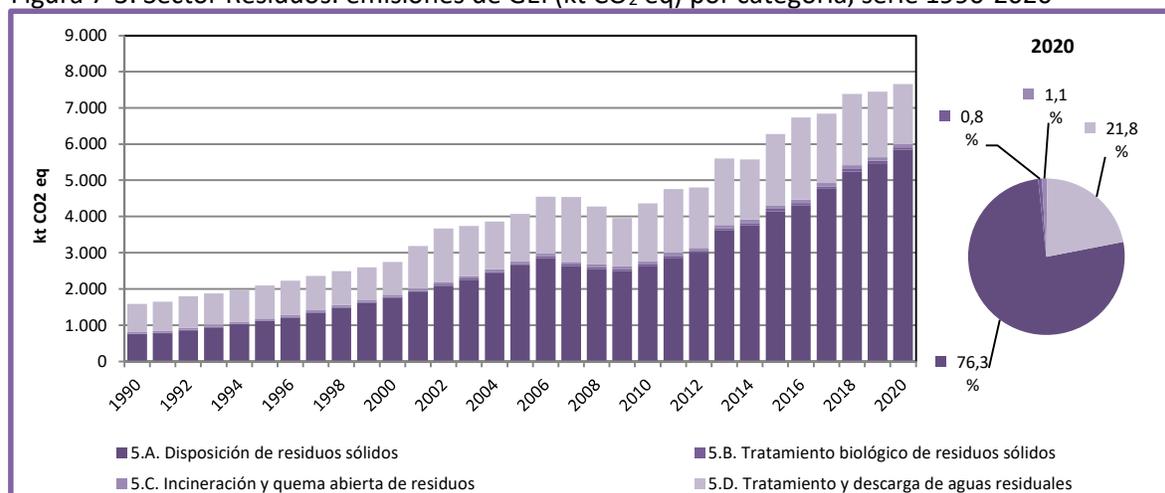
Respecto a las categorías (Tabla 7-2 y Figura 7-3), para el 2020 el 76 % de las emisiones de GEI del sector corresponden a la categoría *Disposición de residuos sólidos*, seguido de un 22 % de *Tratamiento y descarga de aguas residuales*, 1,1 % de *Incineración y quema abierta de residuos* y, finalmente, con menos del 1 % de *Tratamiento biológico de residuos sólidos*.

Tabla 7-2. Sector Residuos: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por categoría, serie 1990-2020

Categoría	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020
5.A. Disposición de residuos sólidos	748,3	1.761,0	2.620,3	3.613,1	4.313,0	5.243,3	5.847,4
5.B. Tratamiento biológico de residuos sólidos	15,4	18,4	58,7	61,7	61,5	68,1	60,4
5.C. Incineración y quema abierta de residuos	53,4	60,4	79,1	90,4	93,5	104,0	85,3
5.D. Tratamiento y descarga de aguas residuales	767,3	905,5	1.604,9	1.833,1	2.265,2	1.969,4	1.666,6
Total	1.584,5	2.745,4	4.363,0	5.598,4	6.733,2	7.384,8	7.659,6

Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

Figura 7-3. Sector Residuos: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por categoría, serie 1990-2020



Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

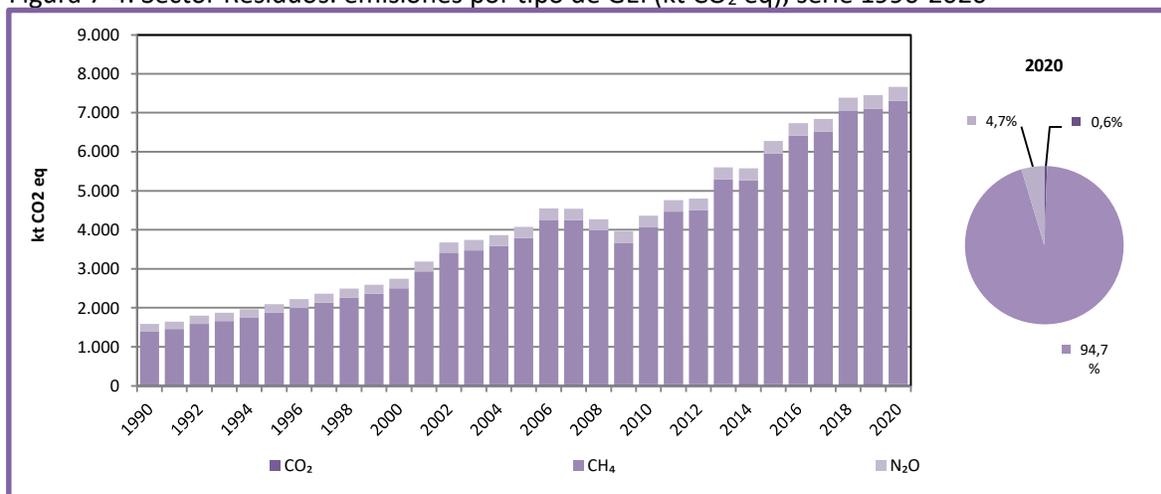
En 2020, el principal GEI emitido por el sector fue el CH₄, representando un 95 % de las emisiones de GEI del sector. Lo sigue el N₂O con un 4,7 % y el CO₂ con menos del 1 % (Tabla 7-3 y Figura 7-4).

Tabla 7-3. Sector Residuos: emisiones por tipo de GEI (kt CO₂ eq), serie 1990-2020

GEI	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020
CO ₂	28,0	31,7	41,6	47,6	49,2	54,7	44,9
CH ₄	1.370,8	2.472,6	4.030,4	5.242,2	6.362,8	6.984,9	7.257,4
N ₂ O	185,6	241,0	291,0	308,6	321,2	345,3	357,4
Total	1.584,5	2.745,4	4.363,0	5.598,4	6.733,2	7.384,8	7.659,6

Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

Figura 7-4. Sector Residuos: emisiones por tipo de GEI (kt CO₂ eq), serie 1990-2020



Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

7.1.3 Aspectos metodológicos generales del sector

Para la estimación de las emisiones de GEI del sector *Residuos* se aplicó el método Nivel 2 para la categoría 5.A. *Disposición de residuos sólidos* que es categoría principal, y para la cual se cuenta con datos de cantidad y composición de residuos depositados en SDRS país específico (de hace más de 10 años), utilizando para su estimación el método FOD 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 para todos los gases ya que se utilizan factores de emisión por defecto y no son categoría principal. La subcategoría 5.D.1 *Tratamiento y descarga de aguas residuales domésticas*, se estima con un Nivel 1 a pesar de que es categoría principal ya que no se cuenta con un BO y MCFs país específico. Cabe destacar que en él IBA 4 se reportó esta categoría como un Nivel 2 para el CH₄, ya que se usan parámetros (DBO) país específico, y en ese momento se consideró que esto correspondía a un Nivel 2, cuando en realidad corresponde a un Nivel 1⁶⁶. 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. En la Tabla 7-4 se observa un resumen de los métodos aplicados por categoría y por GEI.

⁶⁶ Decision Tree for CH₄ emissions from domestic wastewater; Figure 6.2; Chapter 6; Volume 5; 2006 IPCC Guidelines.

Tabla 7-4. Sector Residuos: métodos aplicados por categoría

Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero	CO ₂		CH ₄		N ₂ O	
	Método aplicado	Factor de emisión	Método aplicado	Factor de emisión	Método aplicado	Factor de emisión
5. Residuos	T1	D	T1, T2	D, CS	T1, NE	D, NE
5.A. Disposición de residuos sólidos			T2	D, CS		
5.B. Tratamiento biológico de residuos sólidos			T1	D	T1	D
5.C. Incineración y quema abierta de residuos	T1	D	T1	D	T1	D
5.D. Tratamiento y descarga de aguas residuales			T1, T2	D, CS	T1	D
5.E. Otros						

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

Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

El cálculo de las emisiones para todas las subcategorías se realizó en planillas Excel desarrolladas por el Equipo Técnico de Residuos del MMA.

7.1.4 Datos de actividad del sector

En el sector *Residuos* los datos de actividad están relacionados con estadísticas públicas (residuos generados, aguas residuales generadas, etc.). Sin embargo, muchos de ellos debieron ser estimados dada la ausencia de valores para los primeros años de la serie. El detalle de los datos de actividad utilizados se podrá encontrar en las secciones correspondientes a cada categoría.

7.2 Disposición de residuos sólidos (5.A.)

7.2.1 Descripción de la categoría

El tratamiento y la eliminación de los residuos sólidos municipales, industriales y otros generan cantidades significativas de CH₄. Además del CH₄, los SDRS producen también CO₂ biogénico y COVDM, así como cantidades más pequeñas de N₂O, NO_x y CO. Las subcategorías incluidas dependen de las características de los sitios de disposición, donde los SDRS que existen a nivel nacional han sido homologados a los de las *Directrices del IPCC de 2006* (Cuadro 3.1; Capítulo 3; Volumen 5), como se muestra en la Tabla 7-5. A diferencia del inventario anterior los Vertederos se clasifican como *Sitio No gestionado* sumándose a las emisiones de Basurales en 5.A.2, mientras que anteriormente se clasificó como *No categorizado* y se reportó en 5.A.3, sin embargo, de acuerdo con las *Directrices del IPCC 2006* esta categoría se utiliza solo cuando no se conocen las características de los sitios como para poder clasificarlos. Esta corrección mejora la comparabilidad del reporte del inventario, pero no implica un cambio en la estimación.

Tabla 7-5. 5.A. Disposición de residuos sólidos: 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>Sitio gestionado</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>Sitio no gestionado</i>
No categorizado	N/A	5.A.3 <i>Sitio no categorizado</i>

Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

7.2.2 Tendencia de las emisiones de GEI

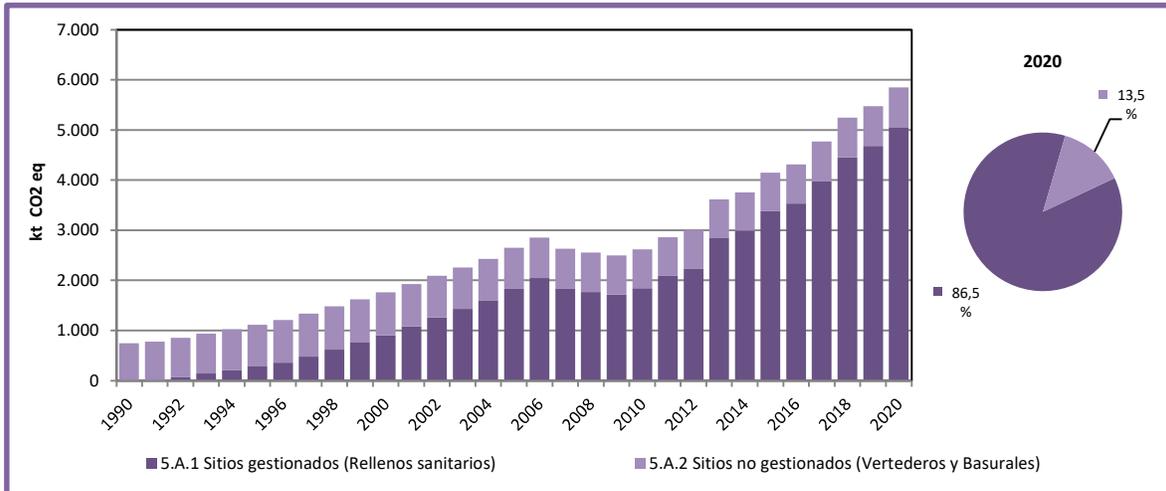
La categoría *Disposición de residuos sólidos* es la principal categoría emisora de GEI del sector Residuos representando el 76 % de las emisiones de GEI del sector. En 2020, las emisiones de GEI contabilizaron 5.847 kt CO₂ eq, incrementándose en un 681 % desde 1990 y en un 11 % desde 2018 (Tabla 7-6 y Figura 7-5.). El principal causante de la tendencia y las variaciones interanuales es el crecimiento de población y su modelo de consumo y, por lo tanto, la generación de residuos. A esto se suma el mejoramiento en la gestión de los residuos, aumentando la cantidad de residuos que se disponen en sitios como Rellenos Sanitarios, que por sus características anaeróbicas generan más metano que los Vertederos y Basurales. En 2020 se llegó a disponer el 80 % de los RSM en Rellenos sanitarios mientras que un 16 % en Vertederos y un 4 % restante en Basurales. Esto se ve reflejado en la Figura 7-5, en que para el 2020 las emisiones de la subcategoría *Sitios gestionados (Rellenos sanitarios)* es la de mayor relevancia con un 87 %, seguida de un 13 % de *Vertederos y Basurales*, mientras que en 1990 la participación de Rellenos Sanitarios era nula.

Tabla 7-6. 5.A. Disposición de residuos sólidos: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por subcategoría, serie 1990-2020

Subcategoría	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020
5.A.1 Sitios gestionados (Rellenos sanitarios)	-	902,9	1.841,8	2.855,3	3.533,9	4.452,1	5.056,3
5.A.2 Sitios no gestionados (Vertederos y Basurales)	748,3	858,1	778,5	757,8	779,1	791,2	791,1
5.A.3 Sitios no categorizados	-	-	-	-	-	-	-
Total	748,3	1.761,0	2.620,3	3.613,1	4.313,0	5.243,3	5.847,4

Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

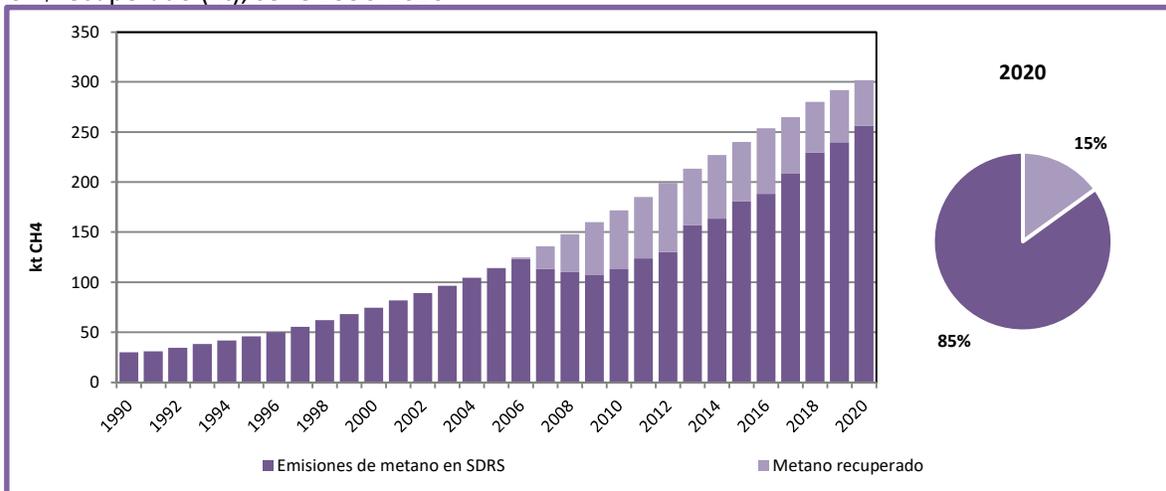
Figura 7-5. 5.A. Disposición de residuos sólidos: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por subcategoría, serie 1990-2020



Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

Se observa que entre 2007 y 2010 hay un cambio en la tendencia que se debe a la recuperación de CH₄ en algunos rellenos sanitarios del país, sin embargo, esta práctica no siguió aumentando a pesar de que la normativa lo recomienda (D.S. 189). Esto se explica por la baja en el precio de los *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 disposición de residuos industriales en SDRS (Figura 7-7). Sin embargo, esta alza se ve disminuida, ya que, a partir del 2013, en algunos SDRS se inicia la captura de metano para la generación de energía eléctrica, que desacelera este crecimiento. Esto se puede observar con mayor claridad en la Figura 7-6 donde se muestran las emisiones de CH₄ generadas por los SDRS sin descontar el recuperado.

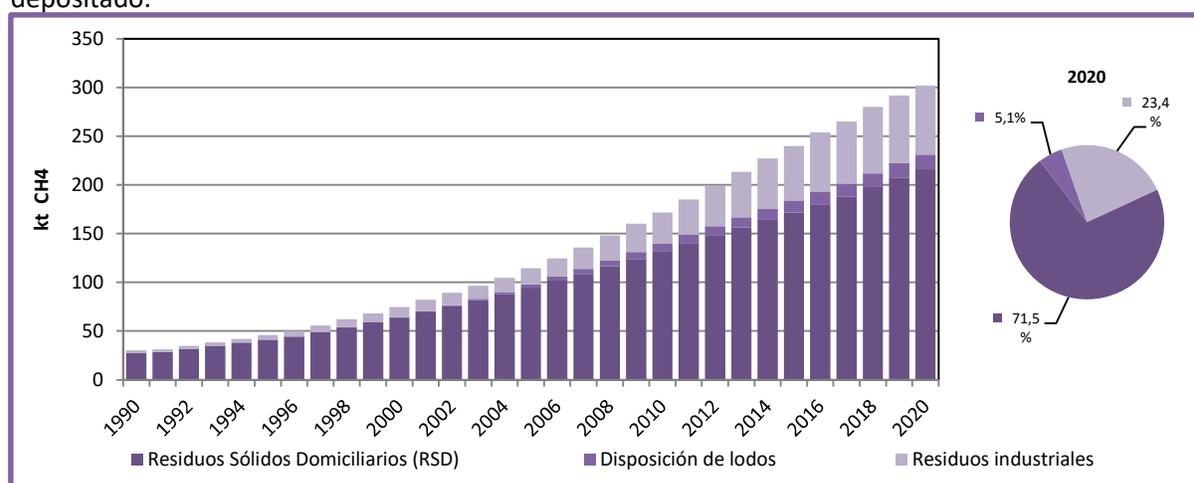
Figura 7-6. 5.A. Disposición de residuos sólidos: emisiones de CH₄ de residuos sólidos municipales y CH₄ recuperado (kt), serie 1990-2020



Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

Los residuos industriales son otra variable relevante ya que aportan con materia orgánica a los SDRS. Sin embargo, esta información se levanta solo desde 2015, provocando una gran incertidumbre en la serie de datos. Los sectores industriales que agregan carga orgánica en sitios de disposición final a través de sus residuos y sus lodos, representaron el 23 % de la generación de CH₄ de la categoría para el 2020 y son principalmente por la industria del papel y la celulosa, agroindustria incluyendo pesca y acuicultura y otras. Por último, los lodos generados en plantas de tratamiento de aguas servidas (PTAS) eliminados en sitios de disposición final, comenzaron a producirse en mayor magnitud desde 2003 lo que agrega material orgánico significativo aumentando la generación de metano llegando a representar el 5 % en 2020. Cabe destacar que desde 2010 existe un reglamento para la disposición de los lodos de PTAS para aplicación a suelos agrícolas y forestales, por lo que no todo el lodo generado llega a SDRS (Figura 7-7).

Figura 7-7. 5.A. Disposición de residuos sólidos: emisiones de CH₄ por tipo de residuos sólido depositado.



Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

7.2.3 Aspectos metodológicos de la categoría

Para la estimación de emisiones de GEI de la categoría se utilizó una metodología de Nivel 2 de acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006*. La estimación se basa en el modelo First Order Decay (FOD), el cual considera un factor exponencial que describe la fracción de material degradable que se descompone cada año en CH₄ y CO₂ y se utilizan datos de actividad y algunos parámetros país específicos.

Se desagregó el territorio nacional en dos macrozonas climáticas para establecer diferenciación de las condiciones en la degradación de residuos. La macrozona Norte -correspondiente a las regiones entre Arica y Parinacota y del Libertador General Bernardo O'Higgins- se clasificaron como Boreal y templada Seco según las opciones de zonas climáticas de las *Directrices del IPCC de 2006* (Cuadro 3.3.; Capítulo 3; Volumen 5). La macrozona Sur -que abarca las regiones desde Maule a Magallanes- se clasificó como Boreal y templada Húmedo. La estimación se realizó a nivel regional y luego se agregó para obtener el total nacional.

El cálculo del potencial de CH₄ fue estimado sobre la base de las cantidades de residuos y las prácticas de gestión en los sitios de disposición final, donde se utilizaron valores a partir de información levantada a nivel nacional. La base para el cálculo es la cantidad de carbono orgánico

degradable disuelto (*DDOCm*), el que corresponde a la parte del carbono orgánico que se degrada bajo condiciones anaeróbicas en los SDRS, que es igual al producto de la cantidad de RSM, la fracción de carbono orgánico degradable contenido en los residuos (*DOC*), la fracción de carbono orgánico degradable que se descompone bajo condiciones anaeróbicas (*DOCf*) y la parte de los residuos que se descomponen bajo condiciones aeróbicas en los SDRS, la cual se interpreta a través del *MCF*.

Además se utilizaron ecuaciones de descomposición de primer orden para calcular el *DDOCm* acumulado en los SDRS 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

$$Emisiones \text{ de } CH_4 = \left[\sum_i CH_4 \text{ generado}_{i,T} - R_T \right] \times (1 - OX_T)$$

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)

7.2.3.1 Datos de actividad estadísticos y paramétricos

Los datos de actividad considerados abarcan tres orígenes para los residuos sólidos depositados en sitios de disposición final: Residuos sólidos municipales, Residuos industriales y lodos de plantas de tratamiento de aguas servidas (PTAS). Además del metano recuperado en los SDRS.

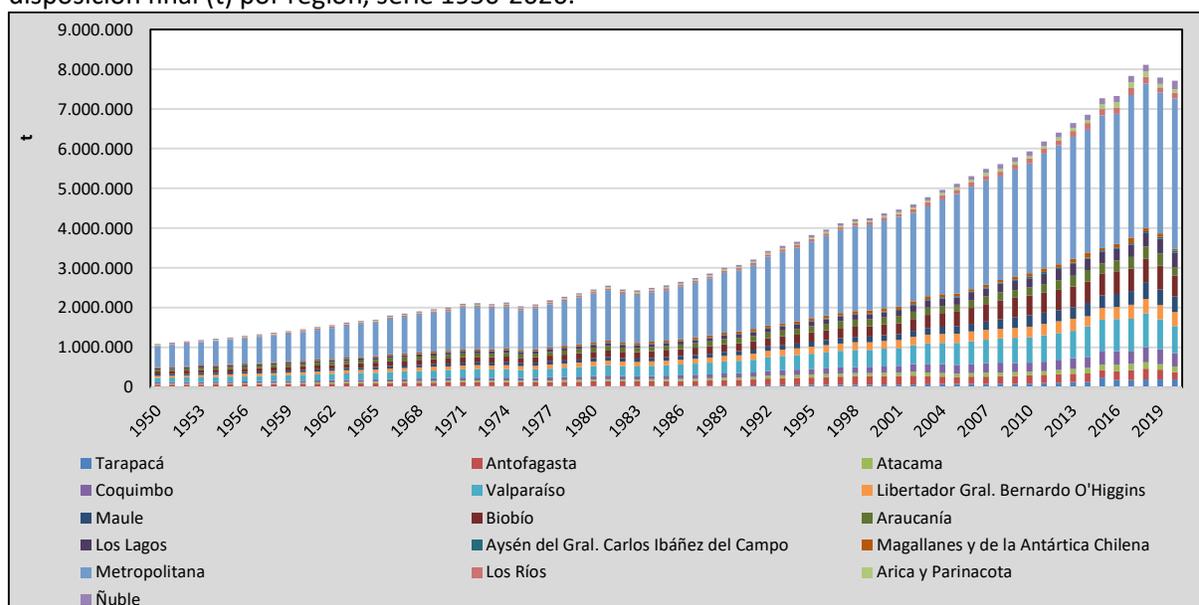
Residuos sólidos municipales

La disposición de Residuos sólidos municipales anual en sitios de disposición final por región se determinó de acuerdo con las siguientes fuentes:

- 2014 a 2020: Datos levantados por el Sistema Nacional de Declaración de Residuos no Peligrosos (SINADER). Estos datos pasaron por una revisión que consistió en estimar producción de residuos per cápita por comuna y homogeneizar los valores fuera del rango esperado (menos a 0,3 y mayor a 3, de acuerdo con criterio de la Oficina de Economía circular del MMA). 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.
- 2012 y 2013: Interpolación lineal entre 2011 y 2014 por región.
- 2001 a 2011: información levantada en estudio “Ajuste del Catastro de Residuos Sólidos Municipales, Serie Temporal 1990/2012” que reunió datos para los años 2000 a 2011 y realizó ajustes estadísticos para proporcionar consistencia a la serie. Este estudio se basa en datos levantados entre 2000 y 2006, por el Ministerio del Medio Ambiente (ex CONAMA), en que elaboró anualmente un catastro de la disposición final de residuos sólidos municipales sin mayor verificación a excepción de los datos del 2006. Luego en 2009 se realizó una encuesta y se publicaron los resultados en el “Primer reporte sobre manejo de residuos sólidos en Chile”. En 2012 el MMA solicitó a las municipalidades informar sobre las cantidades de residuos depositados en 2010 y 2011, que fueron revisados y corregidos.
- 1950-2000: Estimación a partir de la tasa de crecimiento de residuos que calcula modelo del Banco Mundial, What a Waste 2.0 (2018), a partir de la población y PIB del país, a diferencia del inventario anterior en que se extrapoló solo en base a la población.

El resultado para la serie 1990 a 2020 se observa en la siguiente figura y los datos se encuentran en el Anexo 11.09. Se observa que la disposición de residuos sólidos municipales aumenta constantemente en el tiempo, sin embargo, en 2019 y 2020 disminuyen. Esto se puede atribuir a que entre octubre y diciembre de 2019 ocurrieron manifestaciones sociales a lo largo del país y en 2020 el país se vio afectado por la pandemia del COVID19. Ambos hechos afectaron tanto la cantidad de residuos depositados en SDRS como la calidad del reporte de datos.

Figura 7-8. 5.A. Disposición de residuos sólidos: Residuos municipales depositados en sitios de disposición final (t) por región, serie 1950-2020.



Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

Para obtener la serie de tiempo de fracción de residuos eliminados por tipo de sitio de disposición final, se utilizaron los datos de SINADER 2018 al 2020, los catastros de 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 si tenía aprobada su Resolución de calificación ambiental y autorización sanitaria en Relleno sanitario, Vertedero o Basural. Adicionalmente, de acuerdo con criterio experto, los Rellenos sanitarios se separaron en anaeróbicos y semiaeróbicos según si se depositaban más de 100 t diarias para el primer caso y menos de 100 t diarias para el segundo. Para completar la serie entre 1990 y 2009 se consideraron los datos de 2010 de residuos depositados en cada sitio de disposición final junto con los años de inicio de operación y obtención de Resolución de calificación ambiental y autorización sanitaria para marcar el inicio en que se comienza a operar cada sitio como Relleno sanitario o Vertedero. Los resultados obtenidos aplicados al total de residuos depositados se observan en la Tabla 7-7 y Figura 7-9 y a nivel regional en el Anexo 11.09.

Tabla 7-7. 5.A. Disposición de residuos sólidos: Disposición de residuos sólidos municipales (t) por tipo de sitio de disposición, serie 1950-2020

RSM (t)	Basural	Vertedero	Relleno anaeróbico	Relleno semiaeróbicos	Total
1950	1.088.114	-	-	-	1.088.114
1951	1.119.271	-	-	-	1.119.271
1952	1.150.815	-	-	-	1.150.815
1953	1.182.751	-	-	-	1.182.751
1954	1.215.086	-	-	-	1.215.086
1955	1.247.825	-	-	-	1.247.825
1956	1.288.301	-	-	-	1.288.301
1957	1.329.286	-	-	-	1.329.286
1958	1.370.786	-	-	-	1.370.786
1959	1.412.810	-	-	-	1.412.810

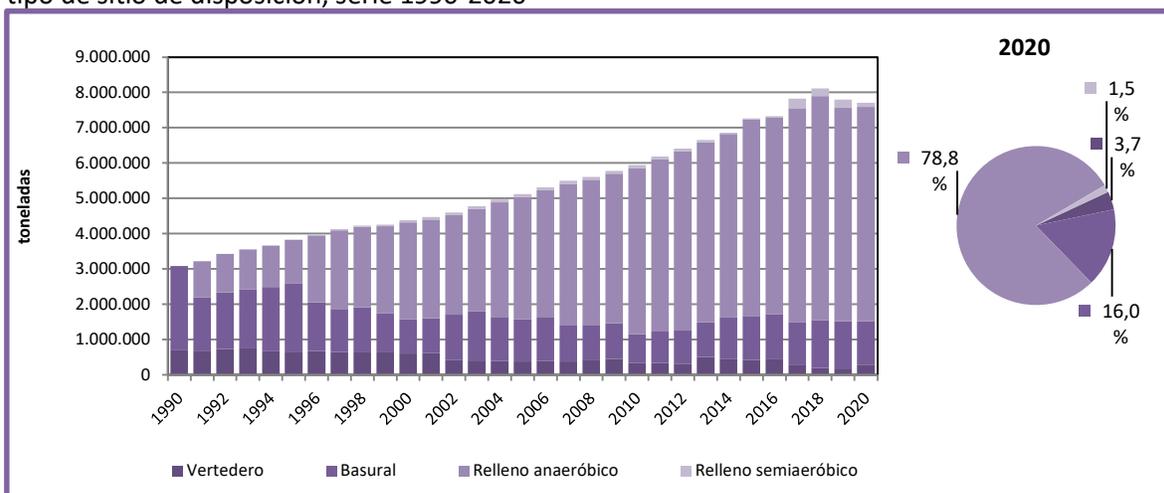
Informe del Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero de Chile 1990-2020

RSM (t)	Basural	Vertedero	Relleno anaeróbico	Relleno semiaeróbicos	Total
1960	1.455.365	-	-	-	1.455.365
1961	1.511.355	-	-	-	1.511.355
1962	1.561.542	-	-	-	1.561.542
1963	1.623.802	-	-	-	1.623.802
1964	1.667.050	-	-	-	1.667.050
1965	1.700.296	-	-	-	1.700.296
1966	1.799.516	-	-	-	1.799.516
1967	1.850.855	-	-	-	1.850.855
1968	1.903.169	-	-	-	1.903.169
1969	1.959.161	-	-	-	1.959.161
1970	1.999.228	-	-	-	1.999.228
1971	2.097.731	-	-	-	2.097.731
1972	2.110.830	-	-	-	2.110.830
1973	2.087.773	-	-	-	2.087.773
1974	2.129.531	-	-	-	2.129.531
1975	458.041	1.576.259	-	-	2.034.301
1976	468.806	1.613.496	-	-	2.082.302
1977	491.736	1.693.240	-	-	2.184.976
1978	510.773	1.759.442	-	-	2.270.215
1979	532.095	1.833.693	-	-	2.365.788
1980	553.519	1.908.348	-	-	2.461.866
1981	574.330	1.980.798	-	-	2.555.128
1982	552.990	1.905.452	-	-	2.458.442
1983	547.108	1.884.383	-	-	2.431.491
1984	561.671	1.934.865	-	-	2.496.536
1985	576.174	1.985.144	-	-	2.561.319
1986	595.423	2.051.975	-	-	2.647.398
1987	617.679	2.129.365	-	-	2.747.044
1988	642.780	2.216.768	-	-	2.859.548
1989	675.457	2.330.814	-	-	3.006.271
1990	691.437	2.386.252	-	-	3.077.689
1991	683.192	1.509.730	1.019.411	-	3.212.333
1992	730.800	1.600.917	1.095.571	-	3.427.289
1993	748.371	1.668.195	1.136.014	-	3.552.580
1994	665.218	1.819.144	1.169.796	3.282	3.657.440
1995	654.206	1.942.713	1.223.523	3.429	3.823.871
1996	673.446	1.383.173	1.885.260	24.996	3.966.874
1997	643.683	1.218.801	2.226.041	35.082	4.123.607
1998	653.249	1.257.107	2.283.763	35.993	4.230.112
1999	656.061	1.090.766	2.458.488	45.368	4.250.682
2000	603.281	968.936	2.743.473	59.044	4.374.733
2001	607.637	991.858	2.801.065	65.740	4.466.300
2002	413.527	1.285.042	2.822.759	75.172	4.596.500
2003	397.394	1.391.284	2.910.643	77.679	4.777.000
2004	388.557	1.249.072	3.248.615	77.856	4.964.100
2005	375.077	1.201.966	3.458.597	78.061	5.113.700
2006	381.121	1.255.255	3.593.564	80.960	5.310.900
2007	375.910	1.041.778	3.991.516	83.696	5.492.900

RSM (t)	Basural	Vertedero	Relleno anaeróbico	Relleno semiaeróbicos	Total
2008	430.902	983.133	4.108.411	85.554	5.608.000
2009	447.122	1.014.063	4.229.913	88.403	5.779.500
2010	378.893	874.527	4.550.586	131.694	5.935.700
2011	377.258	955.848	4.714.213	136.512	6.183.831
2012	367.641	970.694	4.941.153	126.201	6.405.689
2013	527.630	1.037.126	4.987.797	94.411	6.646.964
2014	477.435	1.147.177	5.153.567	76.869	6.855.049
2015	451.179	1.218.730	5.511.823	83.805	7.265.536
2016	484.212	1.230.278	5.522.687	87.222	7.324.399
2017	270.150	1.222.388	6.059.220	273.936	7.825.694
2018	197.424	1.352.352	6.347.414	214.472	8.111.663
2019	177.149	1.331.886	6.050.678	231.564	7.791.277
2020	284.508	1.232.227	6.075.027	116.852	7.708.614

Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

Figura 7-9. 5.A. Disposición de residuos sólidos: Disposición de residuos sólidos municipales (t) por tipo de sitio de disposición, serie 1990-2020



Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

La composición de residuos sólidos municipales (RSM), se obtuvo con datos país específicos recopilados desde el Informe de SUBDERE 2017 “Diagnóstico de la situación por comuna y por región en materia de RSM y Asimilables”⁶⁷. 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 (Norte, Región Metropolitana y Sur) de los porcentajes de cada tipo de residuo generado por comuna, por su población. La composición de RSM levantada, se mantuvo constante durante toda la serie 1950 a 2018, ya que no se cuenta con mejor información para conocer la variación temporal. Los resultados se compararon con la composición por defecto para 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 7-8.

⁶⁷ <http://www.subdere.gov.cl/content/l%C3%ADnea-base-diagn%C3%B3stico-y-catastro-de-rsd-a%C3%B1o-2017>

Tabla 7-8. 5.A. Disposición de residuos sólidos: Composición de residuos sólidos domiciliarios (%) país específico y por defecto del Refinamiento del IPCC de 2019

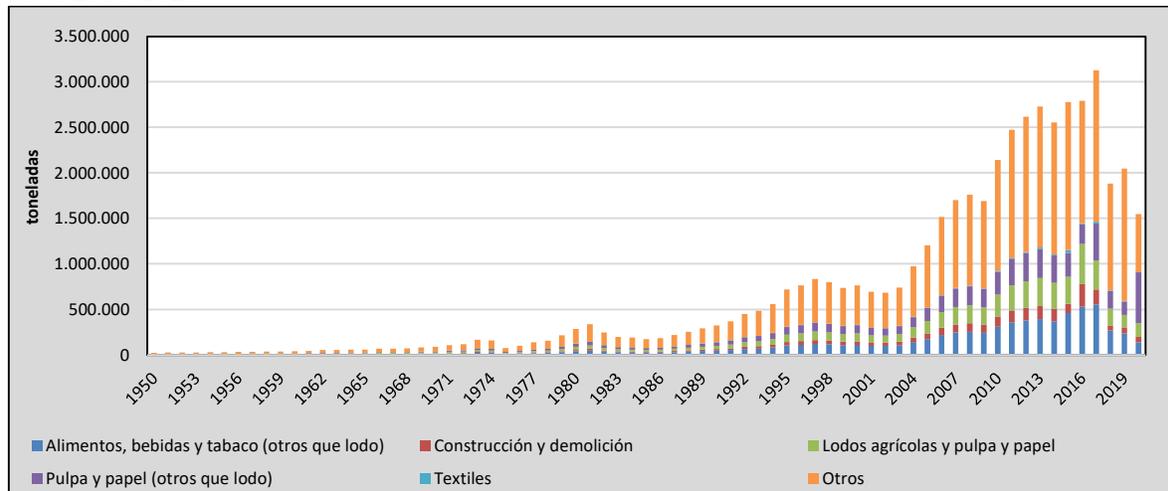
Composición de RSM en base a Catastro Subdere 2017	Materia orgánica	Papel y Cartón	Plástico	Vidrio	Metal	Otros Residuos
Macrozonas	%	%	%	%	%	%
Norte	56,6	10,6	12,0	3,0	1,9	15,9
Región Metropolitana	56,7	12,3	10,7	3,8	1,0	15,5
Sur	56,0	10,9	11,0	2,4	2,0	17,7
País	56,5	11,4	11,1	3,2	1,5	15,9
IPCC, 2019 Refinements con clasificación Subdere	57,4	12,4	13,7	3	2	11,5

Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

Residuos industriales

Adicionalmente se incluyeron residuos industriales. Los datos de actividad se obtuvieron de SINADER para los años 2015 a 2020. El SINADER comienza a operar el 2014, sin embargo, los datos para este año no se incluyeron ya que difieren de las cifras para el resto de los años reportados, lo cual se atribuye a una baja participación de empresas en el levantamiento de información. Para extrapolar la serie se utilizó el PIB anual desde 1950, a diferencia del inventario anterior que se había estimado solo desde hasta 1990, y se mantuvieron los porcentajes promedio por industria para cada región a lo largo de la serie. La categoría Otros representa principalmente fracciones de residuos municipales recogidas selectivamente incluyendo residuos asimilables de comercio, industrias e instituciones.

Figura 7-10. Disposición de residuos sólidos: Disposición de residuos industriales (t) por industria, serie 1950-2020



Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

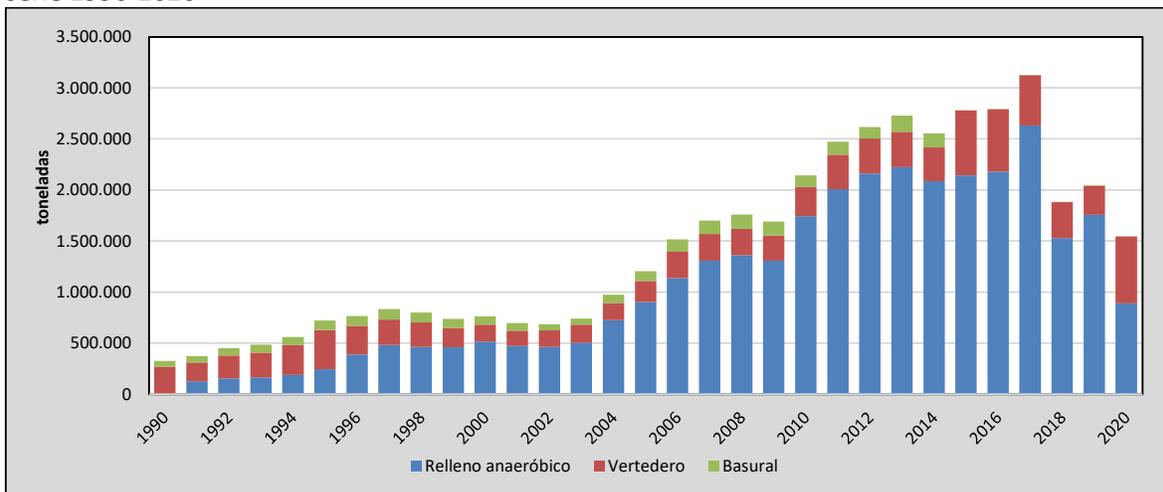
En los datos de SINADER, además de reportar el tipo de industria, y la cantidad de residuos generados, se reporta la región, el tipo de residuos (de acuerdo con códigos de la Lista Europea de Residuos, LER) y el tipo de tratamiento. En el tipo de tratamiento se define el tipo de sitio en que se dispone, o bien, si se valoriza como reciclaje, incineración, compostaje, entre otros. Para obtener las cifras de residuos industriales se consideraron los siguientes criterios:

- Se consideran solo los residuos que tienen como destino Rellenos Sanitarios, Mono rellenos, Vertederos o Basurales.

- No se consideraron residuos de estiércol ya que sus emisiones se estiman en el sector Agricultura.
- Los lodos por tratamiento de aguas residuales de las industrias agrícolas y de pulpa y papel, dadas sus características, se trabajan como una categoría distinta a los residuos de la industria agrícola y de pulpa y papel
- Para residuos de construcción solo se consideraron los clasificados como madera y residuos 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.
- Adicionalmente se hizo una revisión de la información editando los datos que fueran de más de 2 órdenes de magnitud según lo reportado por la misma empresa en otros años, suponiendo un error en las unidades reportadas.
- A modo de verificación se analizaron los datos a nivel regional. Se observa que las regiones del Biobío y la Araucanía presentan altos niveles de residuos de la industria de la Pulpa y papel lo que coincide con la ubicación de las plantas más grandes de esta industria a nivel nacional. Por otro lado, la RM también presenta una alta generación de residuos industriales lo que también coincide con la actividad industrial en esta región.
- A diferencia del inventario anterior, se consideran los residuos municipales reportados como residuos industriales, ya que de acuerdo con lo explicado por SINADER, estos son residuos adicionales a los reportados por las municipalidades como RSM.

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 RSM.

Figura 7-11. Disposición de residuos sólidos: Disposición de residuos industriales (t) por tipo de sitio, serie 1990-2020



Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

Cabe destacar que, por la dificultad de verificación de datos, y a que no siempre reportan las mismas empresas, se tiene un alto nivel de incertidumbre. Esto sugiere que los niveles de generación de residuos industriales pueden ser potencialmente mayores. Adicionalmente cabe destacar, que no se consideran los sitios de disposición final que son propios de cada industria. Se incluye al plan de

mejora para futuros inventarios la verificación de los datos con representantes de las principales industrias.

Lodos de PTAS

Adicionalmente a los RSM y a los Residuos industriales, se suman los lodos generados en plantas de tratamiento de aguas servidas. Los datos de actividad se obtienen de información levantada por la SMA como se describe en la sección 7.5.4.3.1 y se muestran en la Tabla 7-37. Adicionalmente se utiliza información levantada por SINADER para determinar la cantidad de lodos de PTAS que se utilizan como mejorador de suelos agrícolas y forestales y sus emisiones son contabilizadas en el sector de Agricultura.

Metano Recuperado

Por otra parte, la cantidad de metano recuperado, corresponden a valores recopilados desde cada uno de los SDRS que llevan a cabo esta práctica a nivel nacional, los resultados se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 7-9. 5.A. Disposición de residuos sólidos: metano recuperado (kt CH₄/año), serie 1990-2020

Año	Metano recuperado (kt CH₄/año)
1990	-
1991	-
1992	-
1993	-
1994	-
1995	-
1996	-
1997	-
1998	-
1999	-
2000	-
2001	-
2002	-
2003	-
2004	0
2005	0
2006	1
2007	22
2008	38
2009	52
2010	59
2011	61
2012	69
2013	56
2014	63
2015	59
2016	65
2017	57
2018	50

Año	Metano recuperado (kt CH ₄ /año)
2019	52
2020	45

Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

Parámetros

Respecto a los datos paramétricos necesarios, estos fueron obtenidos de las *Directrices del IPCC de 2006*, por defecto (Tabla 7-10). Todos los DOC (fracción de carbono orgánico degradable contenido en los residuos) son en fracción de peso húmedo. Para el DOC de lodos generados desde Plantas de tratamiento de aguas servidas (PTAS) y Plantas de Tratamiento de Aguas Industriales se consideró una humedad del 75% y para la fracción de Otros de RSM e industriales se consideraron los parámetros de residuos a granel que considera una composición por defecto para residuos de América del Sur.

Tabla 7-10. 5.A. Disposición de residuos sólidos: datos paramétricos.

Dato	Valor
Fracción del carbono orgánico degradable que se descompone (DOCf)	0,50
Fracción de metano (F) en gas generado	0,50
Carbono orgánico degradable (DOC) RSM, fracción Residuos orgánicos	0,15
Carbono orgánico degradable (DOC) RSM, fracción Papel, cartón	0,40
Carbono orgánico degradable (DOC) RSM, fracción Otros	0,16
Carbono orgánico degradable (DOC) RSM, fracción lodos	0,13
Carbono orgánico degradable (DOC) industria alimentos	0,15
Carbono orgánico degradable (DOC) industria lodos	0,06
Carbono orgánico degradable (DOC) industrias textiles	0,24
Carbono orgánico degradable (DOC) industria pulpa y papel	0,40
Carbono orgánico degradable (DOC) industria construcción	0,04
Carbono orgánico degradable (DOC) industria otros	0,16
Índice de generación de metano (k), boreal y templado seco, Residuos Orgánicos	0,06
Índice de generación de metano (k), boreal y templado seco, Papel Cartón	0,04
Índice de generación de metano (k), boreal y templado seco, otros (desechos brutos)	0,05
Índice de generación de metano (k), boreal y templado seco, lodos	0,06
Índice de generación de metano (k), boreal y templado húmedo, Residuos Orgánicos	0,19
Índice de generación de metano (k), boreal y templado húmedo, Papel Cartón	0,06
Índice de generación de metano (k), boreal y templado húmedo, otros (desechos brutos)	0,09
Índice de generación de metano (k), boreal y templado húmedo, lodos	0,19

Fuente: Sección 3.2.3.; Capítulo 3; y Sección 2.3; Capítulo 2; Volumen 5; *Directrices del IPCC de 2006*.

7.2.3.2 Factores de emisión

Los factores de emisión para CH₄ de los SDRS usados para la estimación de las emisiones de GEI de la categoría fueron estimados en base a criterio experto,^[1] de acuerdo con ciertas condiciones como disposición de residuos controlada o incontrolada, cantidad de residuos recepcionados, densidad de compactación, cantidad de materia orgánica y humedad. La clasificación y valores utilizados se encuentran en la Tabla 7-11.

[1] Marcel Szanto Narea, Director Grupo de Residuos Sólidos, Facultad de Ingeniería Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.

Tabla 7-11. 5.A. Disposición de residuos sólidos: factores de corrección de metano (MCF)

Tipo de SDRS	Descripción	Normativa Nacional	Factor de Corrección de Metano (MCF)
Relleno Sanitario anaeróbico	Disposición controlada de residuos, recepción de residuos mayor a 100 t/d, densidad superior a 600 kg/m ³ , 60-70% de materia orgánica, humedad superior al 40%.	Cuentan con RCA y autorización sanitaria (Resolución N°2444 del MINSAL).	1,0
Relleno Sanitario semiaeróbico	Disposición controlada de residuos, recepción de residuos menor a 100 t/d, densidad menor a 600 kg/m ³ , 60-70% de materia orgánica, 30-40% humedad.	Cuentan con RCA y autorización sanitaria (Resolución N°2444 del MINSAL).	0,8
Vertedero	Tienen comportamiento errático con baja generación de CH ₄ .	Cuentan con autorización sanitaria (Resolución N°2444 del MINSAL).	0,30
Basural	Disposición incontrolada de residuos, prácticamente, es aerobio, sin generación de CH ₄ .	No cuenta con RCA, ni autorización sanitaria (Resolución N°2444 del MINSAL).	0,20

Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

7.2.4 Incertidumbre

La incertidumbre de esta categoría se calculó separando las emisiones estimadas de residuos sólidos municipales (RSM) y por otro las de residuos industriales, por el hecho de que utilizan distintas fuentes para los datos de actividad. La incertidumbre combinada de RSM de esta categoría es de -100 % y +114 % y de residuos industriales de -76 % y +599 %. La incertidumbre de la segunda es mayor debido a que los datos de actividad que se utilizan se levantan solo desde 2014 y se no todas las empresas reportan todos los años. En general no se cuenta con información nacional sobre incertidumbre de los datos de actividad, factores de emisión y parámetros utilizados en el cálculo, por lo que consideraron las recomendadas por las *Directrices del IPCC de 2006* (Cuadro 3.5; Capítulo 3; Volumen 5). Para el límite superior de la incertidumbre de residuos industriales se consideró el total de toneladas reportadas como límite superior del rango de incertidumbre. Para combinar la incertidumbre de la categoría se realizaron los cálculos que se explican a continuación.

Para combinar las incertidumbres de los datos de actividad, parámetros y factores de emisión se consideró que el modelo FOD (ver Aspectos metodológicos de la categoría) combina las incertidumbres como si las variables se estuvieran multiplicando, por lo que se utilizó la ecuación de combinación de incertidumbre método 1 para la multiplicación generando resultados para cada SEDS.

Una explicación general de la estimación de la incertidumbre con las ecuaciones del método 1 mencionadas se encuentra en la sección 1.7. *Evaluación general de la incertidumbre*, junto al cuadro de cálculo, y los supuestos aplicados, en ANEXO 11.04.

7.2.5 Consistencia de la serie temporal

Para mantener la consistencia de la serie 1990-2020 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 RSM depositados provienen de distintas fuentes dependiendo del año, por lo que se analizaron a nivel comunal, y se completaron con datos de generación per cápita y población de la comuna. Por otra parte, se extrapolan entre 2009 y 1950 utilizando valores de PIB per cápita como se detalla en la sección 3.2.3.1. *supra*.

Por parte de la distribución de RSM por tipo de sitio, se utilizó para los últimos años la información reportada por SINADER, mientras que antes se utilizaba la 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 sitio para el 2017 y son consistentes por lo que se utilizaron directamente los datos nuevos, manteniendo la clasificación de cada sitio de disposición.

7.2.6 Procedimiento de garantía y control de la calidad y verificación

7.2.6.1 Verificación

Las actividades de verificación realizadas se asocian a la revisión de datos de actividad, comparando indicadores de generación de residuos per cápita en el tiempo por comuna, según se describe en la sección metodológica. También se verifican los parámetros país específicos utilizados con los valores por defecto del IPCC, también descritos en la sección metodológica.

7.2.7 Nuevos cálculos

7.2.7.1 Justificación de los nuevos cálculos y mejoras

En esta actualización se realizaron varias mejoras de datos de actividad y factores de emisión que tienen un efecto en las emisiones estimadas, los principales cambios fueron:

- Se desvió parte de los lodos de PTAS hacia uso en suelo (*sector Agricultura*)
- Se incluyeron Residuos reportados por municipalidades como residuos industriales de Otras industrias, para lo que se utilizaron parámetros de Residuos Municipales a granel.
- Se extrapolaron los residuos industriales hasta 1950, mientras que en el inventario anterior se habían extrapolado hasta 1990.
- Se revisaron datos de generación de 2018 ya que se habían incluido en el inventario anterior residuos que van a procesos de valorización y no a sitios de disposición final.
- Se utilizaron nuevas hojas de cálculo Excel desarrollados por una consultoría para sistematizar cálculos y manejo de datos, disminuyendo la posibilidad de errores.

7.2.7.2 Implicaciones para los niveles de emisión

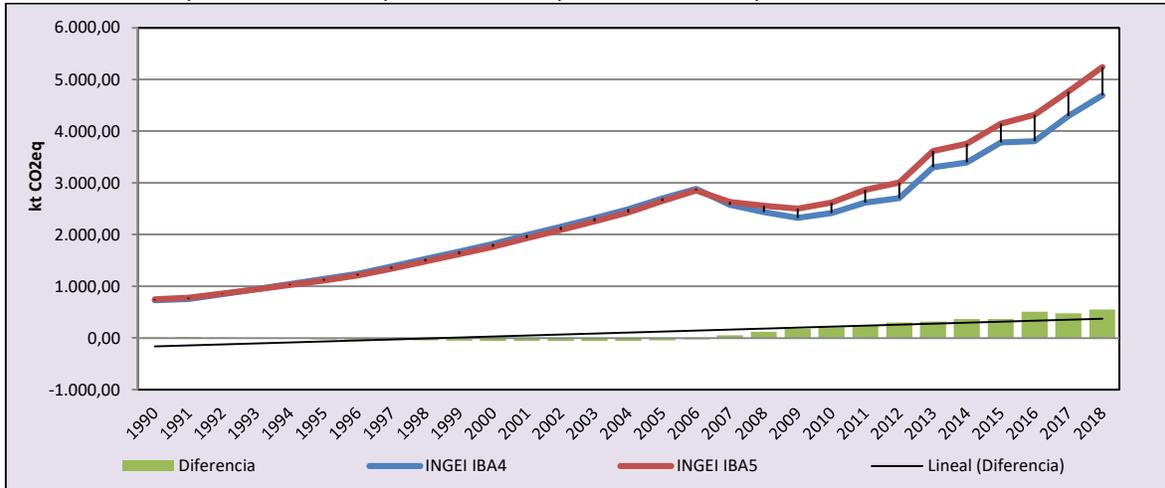
En la Tabla 7-12 y la Figura 7-12, se observa como variaron las emisiones de GEI de la subcategoría con respecto al inventario anterior (INGEI IBA4). La diferencia para los últimos años de la serie se debe principalmente a la inclusión de residuos industriales reportados por municipalidades que antes no se habían contabilizado porque se pensaba que correspondía a una doble contabilidad, pero se aclaró que corresponden a residuos distintos a los reportados como RSM.

Tabla 7-12. 5.A. Disposición de residuos sólidos: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI IBA4 (serie 1990-2020) e INGEI IBA3 (serie 1990-2018)

INGEI	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020
INGEI IBA4	733,6	1.817,3	2.412,1	3.298,2	3.807,3	4.691,9	
INGEI IBA5	748,3	1.761,0	2.620,3	3.613,1	4.313,0	5.243,3	5.847,4
Diferencia	14,7	-56,3	208,2	314,9	505,7	473,5	
Diferencia %	2,0%	-3,2%	7,9%	8,7%	11,7%	9,0%	

Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

Figura 7-12. 5.A. Disposición de residuos sólidos: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI IBA5 (serie 1990-2020) e INGEI IBA4 (serie 1990-2018)



Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

7.2.8 Plan de mejoramiento

Cotejar con los principales representantes de la industria papelera y de la agroindustria los datos reportados a SINADER, incluyendo las características de los sitios de disposición utilizados.

Automatizar clasificación de sitios de SINADER en Rellenos, Vertederos o Basurales de acuerdo con el sitio de disposición que reportan y no de acuerdo con la comuna.

Definir con criterio experto si se debe usar un factor de oxidación de 0,1 en rellenos sanitarios.

Levantar metano recuperado, preguntando por biogás total y porcentaje de metano, y reconsiderar factor F.

7.3 Tratamiento biológico de los residuos sólidos (5.B.)

7.3.1 Descripción de la categoría

La categoría *Tratamiento biológico de residuos sólidos* corresponde a los procesos que afectan la cantidad y composición de los residuos, como la fabricación de compost y la digestión anaeróbica de los residuos orgánicos. Dichos procesos permiten la reducción del volumen, estabilización del residuo, y destrucción de agentes patógenos presentes. Además, en el caso de la digestión, permiten la producción de biogás para utilización energética. En el caso del compostaje el producto final puede utilizarse como fertilizante y abono en suelos, o bien, eliminarse en SDRS.

En el contexto nacional, al 2020, existen alrededor de 15 instalaciones o proyectos de compostaje a lo largo del país, existiendo una “Norma Chilena de calidad de compost” (NCh 2880 del INN).

7.3.2 Tendencia de las emisiones de GEI

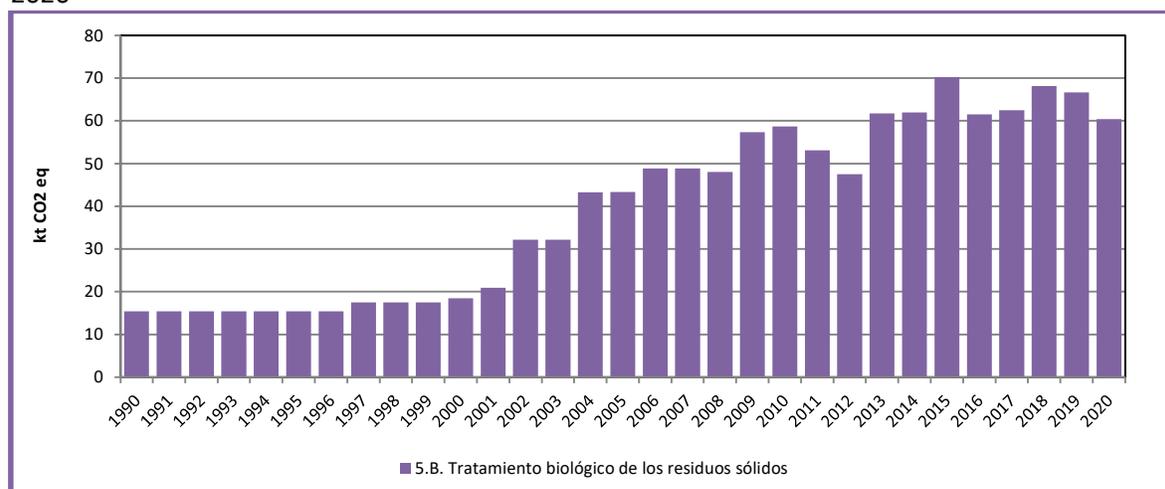
La categoría *Tratamiento biológico de los residuos sólidos* es la cuarta categoría emisora de GEI del sector *Residuos* (0,7%). En 2020, sus emisiones de GEI contabilizaron 60 kt CO₂ eq, incrementándose en un 66 % desde 1990 y disminuyendo en un 4 % desde 2018 (Tabla 7-13 y Figura 7-13). La principal 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 7-13. 5.B. Tratamiento biológico de residuos sólidos: emisiones de GEI (kt CO₂ eq), serie 1990-2020

Categoría	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020
5.B. Tratamiento biológico de los residuos sólidos	15,4	18,4	58,7	61,7	61,5	68,1	60,4
Total	15,4	18,4	58,7	61,7	61,5	68,1	60,4

Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

Figura 7-13. 5.B. Tratamiento biológico de residuos sólidos: emisiones de GEI (kt CO₂ eq), serie 1990-2020



Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

7.3.3 Aspectos metodológicos de la categoría

Para la estimación de las emisiones de GEI de la categoría *Tratamiento biológico de residuos sólidos* se utilizó una metodología de Nivel 1 para las emisiones de CH₄ y N₂O, de acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006*, con factores de emisión por defecto.

Metano

Las emisiones de metano procedente de los diferentes procesos de tratamiento biológicos se estiman a partir de la siguiente ecuación:

Ecuación 7-3. 5.B. Tratamiento biológico de residuos sólidos: emisiones de CH₄ provenientes del tratamiento biológico (Nivel 1)

$$Emisión_{CH_4} = \sum_i (M_i \cdot EF_i) \cdot 10^{-3} - R$$

Fuente: Ecuación 4.1; Capítulo 4; Volumen 5; *Directrices IPCC de 2006*.

Donde:

- Emisiones de CH₄: total de las emisiones de CH₄ durante el año de inventario, kt de CH₄.
- M_i: masa de los residuos orgánicos sometidos al tratamiento biológico *i*, kt.
- EF_i: factor de emisión del tratamiento *i*, g de CH₄/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.

En la ecuación anterior se incluye la recuperación del CH₄, sin embargo, este término aplica en el caso en que se tengan procesos de digestión anaeróbica, situación que no ocurre en la realidad nacional.

Óxido nitroso

Las emisiones de óxido nitroso procedente de los diferentes procesos de tratamiento biológicos se estiman a partir de la siguiente ecuación:

Ecuación 7-4. 5.B. Tratamiento biológico de residuos sólidos: emisiones N₂O provenientes del tratamiento biológico (Nivel 1)

$$Emisión_{N_2O} = \sum_i (M_i \cdot EF_i) \cdot 10^{-3}$$

Fuente: Ecuación 4.2; Capítulo 4; Volumen 5; *Directrices IPCC de 2006*.

Donde:

- Emisiones de N₂O: total de las emisiones de N₂O durante el año de inventario, kt de N₂O.
- M_i: masa de los residuos orgánicos sometidos al tratamiento biológico *i*, kt.
- EF_i: factor de emisión del tratamiento *i*, g de N₂O/kg de residuos tratados.
- *i*: preparación de abono orgánico o digestión anaeróbica.

7.3.3.1 Datos de actividad estadísticos y paramétricos

Los datos de actividad para esta categoría provienen de diversas fuentes: revisión de proyectos de compostaje y digestión anaeróbica aprobados por el Servicio de Evaluación Ambiental (SEA)⁶⁸, datos de valorización de residuos obtenidos a partir de un informe⁶⁹ elaborado por la SUBDERE⁷⁰ y datos levantados desde 2014 a través de RETC⁷¹, asociado al reporte SINADER⁷². 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 7-14.

Tabla 7-14. 5.B. Tratamiento biológico de residuos sólidos: cantidad total de residuos en compostaje (t, base húmeda).

Año	Total
1990	90,0
1991	90,0
1992	90,0
1993	90,0
1994	90,0
1995	90,0
1996	90,0
1997	102,0
1998	102,0
1999	102,0
2000	107,5
2001	122,1
2002	187,4
2003	187,4
2004	252,2
2005	252,7
2006	285,0
2007	285,0
2008	280,2
2009	334,3
2010	342,3
2011	309,6
2012	276,9
2013	359,9
2014	361,4
2015	409,3
2016	358,7
2017	364,1
2018	397,3

⁶⁸ <https://www.sea.gob.cl/>

⁶⁹ <http://www.subdere.gov.cl/documentacion/diagn%C3%B3stico-y-catastro-de-rsd-%C3%B1o-2017>

⁷⁰ <http://www.subdere.gov.cl/>

⁷¹ <https://datosretc.mma.gob.cl/group>

⁷² SINADER: Sistema Nacional de declaración de Residuos), es un sistema de declaración vía portal web, que permitirá a los generadores y destinatarios de residuos (Industrias y Municipios) declarar, de acuerdo a las obligaciones que impone el Reglamento del RETC.

Año	Total
2019	388,5
2020	352,0

Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

7.3.3.2 Factores de emisión

Los factores de emisión utilizados para el cálculo de las emisiones de GEI fueron los valores por defecto proporcionados por las *Directrices del IPCC de 2006* (Cuadro 4.1; Capítulo 4; Volumen 5), para el proceso de abono orgánico, el que es homologado al proceso de compostaje nacional (Tabla 7-15).

Tabla 7-15. 5.B. Tratamiento biológico de residuos sólidos: factores de emisión.

Proceso	GEI	Factor de emisión (g GEI/kg residuo tratado)
Abono orgánico (compost)	CH ₄	4,00
Abono orgánico (compost)	N ₂ O	0,24

Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

7.3.4 Incertidumbre

La incertidumbre combinada de la categoría es de -98 % y de +160 %. No se cuenta con información nacional de la incertidumbre de los datos de actividad y los factores de emisión, por lo que se consideraron las recomendadas por las *Directrices del IPCC de 2006* (Cuadro 3.5; Capítulo 3, Volumen 5 para los datos de actividad y Cuadro 4.1; Capítulo 4; Volumen 5 para los factores de emisión). Un resumen de los resultados de la incertidumbre combinada se presenta en la Tabla 7-16.

Tabla 7-16. 5.B. Tratamiento biológico de residuos sólidos: resumen de la incertidumbre combinada, 2020

Código IPCC	Categoría del IPCC	Gas	Incertidumbre en los datos de actividad		Incertidumbre en el factor de emisión		Incertidumbre combinada	
			(-)%	(+)%	(-)%	(+)%	(-)%	(+)%
5.B.	Tratamiento biológico de residuos sólidos	CH ₄	100,0%	200,0%	99,3%	100,0%	140,9%	223,6%
5.B.	Tratamiento biológico de residuos sólidos	N ₂ O	100,0%	200,0%	80,0%	100,0%	128,1%	223,6%

Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

Una explicación general de la estimación de la incertidumbre se encuentra en la sección 1.7. *Evaluación general de la incertidumbre* y el cuadro de cálculo, junto a los supuestos aplicados, en ANEXO 11.04.

En conclusión, la mayor fuente de incertidumbre en las estimaciones de GEI de la categoría proviene de los datos de actividad.

7.3.5 Consistencia de la serie temporal

Para mantener la consistencia de la serie 1990-2020 se usaron los mismos factores de emisión y se hizo una revisión histórica en base a las plantas de compostaje existentes, su año de inicio al incluir datos de nuevas fuentes.

7.3.6 Procedimiento de garantía y control de la calidad y verificación

7.3.6.1 Verificación

Por el momento no se tienen datos de otras fuentes con los cuales se pueda comparar los resultados.

7.3.7 Nuevos cálculos

7.3.7.1 Justificación de los nuevos cálculos y mejoras

Se efectuó un nuevo cálculo asociado al cambio en el factor de emisión del N₂O, basado en la observación de un revisor experto en el marco del proceso del ICA del 4IBA, en que se detectó que el factor de emisión que se estaba usando era de las *Directrices del IPCC de 2006* en español, en el que no se incluyen las correcciones, por lo que se tomó el valor de las guías en inglés cambiando de 0,3 a 0,24 (g N₂O /kg residuo tratado).

7.3.7.2 Implicaciones para los niveles de emisión

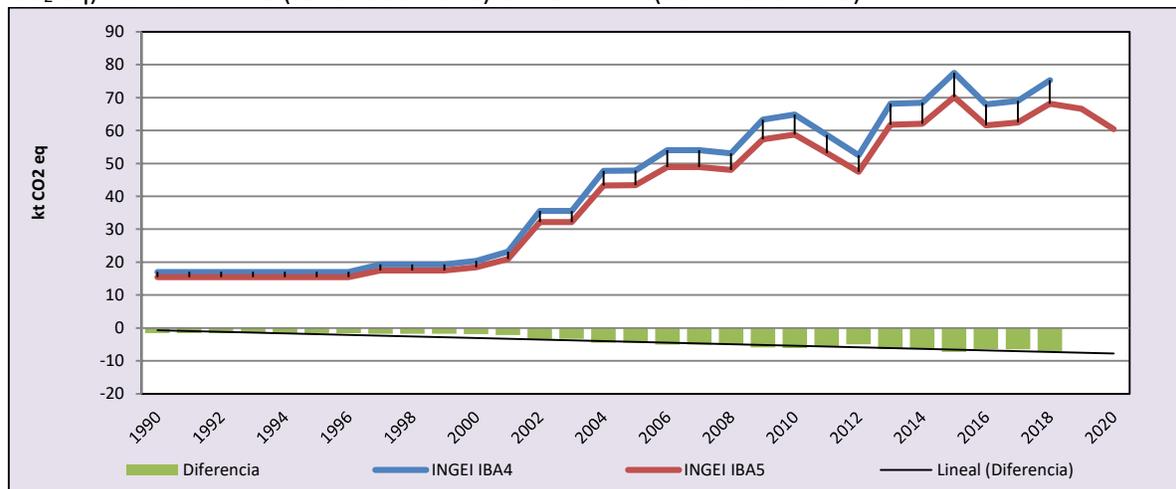
En la Tabla 7-17 y la Figura 7-14, se observa como variaron las emisiones de GEI de la subcategoría con respecto al inventario anterior (INGEI 4IBA). Las diferencias se deben, tal como se señaló anteriormente, al nuevo factor de emisión para el N₂O.

Tabla 7-17. 5.B. Tratamiento biológico de residuos sólidos: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI IBA5 (serie 1990-2020) e INGEI IBA4 (serie 1990-2018)

INGEI	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020
INGEI IBA4	17,0	20,4	64,8	68,2	67,9	75,3	
INGEI IBA5	15,4	18,4	58,7	61,7	61,5	68,1	60,4
Diferencia	-1,6	-1,9	-6,1	-6,4	-6,4	-7,1	
Diferencia %	-9,4%	-9,4%	-9,4%	-9,4%	-9,4%	-9,4%	

Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

Figura 7-14. 5.B. Tratamiento biológico de residuos sólidos: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI IBA5 (serie 1990-2020) e INGEI IBA4 (serie 1990-2018)



Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

7.3.8 Plan de mejoramiento

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

7.4 Incineración e incineración abierta de residuos (5.C.)

7.4.1 Descripción de la categoría

La categoría *Incineración e incineración abierta de residuos* incluye las emisiones de GEI que resultan de la combustión de residuos sólidos y líquidos sin recuperación de energía que apuntan a la combustión de materiales principalmente no deseados y específicamente la incineración abierta implica que el humo y otras emisiones se liberan directamente al aire o a través de dispositivos de incineración que no controlan el aire salida de la combustión. Las subcategorías incluidas son:

- 5.C.1. *Incineración de residuos*
- 5.C.2. *Incineración abierta de residuos*

De acuerdo con la normativa nacional, la incineración abierta de residuos es una práctica ilegal en Chile, por lo que no se cuenta con registros sobre cantidades incineradas. Sin embargo, se sabe que ocurren, por lo que la cantidad incinerada se estima en base a supuestos que se señalan más adelante. Por otro lado, se autoriza la eliminación de residuos hospitalarios mediante quema y la cremación de cadáveres y restos humanos.

7.4.2 Tendencia de las emisiones de GEI

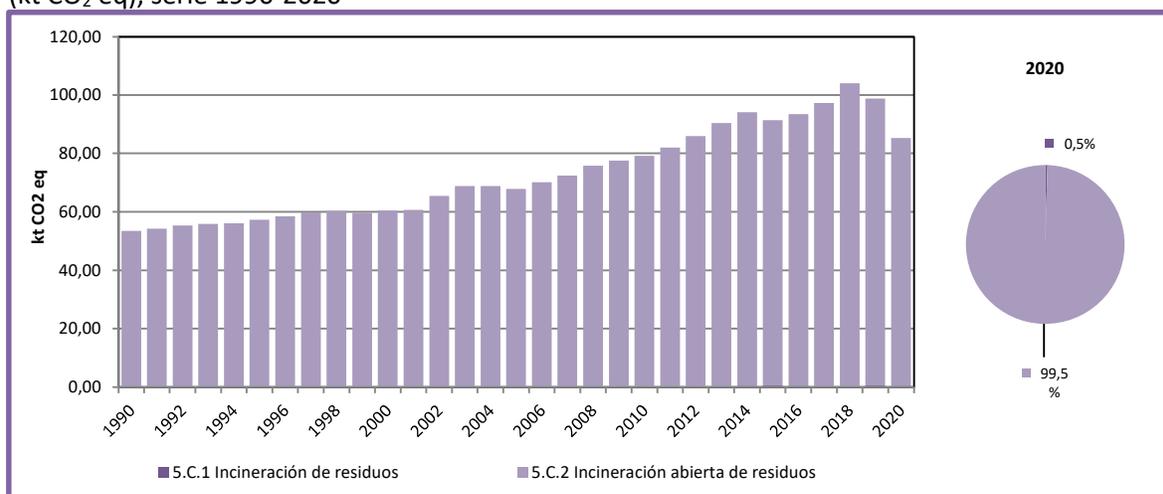
La categoría *Incineración e incineración abierta de residuos* es la tercera categoría de emisiones de GEI del sector *Residuos* (0,9%). En 2020, sus emisiones de GEI contabilizaron 85 kt CO₂ eq, incrementándose en un 60 % desde 1990 y disminuyendo en un 18 % desde el 2018 (Tabla 7-18 y Figura 7-15). La principal causa de las variaciones de las emisiones de GEI de esta categoría es 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 7-18. 5.C. Incineración e incineración abierta de residuos: emisiones de GEI (kt CO₂ eq), serie 1990-2020.

Categoría	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020
5.C.1 Incineración de residuos	0,0	0,1	0,3	0,3	0,4	0,3	0,4
5.C.2 Incineración abierta de residuos	53,4	60,3	78,9	90,1	93,1	103,8	84,9
Total	53,4	60,4	79,1	90,4	93,5	104,0	85,3

Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

Figura 7-15. 5.C. Incineración e incineración abierta de residuos: tendencia de las emisiones de GEI (kt CO₂ eq), serie 1990-2020



Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

7.4.3 Aspectos metodológicos de la categoría

Para la estimación de las emisiones de GEI de ambas subcategorías *Incineración de residuos* e *Incineración abierta de residuos*, se utilizó una metodología de Nivel 1 de acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006* con factores de emisión y datos paramétricos por defecto.

7.4.4 Incineración de residuos (5.C.1.)

7.4.4.1 Descripción de la subcategoría

Esta categoría considera las emisiones de CO₂, CH₄ y N₂O generadas en la incineración controlada de residuos sin recuperación de energía. Los incineradores controlados poseen cámaras de combustión diseñadas para funcionar a altas temperaturas y producir una combustión más completa. Se incluyen desechos hospitalarios y una pequeña parte de desechos industriales.

7.4.4.2 Tendencia de las emisiones de GEI

La subcategoría *Incineración de residuos* representa un 0,5 % de las emisiones de GEI de la categoría *Incineración e incineración abierta de residuos*. En el 2020, las emisiones de GEI de esta subcategoría contabilizaron 0,4 kt CO₂ eq, incrementándose en un 403 % desde 1990 y en un 52 % desde 2018 (Tabla 7-18 y Figura 7-15). El principal causante de la tendencia y las variaciones interanuales es el uso de esta tecnología para la eliminación de residuos.

7.4.4.3 Aspectos metodológicos de la subcategoría

Para la estimación de las emisiones de CO₂, CH₄ y de N₂O de la subcategoría se utilizó una metodología de Nivel 1 de acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006* con factores de emisión por defecto.

Dióxido de carbono

Para la estimación de las emisiones de CO₂ se utiliza el método de Nivel 1. La estimación considera lo siguiente:

Ecuación 7-5. 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

Las emisiones de CH₄ se estiman siguiendo un método de Nivel 1 de acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006*. Las emisiones provenientes de la incineración son el resultado de una combustión incompleta. Los factores importantes que afectan las emisiones son la temperatura, el tiempo de residencia y proporción de aire respecto a la cantidad de residuos. La estimación considera lo siguiente:

Ecuación 7-6. 5.C.1. Incineración de residuos: estimación de emisiones de CH₄ basada en la cantidad total de desechos quemados (Nivel 1)

$$Emisión_{CH_4} = \sum_i (IW_i \cdot EF_i) \cdot 10^{-6}$$

Fuente: Ecuación 5.4; Capítulo 5; Volumen 5; *Directrices IPCC de 2006*.

Donde:

- Emisión_{CH₄}: emisiones de CH₄ 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 por tipo de residuo, kg CH₄/Gg de residuos.
- i: tipo de residuos incinerado.

Óxido nítrico

Las emisiones de N₂O se estiman siguiendo un método de Nivel 1 de acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006*. El N₂O se emite en los procesos de combustión a temperaturas de combustión relativamente bajas, entre 500 y 950 °C. Otros factores importantes que influyen en las emisiones son el tipo de dispositivos de control de los contaminantes del aire, el tipo y el contenido de nitrógeno de los residuos y la fracción de aire en exceso. La estimación considera lo siguiente:

Ecuación 7-7. 5.C.1. Incineración de residuos: estimaciones de emisiones de N₂O.

$$Emisión_{CH_4} = \sum_i (IW_i \cdot EF_i) \cdot 10^{-6}$$

Fuente: Ecuación 5.5; Capítulo 5; Volumen 5; *Directrices IPCC de 2006*.

Donde:

- Emisión_{N₂O}: emisiones de N₂O durante el año del inventario, kt/año
- IW_i: cantidad total de residuos sólidos del tipo i (peso húmedo) incinerados, kt/año.
- EF_i: factor de emisión de N₂O por tipo de residuo, kg N₂O/kt de residuos.
- i: tipo de residuos incinerado.

7.4.4.3.1 Datos de actividad estadísticos y paramétricos

Los datos de actividad para *Incineración de residuos* se recolectaron desde el sector privado en hospitales y cementerios, para las cremaciones de cadáveres y restos humanos. Para los años con vacíos de datos, por falta de registros, pérdida de información, por parte de las entidades a cargo u otras razones, se estimaron en base a regresión lineal (Tabla 7-19). Cabe destacar que a través de SINADER se reporta la incineración de residuos sin recuperación energética (alrededor de 1.000 toneladas anuales) sin embargo estas no se incluyeron ya que una parte ya está contabilizada en los residuos hospitalarios por lo que en el inventario anterior se doble contabilizó, y otra parte se incinera en empresas cementeras por lo que sí tendría fines energéticos. Se agrega en el plan de mejora revisar con el sector Energía si se están contabilizando estas emisiones.

Tabla 7-19. 5.C. Incineración de residuos: datos de actividad (t), serie 1990-2020.

Año	Residuos hospitalarios	Residuos Crematorios
1990	-	75,5
1991	-	78,9
1992	-	82,6
1993	-	84,4
1994	-	83,5
1995	-	79,9
1996	83,5	87,4
1997	94,1	83,7
1998	106,0	81,3
1999	119,5	80,5
2000	134,7	73,5
2001	151,8	74,6
2002	171,1	82,2
2003	192,9	81,5
2004	217,4	89,4
2005	245,0	98,2

Año	Residuos hospitalarios	Residuos Crematorios
2006	276,2	104,4
2007	311,3	126,4
2008	350,9	133,0
2009	395,5	135,4
2010	445,8	148,7
2011	502,4	165,2
2012	559,1	195,8
2013	564,0	229,3
2014	672,7	228,3
2015	791,7	266,5
2016	3,7	396,6
2017	228,3	420,6
2018	436,4	452,9
2019	753,8	470,1
2020	670,7	547,8

Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

Es importante mencionar que no se pudo recopilar la información de todos los crematorios por lo que a través de una regresión lineal por empresa se completaron los datos y los incineradores de residuos hospitalarios catastrados se estima que suman alrededor del 80% de acuerdo con las licitaciones de Chilecompra⁷³.

7.4.4.3.2 Factores de emisión

Los datos paramétricos de los residuos hospitalarios necesarios para la estimación de emisiones de CO₂ son por defecto de acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006* y se muestran en la Tabla 7-20.

Tabla 7-20. 5.C. Incineración de residuos: datos paramétricos.

Dato paramétrico	Tipo de residuo	Unidad	Valor
Materia seca (dm) (*)	Hospitalario	Fracción	0,65
Fracción de carbono en la materia seca (CF) (**)	Hospitalario	Fracción	0,60
Fracción de carbono fósil en el carbono total (FCF) (**)	Hospitalario	Fracción	0,40
Factor de oxidación (OF) (**)	Hospitalario	Fracción	1,00

Fuente: (*) Cuadro 2.6., Capítulo 2, Volumen 5, Directrices del IPCC de 2006 (**) Cuadro 5.2., Capítulo 5, Volumen 5, Directrices del IPCC de 2006

Los factores de emisión para el CH₄ y N₂O usados para la estimación de las emisiones de GEI de la subcategoría fueron factores por defecto de las *Directrices del IPCC de 2006*. La Tabla 7-21 presenta los factores de emisión usados para todos los tipos de residuos, considerando una tecnología de incineración por lotes.

Tabla 7-21. 5.C. Incineración de residuos: factores de emisión

Tecnología	GEI	Valor (kg GEI/Gg residuos)
Incendio por lotes, lecho fluidizado (*)	CH ₄	237
Incendio por lotes (**)	N ₂ O	60

Fuente: (*) Cuadro 5.3; Capítulo 5; Volumen 5, Directrices del IPCC de 2006 (**) Cuadro 5.6; Capítulo 5; Volumen 5, Directrices del IPCC de 2006

⁷³ <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/133555>

7.4.4.4 Incertidumbre

La incertidumbre combinada de esta subcategoría es de -126 % y +205 %. En general no se cuenta con información nacional de la incertidumbre de los datos de actividad y los factores de emisión, por lo que se consideraron las recomendadas en las *Directrices del IPCC del 2006* (Cuadro 3.5; Capítulo 3; Volumen 5, para los datos de actividad; Cuadro 2.6; Capítulo 2; Volumen 5, para la materia seca y Cuadro 5.2; Capítulo 5, Volumen 5, para el resto de los parámetros referidos a las emisiones de CO₂; Sección 5.7.1.; Capítulo 5; Volumen 5, para los factores de emisión de CH₄ y N₂O). Un resumen de los resultados de la incertidumbre combinada se presenta en la Tabla 7-22.

Tabla 7-22. 5.C. Incineración de residuos: resumen de la incertidumbre combinada, 2020

Código IPCC	Categoría del IPCC	Gas	Incertidumbre en los datos de actividad		Incertidumbre en el factor de emisión		Incertidumbre combinada	
			(-)%	(+)%	(-)%	(+)%	(-)%	(+)%
5.C.1.	Incineración de residuos	CH ₄	100,0%	200,0%	100,0%	100,0%	141,4%	223,6%
5.C.1.	Incineración de residuos	CO ₂	100,0%	200,0%	91,7%	91,7%	135,6%	220,0%
5.C.1.	Incineración de residuos	N ₂ O	100,0%	200,0%	100,0%	100,0%	141,4%	223,6%

Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

Una explicación general de la estimación de la incertidumbre se encuentra en la sección 1.7. *Evaluación general de la incertidumbre* y el cuadro de cálculo, junto a los supuestos aplicados, en ANEXO 11.04.

7.4.4.5 Consistencia de la serie temporal

Para mantener la consistencia de la serie 1990-2020 se usaron los mismos factores de emisión y la misma fuente de datos de actividad, tanto estadísticos como paramétricos. Para la información entregada por crematorios, se realizó una regresión lineal o cuadrática por empresa, dependiendo del mejor ajuste, para las empresas que no reportaron a partir de los datos históricos de las mismas.

7.4.4.6 Procedimiento de garantía y control de la calidad y verificación

7.4.4.6.1 Verificación

Por el momento no se tienen datos de otras fuentes con los cuales se pueda comparar los resultados.

7.4.4.7 Nuevos cálculos

No se efectuaron nuevos cálculos significativos, para la categoría *Incineración de residuos* (5.C.1) la que varió en un -1,2 % para 2018 por la no inclusión de quema de residuos industriales reportados por SINADER ya que una parte ya se estaba contabilizando en los residuos hospitalarios, y otra parte se incinera en empresas cementeras por lo que sí tendría fines energéticos. Se agrega en el plan de mejora revisar con el sector *Energía* si se están contabilizando las emisiones de incineración con fines energéticos.

7.4.4.8 Plan de mejoramiento

Revisar con el sector energía emisiones por incineración de residuos con fines energéticos y co-incineración de SINADER.

7.4.5 Incineración abierta de residuos (5.C.2.)

7.4.5.1 Descripción de la subcategoría

Esta categoría considera las emisiones de CO₂, CH₄ y N₂O generadas en la incineración abierta de residuos. La incineración abierta de residuos puede definirse como la combustión de materiales combustibles no deseados, tales como papel, madera, plástico, textiles, caucho, desechos de aceites y otros residuos al aire libre o en vertederos abiertos, donde el humo y otras emisiones se liberan directamente al aire, sin pasar por una chimenea o columna. Esta ocurre con mayor frecuencia en zonas rurales. Las emisiones procedentes de la quema de residuos agrícolas se consideran en el Sector Agricultura.

7.4.5.2 Tendencia de las emisiones de GEI

La subcategoría *Incineración de residuos* representa un 99,5 % de las emisiones de GEI de la categoría *Incineración e incineración abierta de residuos*. En el 2020, las emisiones de GEI de esta subcategoría contabilizaron 85 kt CO₂ eq, incrementándose en un 59 % desde 1990 y disminuyendo en un 18 % desde 2018 (Tabla 7-18 y Figura 7-15). El principal causante de la tendencia y las variaciones interanuales es el aumento de generación de residuos per cápita en zonas rurales y variaciones en la población rural.

7.4.5.3 Aspectos metodológicos de la subcategoría

Para la estimación de las emisiones de CO₂, CH₄ y de N₂O de la subcategoría se utilizó una metodología de Nivel 1 de acuerdo con las *Directrices del IPCC* de 2006 con factores de emisión por defecto.

La cantidad total de residuos sólidos quemados por incineración abierta se estimó en base a la siguiente ecuación:

Ecuación 7-8. 5.C.2. Incineración abierta de residuos: cantidad total de residuos sólidos quemados por incineración abierta

$$RSM_B = P * P_{frac} * DSM_p * B_{frac}$$

Fuente: En base a Ecuación 5.1; Capítulo 5; Volumen 5; *Directrices IPCC de 2006*.

Donde:

- **RSM_B**: cantidad total de desechos sólidos municipales quemados por incineración abierta, kt/año
- **P**: Población
- **P_{frac}**: fracción de la población que quema residuos, fracción.
- **DSM_p**: generación de desechos per cápita, kt/cápita/año
- **B_{frac}**: fracción de la cantidad de desechos que se quema respecto de la cantidad total de desechos tratados, (fracción). Se considera igual a 1 por defecto.

Dióxido de carbono

Para la estimación de las emisiones de CO₂ procedentes de la incineración abierta de residuos se utiliza el método de Nivel 1. La estimación considera lo siguiente:

Ecuación 7-9. 5.C.2. Incineración abierta de residuos: estimación de emisiones de CO₂ basada en la composición de los DSM (Nivel 1)

$$Emisión_{CO_2} = DSM * \sum_i (WF_i \cdot dm_i \cdot CF_i \cdot FCF_i \cdot OF_i) \cdot 44/12$$

Fuente: Ecuación 5.2; Capítulo 5; Volumen 5; *Directrices IPCC de 2006*.

Donde:

- Emisión_{CO2}: emisiones de CO₂ durante el año del inventario, kt/año
- DSM: cantidad total de desechos sólidos municipales en peso húmedo incinerados o quemados por incineración abierta, kt/año
- WF_i: fracción de tipo/material de residuo del componente i en los DSM (en peso húmedo incinerados o quemados por incineración abierta), kt/año.
- dm_i: contenido de materia seca en los residuos (peso húmedo) incinerados o quemados por incineración abierta, 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: componente de los DSM incinerado/sometido a incineración abierta.

Metano

Las emisiones de CH₄ se estiman siguiendo un método de Nivel 1 de acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006*. Las emisiones provenientes de la incineración son el resultado de una combustión incompleta. Los factores importantes que afectan las emisiones son la temperatura, el tiempo de residencia y proporción de aire respecto a la cantidad de residuos. La estimación considera lo siguiente:

Ecuación 7-10. 5.C.2. Incineración de residuos: estimación de emisiones de CH₄ basada en la cantidad total de residuos quemados (Nivel 1)

$$Emisión_{CH_4} = \sum_i (IW_i \cdot EF_i) \cdot 10^{-6}$$

Fuente: Ecuación 5.4; Capítulo 5; Volumen 5; *Directrices IPCC de 2006*.

Donde:

- Emisión_{CH4}: emisiones de CH₄ durante el año del inventario, kt/año
- IW_i: cantidad total de residuos sólidos del tipo i (peso húmedo) incinerados o quemados por incineración abierta, kt/año.
- EF_i: factor de emisión de CH₄ por tipo de residuo, kg CH₄/Gg de residuos.
- i: tipo de residuos incinerado o quemado al aire libre.

Óxido nítrico

Las emisiones de N₂O se estiman siguiendo un método de Nivel 1 de acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006*. La estimación considera lo siguiente:

Ecuación 7-11. 5.C.2. Incineración abierta de residuos: estimaciones de emisiones de N₂O.

$$Emisión_{CH_4} = \sum_i (IW_i \cdot EF_i) \cdot 10^{-6}$$

Fuente: Ecuación 5.5; Capítulo 5; Volumen 5; *Directrices IPCC de 2006*.

Donde:

- Emisión_{N₂O}: emisiones de N₂O durante el año del inventario, kt/año
- IW_i: cantidad total de residuos sólidos del tipo i (peso húmedo) incinerados o quemados por incineración abierta, kt/año.
- EF_i: factor de emisión de N₂O por tipo de residuo, kg N₂O/kt de residuos.
- i: tipo de residuos incinerado o quemado al aire libre.

7.4.5.3.1 Datos de actividad estadísticos y paramétricos

Los datos de actividad incluyen: la población nacional y rural, que se obtiene de publicaciones del INE en base al censo 2017 (Tabla 7-23), con la finalidad de identificar la porción de población que quema sus residuos; y la cantidad de generación per cápita de residuos. La generación de residuos per cápita anual se calcula dividiendo la disposición total de residuos, presentada en la categoría *Disposición de residuos sólidos (5.A)*, por la cantidad total de habitantes con servicio de recolección en cada sector. Para la determinación de la fracción de población que quema sus residuos, se considera que corresponde a aquella población rural que no cuenta con cobertura de aseo, dato que se obtiene del Catastro de SUBDERE del 2017. Dicho informe, presenta la información de un año solamente, por lo que, para el presente cálculo, se definió que dicho valor se considerara constante para todos los años de la serie de tiempo (Tabla 7-24).

Tabla 7-23. 5.C.2 Incineración abierta de residuos: datos de actividad (personas), serie 1990-2020.

Año	Población Rural	Nacional
1990	2.219.555	13.178.782
1991	2.213.776	13.422.010
1992	2.207.996	13.665.241
1993	2.202.216	13.908.473
1994	2.196.437	14.151.708
1995	2.190.657	14.394.940
1996	2.184.878	14.595.504
1997	2.179.098	14.796.076
1998	2.173.318	14.996.647
1999	2.167.539	15.197.213
2000	2.161.759	15.397.784
2001	2.155.980	15.571.679
2002	2.150.200	15.691.701
2003	2.142.439	15.856.977
2004	2.135.823	16.022.133
2005	2.130.300	16.183.489
2006	2.126.562	16.347.890

Año	Población Rural	Nacional
2007	2.125.197	16.517.933
2008	2.126.945	16.697.754
2009	2.131.585	16.881.078
2010	2.138.137	17.063.927
2011	2.146.736	17.254.159
2012	2.155.630	17.443.491
2013	2.162.542	17.611.902
2014	2.169.346	17.787.617
2015	2.176.346	17.971.423
2016	2.183.598	18.167.147
2017	2.193.732	18.419.192
2018	2.207.982	18.751.405
2019	2.223.520	19.107.216
2020	2.239.061	19.458.310

Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

Tabla 7-24. 5.C.2 Incineración abierta de residuos: parámetro, porcentaje de cobertura rural de servicio de aseo (porcentaje).

Región	Cobertura rural aseo
Región de Arica y Parinacota.	97%
Región de Tarapacá.	87%
Región de Antofagasta.	81%
Región de Atacama.	91%
Región de Coquimbo.	78%
Región de Valparaíso.	87%
Región Metropolitana de Santiago.	99%
Región del Libertador General Bernardo O'Higgins.	92%
Región del Maule.	73%
Región del Ñuble.	68%
Región del Biobío.	68%
Región de La Araucanía.	35%
Región de Los Ríos.	79%
Región de Los Lagos.	59%
Región de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo.	64%
Región de Magallanes y la Antártica Chilena.	68%
Nacional	73%

Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA en base a Catastro Subdere 2017

7.4.5.3.2 Factores de emisión

Los datos paramétricos de los residuos domiciliarios municipales necesarios para la estimación de emisiones de CO₂ son por defecto de acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006* excepto por la fracción de composición en que utilizan datos país específico de acuerdo con lo explicado en la categoría 5.A. y se muestran en la Tabla 7-25.

Tabla 7-25. 5.C.2 Incineración abierta de residuos: datos paramétricos.

Dato paramétrico	Tipo de residuo	Valor	Unidad
Fracción de RSM	Papel Cartón	0,114	fracción
Contenido de materia seca en % del peso húmedo	Papel Cartón	0,900	fracción
Fracción de carbono en la materia seca	Papel Cartón	0,460	fracción
Fracción de carbono fósil en el carbono total	Papel Cartón	0,010	fracción
Fracción de RSM	Plástico	0,111	fracción
Contenido de materia seca en % del peso húmedo	Plástico	1,000	fracción
Fracción de carbono en la materia seca	Plástico	0,750	fracción
Fracción de carbono fósil en el carbono total	Plástico	1,000	fracción
Fracción de RSM	Productos sanitarios	0,048	fracción
Contenido de materia seca en % del peso húmedo	Productos sanitarios	0,400	fracción
Fracción de carbono en la materia seca	Productos sanitarios	0,700	fracción
Fracción de carbono fósil en el carbono total	Productos sanitarios	0,100	fracción
Fracción de RSM	Textiles	0,019	fracción
Contenido de materia seca en % del peso húmedo	Textiles	0,800	fracción
Fracción de carbono en la materia seca	Textiles	0,500	fracción
Fracción de carbono fósil en el carbono total	Textiles	0,200	fracción
Fracción de RSM	Otros no orgánicos, suciedad y cenizas	0,068	Fracción
Contenido de materia seca en % del peso húmedo	Otros no orgánicos, suciedad y cenizas	1,000	Fracción
Fracción de carbono en la materia seca	Otros no orgánicos, suciedad y cenizas	0,300	Fracción
Fracción de carbono fósil en el carbono total	Otros no orgánicos, suciedad y cenizas	1,000	Fracción
Factor de oxidación (*)	OF	0,580	Fracción

Fuente: en base a Cuadro 2.4., Capítulo 2, Volumen 5, Directrices del IPCC de 2006 y (*) Cuadro 5.2., Capítulo 5, Volumen 5, Directrices del IPCC de 2006.

Los factores de emisión para el CH₄ y N₂O usados para la estimación de las emisiones de GEI de la subcategoría fueron factores por defecto de las *Directrices IPCC de 2006*. La Tabla 7-26 presenta los factores de emisión usados para todos los tipos de residuos.

Tabla 7-26. 5.C. Incineración abierta de residuos: factores de emisión

Residuos	GEI	Valor	Unidades	Fuente
RSM	CH ₄	6500	gr/ton de peso húmedo	Texto debajo de cuadro 5.3; Capítulo 5; Volumen 5, Directrices IPCC de 2006
RSM	N ₂ O	0,15	gr/kg de materia seca	Texto antes del cuadro 5.6; Capítulo 5; Volumen 5, Directrices IPCC de 2006

7.4.5.4 Incertidumbre

La incertidumbre combinada de esta subcategoría es de -77 % y +62 %. En general no se cuenta con información nacional de la incertidumbre de los datos de actividad y los factores de emisión, por lo que consideraron las recomendadas en las *Directrices del IPCC del 2006* (Cuadro 3.5; Capítulo 3; Volumen 5, para los datos de actividad; Cuadro 2.6; Capítulo 2; Volumen 5, para la materia seca y Cuadro 5.2; Capítulo 5, Volumen 5, para el resto de los parámetros referidos a las emisiones de CO₂; Sección 5.7.1.; Capítulo 5; Volumen 5, para los factores de emisión de CH₄ y N₂O). Un resumen de los resultados de la incertidumbre combinada se presenta en la Tabla 7-27.

Tabla 7-27. 5.C.2 Incineración abierta de residuos: resumen de la incertidumbre combinada, 2018

Código IPCC	Categoría del IPCC	Gas	Incertidumbre en los datos de actividad		Incertidumbre en el factor de emisión		Incertidumbre combinada	
			(-)%	(+)%	(-)%	(+)%	(-)%	(+)%
5.C.2.	Incineración abierta de residuos	CO ₂	70,0%	10,0%	91,7%	91,7%	115,3%	92,2%
5.C.2.	Incineración abierta de residuos	CH ₄	70,0%	10,0%	100,0%	100,0%	122,1%	100,5%
5.C.2.	Incineración abierta de residuos	N ₂ O	70,0%	10,0%	100,0%	100,0%	122,1%	100,5%

Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

Una explicación general de la estimación de la incertidumbre se encuentra en la sección 1.7. *Evaluación general de la incertidumbre* y el cuadro de cálculo, junto a los supuestos aplicados, en ANEXO 11.04.

7.4.5.5 Consistencia de la serie temporal

Para mantener la consistencia de la serie 1990-2018 se usaron los mismos factores de emisión y la misma fuente de datos de actividad, tanto estadísticos como paramétricos.

7.4.5.6 Procedimiento de garantía y control de la calidad y verificación

7.4.5.6.1 Verificación

Por el momento no se tienen datos de otras fuentes con los cuales se pueda comparar los resultados.

7.4.6 Nuevos cálculos

7.4.6.1 Justificación de los nuevos cálculos y mejoras

En esta actualización se corrigió la estimación de generación de residuos per cápita ya que se dividió el total de residuos depositados por la población que cuenta con servicio de recolección de residuos, mientras que en el inventario anterior se dividió por la población total, lo que hizo aumentar la tasa de generación de residuos.

7.4.6.2 Implicaciones para los niveles de emisión

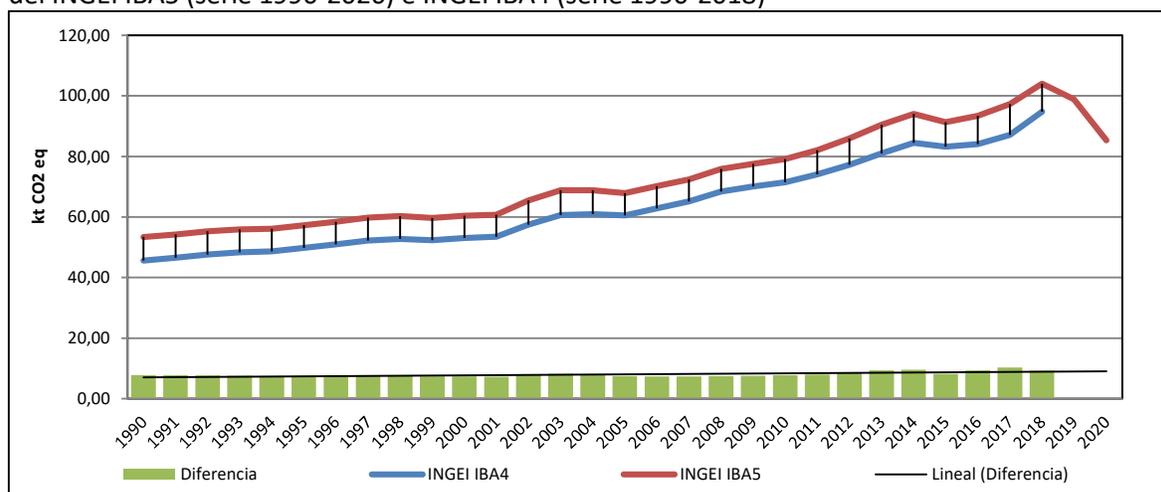
La tasa de generación de residuos per cápita subió en promedio en 0,02 t/año pasando por ejemplo en 2018 de 0,43 t/año a 0,45 t/año. En la Tabla 7-28 y Figura 7-17 se observa como variaron las emisiones de GEI de la subcategoría con respecto al inventario anterior (INGEI IBA4) por este cambio.

Tabla 7-28. 5.C.2 Incineración abierta de residuos: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI IBA5 (serie 1990-2020) e INGEI IBA4 (serie 1990-2018)

INGEI	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020
INGEI IBA4	45,6	53,1	71,4	81,0	84,1	94,8	
INGEI IBA5	53,4	60,4	79,1	90,4	93,5	104,0	85,3
Diferencia	7,8	7,3	7,7	9,4	9,4	9,2	
Diferencia %	17,0%	13,8%	10,8%	11,6%	11,1%	9,7%	

Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

Figura 7-16. 5.C. Incineración abierta de residuos: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI IBA5 (serie 1990-2020) e INGEI IBA4 (serie 1990-2018)



Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

7.4.7 Plan de mejoramiento

No se contemplan mejoras específicas para la presente subcategoría en la actualidad.

7.5 Tratamiento y descarga de aguas residuales (5.D.)

7.5.1 Descripción de la categoría

Las aguas residuales pueden ser una fuente de CH₄ cuando se las trata o elimina en medio anaeróbico. También pueden ser una fuente de emisiones de N₂O. Las emisiones de CO₂ procedentes de las aguas residuales no se consideran en las *Directrices del IPCC de 2006* porque son de origen biogénico y no deben incluirse en el total nacional de emisiones. Las aguas residuales se originan en una variedad de fuentes domésticas, comerciales e industriales y pueden tratarse in situ (no recolectadas), transferirse por alcantarillado a una instalación central (recolectadas), o eliminarse sin tratamiento en las cercanías o por medio de desagües.

La categoría incluye las subcategorías siguientes:

- 5.D.1. Tratamiento y descarga de aguas residuales domésticas.
- 5.D.2. Tratamiento y descarga de aguas residuales industriales.

En el contexto nacional, esta categoría incluye las emisiones producidas por los diferentes tratamientos aplicados a las aguas servidas de todo el país y también las emisiones debido a los diferentes tipos de tratamientos aplicados a los residuos líquidos industriales (RILES).

7.5.2 Tendencia de las emisiones de GEI

La categoría *Tratamiento y descarga de aguas residuales* es la segunda categoría emisora de GEI del sector *Residuos* (20%). En 2020, sus emisiones de GEI contabilizaron 1.667 kt CO₂ eq,

incrementándose en un 117 % desde 1990 y disminuyendo en un 15 % desde 2018 (Tabla 7-29 y Figura 7-17). Se observa que desde 2001 hay un incremento en la tendencia, que se debe a la entrada de lodos activados y digestores anaeróbicos como tratamiento a las aguas servidas, lo que se suma al aumento de las aguas servidas industriales tratadas. La variabilidad en las emisiones del tratamiento de aguas servidas tiene relación con la captura de metano que en general ha ido en aumento al igual que los lodos removidos y también con la alta variabilidad en los datos de aguas residuales industriales. Mayor detalle se encuentra en la sección de cada subcategoría.

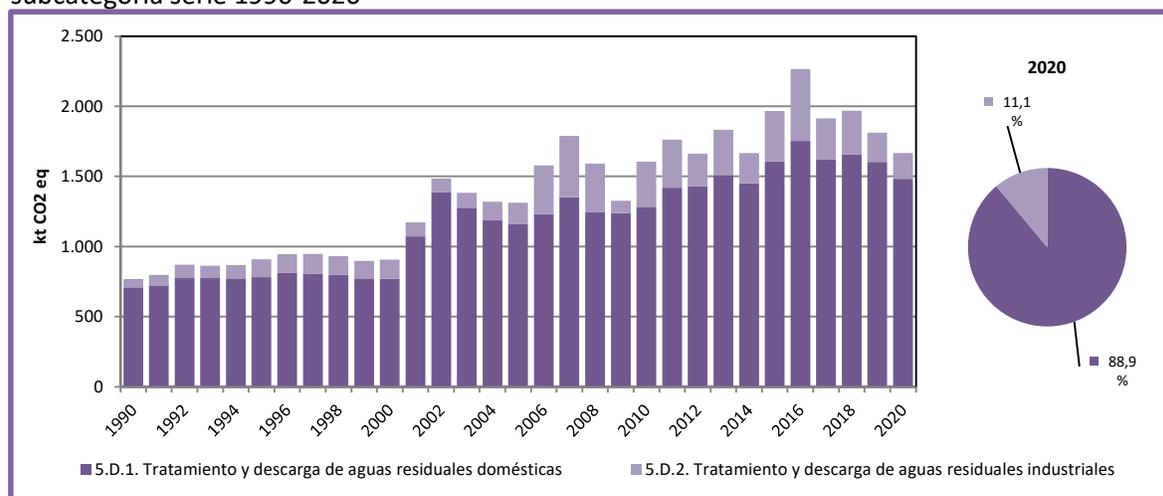
Respecto a las subcategorías (Figura 7-17), el *Tratamiento y descarga de aguas residuales domésticas* es la principal, con un 89 % de participación, mientras que el *Tratamiento y descarga de aguas residuales industriales* alcanza un 11 %.

Tabla 7-29. 5.D. Tratamiento y descarga de aguas residuales: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por subcategoría, serie 1990-2020

Subcategoría	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020
5.D.1. Tratamiento y descarga de aguas residuales domésticas	708,8	770,6	1.282,9	1.510,7	1.752,7	1.656,1	1.482,2
5.D.2. Tratamiento y descarga de aguas residuales industriales	58,5	134,9	321,9	322,4	512,5	313,3	184,4
Total	767,3	905,5	1.604,9	1.833,1	2.265,2	1.969,4	1.666,6

Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

Figura 7-17. 5.D. Tratamiento y descarga de aguas residuales: emisiones de GEI (kt CO₂ eq) por subcategoría serie 1990-2020



Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

7.5.3 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 un BO y MCFs país específico. Cabe destacar que en el IBA 4 se reportó esta categoría como un Nivel 2 para el CH₄, ya que se usan parámetros (DBO) país específico, y en ese momento se consideró que esto correspondía a un Nivel 2, cuando en realidad corresponde a un Nivel 1⁷⁴ de acuerdo con el árbol de decisión de las *Directrices del IPCC de 2006*. 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. En la Tabla 7-30 se observa un resumen de los métodos aplicados por subcategoría y por tipo de GEI.

Tabla 7-30. 5.D. Tratamiento y descarga de aguas residuales: métodos aplicados por subcategoría

Código IPCC	Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero	CH ₄		N ₂ O	
		Nivel metodológico	Factor de emisión	Nivel metodológico	Factor de emisión
4.D.1.	Tratamiento y descarga de aguas residuales domésticas	T1	D, CS	T1	D
4.D.2.	Tratamiento y descarga de aguas residuales industriales	T2	D, CS		

Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

Los cálculos de las emisiones para las subcategorías se elaboraron en hojas de cálculo Excel.

7.5.4 Tratamiento y descarga de aguas residuales domésticas (5.D.1.)

7.5.4.1 Descripción de la subcategoría

Se entiende por aguas residuales domésticas (o aguas servidas) a los residuos de aguas utilizadas en los hogares. Estas pueden tratarse en el lugar en que se originan, transferirse por alcantarillado a una instalación central (recolectadas), o eliminarse sin tratamiento en las cercanías o por medio de desagües. El transporte puede ser por medio de alcantarillas abiertas o cerradas, y los tipos de tratamiento incluyen plantas de tratamiento de aguas servidas (PTAS), letrinas de hoyo, sistemas sépticos, o ser eliminadas en lagunas no gestionadas o en vías fluviales. En algunas ciudades costeras, las aguas servidas domésticas se transfieren directamente al océano (Emisario submarino).

Las aguas residuales pueden ser una fuente de metano (CH₄) cuando se las trata o elimina en medio anaeróbico. También pueden ser una fuente de emisiones de óxido nitroso (N₂O). Las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) procedentes de las aguas residuales no se consideran en las *Directrices del IPCC de 2006* porque son de origen biogénico y no deben incluirse en el total nacional de emisiones.

En el contexto nacional, esta categoría incluye las emisiones producidas por los diferentes tratamientos, incluyendo tanto las plantas de tratamiento de aguas servidas (PTAS), así como otras formas de eliminación. La proporción de utilización de cada uno de estos ha cambiado considerablemente a lo largo de la serie 1990-2020, destacándose la aparición de plantas de tratamiento anaeróbico que permite la recuperación del metano generado.

La entidad encargada de la fiscalización y establecimiento de normas para empresas sanitarias encargadas del tratamiento de las aguas servidas domésticas corresponde a la Superintendencia de

⁷⁴ Decision Tree for CH₄ emissions from domestic wastewater; Figure 6.2; Chapter 6; Volume 5; 2006 IPCC Guidelines.

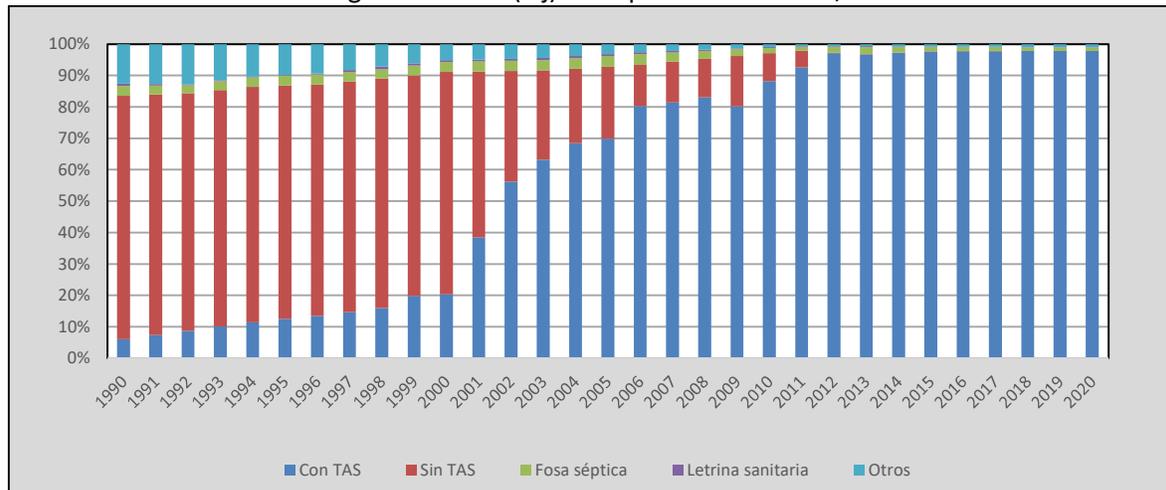
Servicios Sanitarios (SISS)⁷⁵, que además maneja los datos de cobertura total de recolección y del tratamiento de aguas residuales domésticas a nivel nacional.

Adicionalmente, en el contexto nacional el lodo removido desde el tratamiento de aguas residuales tiene múltiples destinos: rellenos sanitarios, vertederos autorizados o monorellenos y como fertilizante para la agricultura. Las emisiones de metano para estos tipos de disposición final son consideradas dentro de la categoría *Sitios de disposición de residuos sólidos (5.A.)* o en la categoría *3.D Suelos Agrícolas* para los casos correspondientes.

7.5.4.2 Tendencia de las emisiones de GEI

La subcategoría *Tratamiento y descarga de aguas residuales domésticas* es la principal subcategoría emisora de GEI de la categoría *Tratamiento y descarga de aguas residuales*, representando el 89 % de sus emisiones de GEI. En el 2020, las emisiones de GEI de esta subcategoría contabilizaron 1.482 kt CO₂ eq, incrementándose en un 109 % desde 1990 y disminuyendo en un 10 % desde 2018 (Tabla 7-29 y Figura 7-18). El principal causante de la tendencia y las variaciones interanuales es el aumento constante de población, la mayor cobertura de los tratamientos de aguas servidas domésticas. En la Figura 7-18 se observa el incremento del uso de PTAS a partir de 2001 en la población urbana, lo que coincide con el aumento en las emisiones. Adicionalmente también tienen un efecto importante la recuperación de metano lo que puede apreciarse en la Figura 7-19.

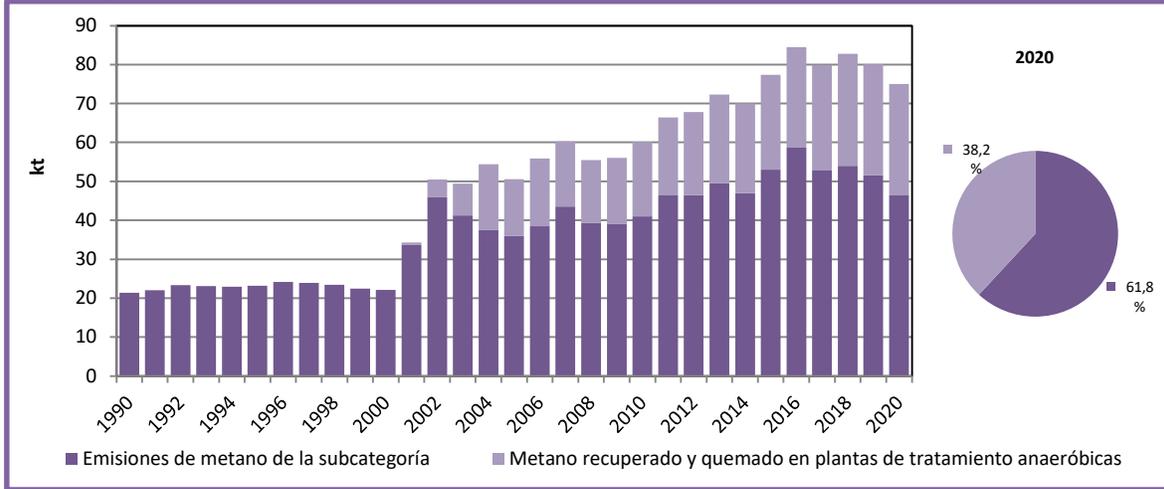
Figura 7-18. 5.D.1 Tratamiento y descarga de aguas residuales domésticas grado de utilización de sistemas de eliminación de aguas servidas (Tij) de la población urbana, serie 1990-2020.



Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

⁷⁵ <https://www.siss.gob.cl/586/w3-channel.html>

Figura 7-19. 5.D.1 Tratamiento y descarga de aguas residuales domésticas: emisiones de CH₄ (kt) y CH₄ recuperado serie 1990-2020.



Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

7.5.4.3 Aspectos metodológicos de la subcategoría

Para la estimación de las emisiones de CH₄ de la subcategoría *Tratamiento y descarga de aguas residuales domésticas* se utilizó una metodología de Nivel 1 de acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006* con un DBO per cápita específico del país y la proporción de utilización de los distintos tipos de tratamiento o vías de eliminación basada en datos nacionales 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 las *Directrices del IPCC de 2006*.

Metano

Las emisiones dependen de la cantidad de materia orgánica degradable contenida en las aguas residuales y de un factor de emisión que caracteriza la proporción en la que estos residuos generan CH₄ que depende del tipo de sistema de tratamiento. De acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006*, los pasos para la estimación de emisiones de CH₄ son:

- 1) Estimar el contenido total de carbono orgánico degradable en las aguas servidas: el contenido total depende de la población total atendida y la generación de DBO por persona, de acuerdo con la ecuación siguiente:

Ecuación 7-12. 5.D.1. Tratamiento y descarga de aguas residuales domésticas: total de materia orgánica degradable en las aguas residuales domésticas

$$TOW = P \cdot DBO \cdot 0,001 \cdot I \cdot 365$$

Fuente: Ecuación 6.3; Capítulo 6; Volumen 5; *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.
 - I: factor de corrección para DBO industrial eliminado en las cloacas.
- 2) Determinar las vías y los sistemas de tratamiento según los datos del país, para estimar el factor de emisión en función de la capacidad máxima de producción de CH₄ (B₀) y el factor corrector para el CH₄ (MCF), dependiente de cada vía o sistema. De acuerdo con lo anterior, el factor de emisión para cada sistema se calcula a partir de la ecuación siguiente:

Ecuación 7-13. 5.D.1. Tratamiento y descarga de aguas residuales domésticas: 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 CH₄/kg de DBO.
 - B₀: capacidad máxima de producción de CH₄, kg de CH₄/kg de DBO.
 - MCF_j: el factor corrector para el CH₄ para la vía o sistema de tratamiento *j*.
- 3) Estimar las emisiones sumando los resultados para cada sistema y cada tipo de población (urbana y rural) y ajustando de acuerdo con el lodo removido y el metano recuperado. La ecuación utilizada varía levemente con respecto a la expuesta en las *Directrices IPCC de 2006*, ya que se considera el lodo removido por tipo de tratamiento, lo que implica cambios en el resultado pero que representan mejor la realidad nacional. La estimación considera lo siguiente:

Ecuación 7-14. 5.D.1. Tratamiento y descarga de aguas residuales domésticas: emisiones totales de CH₄ procedentes de las aguas residuales domésticas (Nivel 1)

$$Emisiones\ de\ CH_4 = \left[\sum_{i,j} ((TOW \cdot U_i \cdot T_{i,j} - S_j) \cdot EF_j) \right] - R$$

Fuente: en base a Ecuación 6.1; Capítulo 6; Volumen 5; *Directrices IPCC de 2006*.

Donde:

- Emisiones de CH₄: emisiones de CH₄ durante el año de inventario, kg de CH₄/año.
- TOW: total de materia orgánica en las aguas residuales del año del inventario, kg de DBO/año.
- S_j: componente orgánico separado como lodo durante todo el año de inventario en los sistemas de tratamiento *j*, kg de DBO/año.
- U_i: fracción de la población del tipo *i* en el año de inventario.
- T_{i,j}: grado de utilización de vía o sistema de tratamiento *j*, para cada fracción de grupo de ingreso *i*, en el año del inventario.
- EF_j: factor de emisión para la vía o sistema de tratamiento *j*, kg de CH₄/kg de DBO.

Óxido nítrico

En el caso nacional, no se lleva a cabo el proceso de nitrificación y desnitrificación en plantas de tratamiento de aguas servidas, por lo que las emisiones de N₂O se generan después de la eliminación de los efluentes en vías fluviales, lagos o en el mar. La estimación considera lo siguiente:

Ecuación 7-15. 5.D.1. Tratamiento y descarga de aguas residuales domésticas: emisiones de N₂O provenientes de las aguas residuales domésticas (Nivel 1)

$$E_{\text{emisiones de N}_2\text{O}} = N_{\text{Efluente}} \cdot EF_{\text{Efluente}} \cdot 44/28$$

Fuente: Ecuación 6.7; Capítulo 6; Volumen 5; *Directrices IPCC de 2006*.

Donde:

- Emisiones de N₂O: emisiones de N₂O durante el año del inventario, kg de N₂O/año.
- N_{Efluente}: 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.

El N_{Efluente} se estima mediante la siguiente ecuación, utilizando los valores por defecto de los datos paramétricos:

Ecuación 7-16. 5.D.1. Tratamiento y descarga de aguas residuales domésticas: N_{Efluente} provenientes de las aguas residuales domésticas (Nivel 1)

$$N_{\text{Efluente}} = (P \cdot \text{Proteína} \cdot F_{\text{NPR}} \cdot F_{\text{NON-COM}} \cdot F_{\text{IND-COM}}) - N_{\text{LODO}}$$

Fuente: Ecuación 6.8; Capítulo 6; Volumen 5; *Directrices IPCC de 2006*.

Donde:

- N_{EFLUENTE} = cantidad total anual de nitrógeno en los efluentes de aguas residuales (kg de N/año)
- P = población humana
- 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-COM} = 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_{LODO} = nitrógeno separado con el lodo residual, por defecto = 0 (kg de N/año)

7.5.4.3.1 Datos de actividad estadísticos y paramétricos

Población (U_i)

Para la estimación del contenido total de carbono orgánico degradable en las aguas servidas (TOW), es necesario conocer la población total para cada año de la serie temporal. Adicionalmente, es necesario conocer la proporción de población urbana y rural debido a que sus sistemas de eliminación o tratamiento se utilizan en distinta proporción. Según las definiciones utilizadas tanto

por el INE como por el Ministerio de Desarrollo Social y Familia (MDSF)⁷⁶, las áreas urbanas corresponden a un “Conjunto de viviendas concentradas con población mayor a 2.000 habitantes, o entre 1.001 y 2.000 habitantes, donde al menos el 50% de la población económicamente activa se dedica a actividades secundarias o terciarias”⁷⁷. Por otro lado, la zona rural corresponde a lo contrario.

Los datos de población urbana y rural para toda la serie se obtienen en base a informes elaborados por el INE. Entre 2002 y 2020 los valores se tomaron de la publicación “ine_estimaciones-y-proyecciones-2002-2035_base-2017_region_area_tabulados”⁷⁸ (archivo Excel) donde se obtienen las poblaciones rurales y urbanas para cada año y región. Para los años entre 1990 y 2001 la población total se obtuvo de la publicación en la extensión .pdf “CHILE: Estimaciones y Proyecciones de Población por Sexo y Edad. Regiones 1990-2020”⁷⁹. Luego para separar entre urbano y rural se hizo una regresión lineal entre los datos de 1992 y 2002, años para los que se tienen datos más detallados por ser años de censo. Un paso intermedio para poder utilizar los datos de 1992 fue separar las regiones de Tarápaca y Los Lagos para agregar la región de Arica y Parinacota y la región de Los Ríos. Los resultados se pueden ver en la Tabla 7-31.

⁷⁶ <http://www.desarrollosocialyfamilia.gob.cl/>

⁷⁷ http://observatorio.ministeriodesarrollosocial.gob.cl/casen/casen_def_otros.php

⁷⁸ Rescatado en 08 de 2018 de <http://www.ine.cl/estadisticas/demograficas-y-vitales>

⁷⁹ <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>

Tabla 7-31. 5.D.1. Tratamiento y descarga de aguas residuales domésticas: población y proporción urbana alta, urbana baja y rural, serie 1990-2020.

Año	Población total	% Rural	% Urbano
1990	13.178.782	16,9%	83,1%
1991	13.422.010	16,5%	83,5%
1992	13.665.241	16,2%	83,8%
1993	13.908.473	15,8%	84,2%
1994	14.151.708	15,5%	84,5%
1995	14.394.940	15,1%	84,9%
1996	14.595.504	14,8%	85,2%
1997	14.796.076	14,6%	85,4%
1998	14.996.647	14,3%	85,7%
1999	15.197.213	14,0%	86,0%
2000	15.397.784	13,8%	86,2%
2001	15.571.679	13,6%	86,4%
2002	15.691.701	13,7%	86,3%
2003	15.856.977	13,5%	86,5%
2004	16.022.133	13,3%	86,7%
2005	16.183.489	13,2%	86,8%
2006	16.347.890	13,0%	87,0%
2007	16.517.933	12,9%	87,1%
2008	16.697.754	12,7%	87,3%
2009	16.881.078	12,6%	87,4%
2010	17.063.927	12,5%	87,5%
2011	17.254.159	12,4%	87,6%
2012	17.443.491	12,4%	87,6%
2013	17.611.902	12,3%	87,7%
2014	17.787.617	12,2%	87,8%
2015	17.971.423	12,1%	87,9%
2016	18.167.147	12,0%	88,0%
2017	18.419.192	11,9%	88,1%
2018	18.751.405	11,8%	88,2%
2019	19.107.216	11,6%	88,4%
2020	19.458.310	11,5%	88,5%

Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA con base en INE.

Grado de utilización (T_{ij})

El grado de utilización corresponde a la fracción de la población urbana o rural, cuyas aguas servidas reciben un determinado tipo de tratamiento o eliminación.

Según la realidad nacional tanto las zonas rurales como las urbanas cuentan con un porcentaje de su población con alcantarillado y otra sin alcantarillado, cuyos porcentajes se definen en base a las encuestas CASEN. Se denomina urbana alta a las aguas servidas de la población urbana que se recolectan por sistema de alcantarillado y pasan por algún sistema de tratamiento (lodos activos, lagunas aireadas, etc.); mientras que la población urbana baja, es aquella cuyas aguas no son recolectadas o son recolectadas, pero no reciben ningún tipo de tratamiento. Para esto se consideran los datos de cobertura de la SISS que describen el porcentaje de aguas recolectadas que pasa por sistemas de tratamiento. Estos datos se tienen para los años 1989, 1995 y entre 1998 y 2020. Para completar la serie se hace una regresión lineal entre los datos (Tabla 7-34).

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 2020 se extrapoló siguiendo la tendencia entre 2013 y 2015. En estas encuestas se indica la distribución de acuerdo con si se cuenta con alcantarillado (recolectada) o, en caso contrario, el tipo de eliminación. En los casos en que se cuenta con alcantarillado, para la zona rural se hace el supuesto de que no se cuenta con sistemas de tratamiento y para la zona urbana el tipo de tratamiento (PTAS) depende de información otorgada por la SISS.

Se homologó la tipificación de los sistemas de tratamiento o eliminación de la encuesta CASEN al formato de las *Directrices del IPCC de 2006* para poder utilizar los factores de emisión por defecto lo que se detalla en la Tabla 7-32.

Tabla 7-32. 5.D.1. Tratamiento y descarga de aguas residuales domésticas: homologación de tratamiento y sistemas de descarga de aguas servidas

Sistema de descarga	
IPCC	CASEN
Cloaca en movimiento o PTAS ¹	Conectado Alcantarillado ²
Sistema séptico	Fosa séptica
Letrina Clima seco, familia reducida	Letrina sanitaria
Cloaca estancada	Otros (Pozo negro, acequia o canal, baño químico, otros o sin sistema)

¹ Tipos de PTAS se definen de acuerdo a información de la SISS.

² incluye no sabe, no responde, sin información por ser el de mayor porcentaje

Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA, de acuerdo al Cuadro 6.3, Capítulo 6, Volumen 5; *Directrices del IPCC de 2006*.

Los resultados obtenidos para la zona urbana y rural del grado de utilización de cada sistema se muestran en las Tabla 7-33 y Tabla 7-34.

Tabla 7-33. 5.D.1. Tratamiento y descarga de aguas residuales domésticas: grado de utilización de tratamiento y sistemas de descarga de aguas servidas (T_{ij}) de la población rural, serie 1990-2020

Tipo de tratamiento	Cloaca en movimiento	Sistema séptico	Letrina Clima seco, familia reducida	Cloaca estancada
1990	4%	15%	2%	79%
1991	5%	14%	2%	79%
1992	6%	14%	2%	78%
1993	7%	16%	1%	76%
1994	7%	18%	1%	74%
1995	6%	18%	1%	75%
1996	4%	17%	1%	78%
1997	5%	18%	4%	73%
1998	5%	20%	7%	69%
1999	5%	24%	7%	65%
2000	4%	28%	7%	61%
2001	5%	30%	8%	57%
2002	5%	33%	9%	53%
2003	6%	35%	9%	50%
2004	8%	38%	9%	45%
2005	9%	41%	9%	40%
2006	11%	44%	9%	36%
2007	13%	44%	10%	33%

Tipo de tratamiento	Cloaca en movimiento	Sistema séptico	Letrina Clima seco, familia reducida	Cloaca estancada
2008	14%	45%	11%	30%
2009	16%	46%	11%	27%
2010	17%	46%	12%	24%
2011	19%	47%	13%	21%
2012	17%	52%	11%	20%
2013	15%	57%	10%	18%
2014	19%	57%	9%	16%
2015	22%	57%	8%	13%
2016	25%	57%	7%	11%
2017	28%	56%	6%	9%
2018	31%	56%	6%	7%
2019	31%	56%	6%	7%
2020	31%	56%	6%	7%

Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA con base en CASEN

Tabla 7-34. 5.D.1. Tratamiento y descarga de aguas residuales domésticas: grado de utilización de tratamiento y sistemas de descarga de aguas servidas (T_{ij}) de la población urbana, serie 1990-2020

Tipo de tratamiento	PTAS	Cloaca en movimiento	Sistema séptico	Letrina Clima seco, familia reducida	Cloaca estancada
1990	6%	77%	3%	1%	13%
1991	7%	77%	3%	1%	13%
1992	9%	76%	3%	0%	13%
1993	10%	75%	3%	0%	12%
1994	11%	75%	3%	0%	10%
1995	13%	74%	3%	0%	10%
1996	13%	74%	3%	0%	9%
1997	15%	73%	3%	1%	8%
1998	16%	73%	3%	1%	7%
1999	20%	70%	3%	1%	6%
2000	20%	71%	3%	1%	5%
2001	38%	53%	3%	1%	5%
2002	56%	35%	3%	1%	5%
2003	63%	28%	3%	1%	4%
2004	68%	24%	3%	1%	4%
2005	70%	23%	3%	1%	3%
2006	80%	13%	4%	1%	3%
2007	81%	13%	3%	1%	2%
2008	83%	12%	3%	0%	2%
2009	80%	16%	2%	0%	1%
2010	88%	9%	2%	0%	1%
2011	92%	5%	1%	0%	1%
2012	97%	0%	2%	0%	1%
2013	97%	0%	2%	0%	1%
2014	97%	0%	2%	0%	1%
2015	98%	0%	1%	0%	1%
2016	98%	0%	1%	0%	1%
2017	98%	0%	1%	0%	1%
2018	98%	0%	1%	0%	1%
2019	98%	0%	1%	0%	1%

Tipo de tratamiento	PTAS	Cloaca en movimiento	Sistema séptico	Letrina Clima seco, familia reducida	Cloaca estancada
2020	98%	0%	1%	0%	1%

Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

La población urbana con alcantarillado se separó primero según si cuenta con planta de tratamiento de aguas servidas (PTAS) usando datos de cobertura de la SISS. Luego para la fracción con PTAS se debió homologar la tipificación nacional de los tratamientos a los definidos por las *Directrices del IPCC de 2006* para poder usar los factores correctores de metano pertinentes. La homologación se detalla en la Tabla 7-35.

Tabla 7-35. 5.D.1. Tratamiento y descarga de aguas residuales domésticas: homologación de tratamientos de aguas servidas.

Tratamiento de aguas servidas	
IPCC	SISS
Eliminación en río lago y mar	Emisario submarino
	Primario y desinfección
Planta de tratamiento centralizada aeróbico mal operada	Laguna aireada
Planta de tratamiento centralizada aeróbico bien operada	Lodos activados
	Lombrifiltro
	Reactores biológicos secuenciales (SBR)
	Biofiltro
Laguna anaeróbica poco profunda	Zanjas oxidación
	Laguna estabilización
Digestor anaeróbico para lodos	Lodos activados con digestor anaeróbico para los lodos
	Biofiltro con digestor anaeróbico para los lodos
Reactor anaeróbico	Físico química

Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA de acuerdo a Cuadro 6.3, Capítulo 6, Volumen 5; Directrices del IPCC de 2006.

Para la estimación del grado de utilización de cada sistema se consideró información enviada por la SISS para 2005 a 2020 con los volúmenes de agua tratada por tipo de planta. Para completar la serie se consideraron los informes de gestión de la SISS, referente a los caudales captados por cada planta de tratamiento de aguas servidas a lo largo del país disponibles para 2003 y 2004. Para completar el resto de la serie se procedió de la manera siguiente:

- Para 1990–2002 se mantuvo el caudal informado para 2003 por planta. También se tuvo en consideración el año de entrada en funcionamiento de cada planta de acuerdo con lo informado en el Sistema de Evaluación Ambiental (SEA) y la fecha de formulación de las Resoluciones de Calificación Ambiental (RCA).
- Para todos los años se revisaron aquellas plantas que dejaron de funcionar. Dicha información está incluida en las DIA y EIA de las plantas nuevas, puesto que se suelen mencionar las plantas que reemplazan o bien, los posibles cambios de tecnologías de tratamiento.
- Para las plantas de mayor importancia, en términos del caudal tratado, se mejoró la información utilizando como fuente las memorias anuales de cada planta (Trebalmapocho, La Farfana y ESSAL).

Así se estimaron los caudales por tratamiento para cada región, los que, sumados, permiten estimar los grados de utilización nacionales. Estos grados son presentados en la Tabla 7-36.

Tabla 7-36. 5.D.1. Tratamiento y descarga de aguas residuales domésticas: grado de utilización de tratamientos de aguas servidas (T_{ij}) de la población urbana alta, serie 1990–2020.

Tipo de tratamiento	Eliminación en río lago y mar	Planta de tratamiento centralizada aeróbico mal operada	Planta de tratamiento centralizada aeróbico bien operada	Laguna anaeróbica poco profunda	Digestor anaeróbico para lodos	Reactor anaeróbico
1990	56,5%	20,2%	0,0%	23,3%	0,0%	0,0%
1991	56,5%	20,2%	0,0%	23,3%	0,0%	0,0%
1992	26,3%	62,8%	0,0%	10,8%	0,0%	0,0%
1993	26,2%	62,6%	0,0%	11,2%	0,0%	0,0%
1994	25,9%	61,7%	0,0%	12,5%	0,0%	0,0%
1995	29,8%	55,5%	3,6%	11,1%	0,0%	0,0%
1996	37,9%	49,8%	5,1%	7,2%	0,0%	0,0%
1997	34,7%	53,5%	4,7%	7,2%	0,0%	0,0%
1998	35,3%	50,3%	4,8%	9,6%	0,0%	0,0%
1999	62,9%	25,6%	4,3%	7,2%	0,0%	0,0%
2000	60,6%	25,5%	5,4%	8,6%	0,0%	0,0%
2001	40,6%	16,4%	8,6%	5,5%	28,9%	0,0%
2002	34,4%	13,6%	23,5%	4,6%	23,9%	0,0%
2003	28,0%	10,5%	23,3%	3,0%	35,2%	0,0%
2004	21,9%	7,7%	18,4%	2,1%	50,0%	0,0%
2005	22,5%	7,0%	19,6%	2,4%	48,5%	0,0%
2006	22,9%	4,7%	23,0%	1,1%	48,3%	0,0%
2007	24,4%	5,0%	25,4%	0,4%	44,8%	0,0%
2008	24,1%	5,3%	25,8%	0,4%	44,4%	0,0%
2009	23,3%	5,3%	27,3%	0,4%	43,6%	0,0%
2010	22,7%	4,9%	25,4%	0,4%	46,7%	0,0%
2011	23,3%	4,9%	25,7%	0,4%	45,6%	0,0%
2012	24,2%	4,9%	26,5%	0,7%	43,6%	0,0%
2013	24,1%	4,5%	22,8%	0,4%	48,0%	0,0%
2014	22,9%	4,6%	23,4%	0,8%	48,2%	0,0%
2015	23,3%	4,4%	23,5%	0,8%	48,1%	0,0%
2016	24,1%	4,4%	22,9%	0,6%	48,0%	0,0%
2017	24,3%	4,6%	23,7%	0,6%	46,7%	0,0%
2018	24,2%	4,6%	24,1%	0,7%	46,4%	0,0%
2019	23,9%	4,6%	24,5%	0,1%	47,0%	0,0%
2020	23,0%	4,3%	26,8%	0,1%	45,9%	0,0%

Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA con base en SISS

Lodos

El dato de actividad correspondiente al componente orgánico separado como lodo fue entregado directamente por la SISS para la serie 2006-2020. Para estimar la cantidad de lodos generados entre 1990 y 2005 se mantuvo el promedio de los años reportados (2006 y 2007) y se consideró el año de inicio de operación de las distintas plantas. Para el caso de los años reportados, el lodo de cada planta es sumado para obtener el total nacional para cada año. A continuación, se presentan los lodos recuperados por tipo de tratamiento (Tabla 7-37). Para pasar de volumen de lodo a carga orgánica, se considera una densidad igual a 1 t/m^3 ; 75 % de humedad y un 50 % de carbono orgánico degradable de acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006*, sección 2.3.2 del volumen 5 y un 50 % de DOCf o carbono descomponible.

Tabla 7-37. 5.D.1. Tratamiento y descarga de aguas residuales domésticas: toneladas de lodo separado (S) por tipo de tratamiento (t DBO/año) serie 1990–2020.

Tipo de tratamiento	Eliminación en río lago y mar	Planta de tratamiento centralizada aeróbico mal operada	Planta de tratamiento centralizada aeróbico bien operada	Laguna anaeróbica poco profunda	Digestor anaeróbico para lodos
1990	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1991	0,0	540,7	0,0	0,5	0,0
1992	0,0	569,5	0,0	0,5	0,0
1993	0,0	569,5	0,0	0,5	0,0
1994	0,0	569,5	0,0	1,4	0,0
1995	0,0	605,1	41,4	1,4	0,0
1996	0,0	766,4	103,2	2,7	0,0
1997	0,0	769,8	103,2	2,7	0,0
1998	7,9	938,9	146,5	58,3	0,0
1999	7,9	938,9	279,3	59,3	0,0
2000	7,9	938,9	673,3	112,5	0,0
2001	285,9	939,6	865,2	366,0	5751,4
2002	223,1	939,6	5165,5	353,1	5751,4
2003	155,5	946,3	7241,9	344,1	17279,5
2004	67,3	957,1	8020,6	260,5	17847,6
2005	77,7	957,1	8366,8	260,5	17834,7
2006	161,6	812,1	7935,3	257,9	17930,8
2007	259,2	968,2	11162,1	10,4	18688,7
2008	316,1	1696,8	11925,7	153,5	17427,0
2009	372,2	946,6	13434,2	22,5	18574,4
2010	435,6	3154,7	14061,7	15,8	21216,5
2011	488,1	1557,5	17000,7	21,1	24560,8
2012	519,5	1365,0	18369,3	21,9	22777,4
2013	482,1	1765,5	16214,3	32,5	26283,6
2014	584,7	2698,0	19345,9	29,2	27007,8
2015	542,8	1688,4	22398,6	25,7	25514,7
2016	562,5	3754,2	20986,4	0,0	23846,0
2017	512,2	1448,6	21079,4	0,0	23959,7
2018	525,9	1372,3	23210,2	0,0	23766,6
2019	1098,5	1058,5	24632,6	0,0	24141,6
2020	638,0	1105,1	25937,0	0,0	22993,7

Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA con base en SISS

Metano recuperado

En Chile existen un total de seis plantas de tratamiento aeróbico de aguas residuales en que se lleva a cabo recuperación y quema de metano. La SISS reporta la producción de biogás en sus informes a partir de 2012 al que se le aplica un porcentaje de contenido de metano que va entre los 55 % y 65 %, dependiendo de la planta. Para poder completar la serie temporal, se estableció una relación entre la carga orgánica tratada por planta y la producción de biogás de acuerdo con los años conocidos. El resultado de metano recuperado y quemado se observa en la Tabla 7-38.

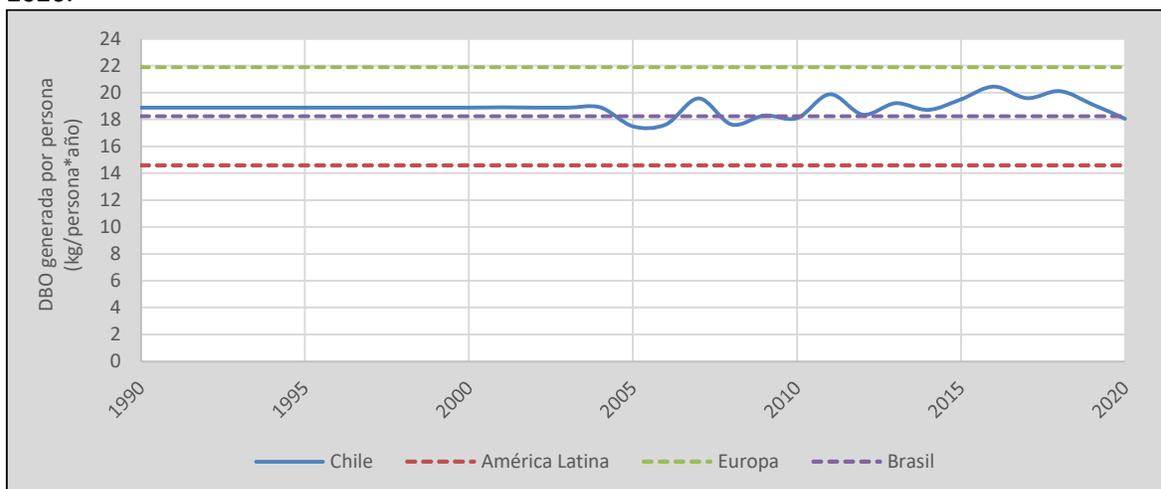
Tabla 7-38. 5.D.1. Tratamiento y descarga de aguas residuales domésticas: metano recuperado (kt CH₄/año), serie 1990-2020

Año	Metano recuperado (kt CH ₄ /año)
1990	-
1991	-
1992	-
1993	-
1994	-
1995	-
1996	-
1997	-
1998	-
1999	-
2000	-
2001	0,6
2002	4,6
2003	8,2
2004	16,9
2005	14,6
2006	17,4
2007	16,8
2008	16,0
2009	16,9
2010	19,2
2011	20,0
2012	21,3
2013	22,8
2014	23,0
2015	24,3
2016	25,8
2017	27,0
2018	28,8
2019	28,5
2020	28,6

Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA con base en SISS

Para la DBO per cápita, se utilizaron los datos de DBO/m³ reportados por la SISS para los años 2005 a 2020 por planta por mes, junto con los volúmenes por planta tratado y la población urbana del INE. Para completar la serie hasta 1990 se mantuvo el promedio de DBO per cápita estimado con los valores entre 2005 y 2020 por región y se estimó un valor nacional en base a las poblaciones regionales desde 1990. El resultado se compara con los valores por defecto del IPCC como se observa en la Figura 7-20.

Figura 7-20. 5.D.1 Tratamiento y descarga de aguas residuales domésticas: Comparación de DBO per cápita nacional con distintas regiones del mundo de acuerdo con valores por defecto, serie 1990-2020.



Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA en base a datos de la SISS y a valores por defecto de las *Directrices del IPCC 2006, Volumen 5, capítulo 6, tabla 6.4.*

El factor corrector que se utiliza para considerar el DBO industrial eliminado en las cloacas (*I*) no se aplica ya que la influencia de las industrias ya está reflejada en la DBO estimada a nivel nacional en base a datos medidos por las PTAS.

Consumo de proteína

El consumo de proteína per cápita es necesario para la estimación de emisiones de N₂O. Para contar con dichos datos, se utilizó la información entregada por el Departamento de Nutrición de MINSAL, donde se contaba con datos entre 1990 y 2007. Entre 2008 y 2018 se utilizaron datos de consumo de FAO⁸⁰, que eran consistentes con los de MINSAL por lo que se usaron directamente, y para los años 2019 y 2020 la serie fue extrapolada linealmente, teniendo en consideración un factor de crecimiento promedio de los años anteriores (Tabla 7-39).

Tabla 7-39. 5.D.1. Tratamiento y descarga de aguas residuales domésticas: consumo de proteína per cápita (kg/persona/año), serie 1990-2020

Año	Consumo per capita (kg/persona/año)
1990	25,6
1991	25,6
1992	28,1
1993	28,5
1994	28,5
1995	28,4
1996	28,8
1997	28,5
1998	28,4
1999	28,0
2000	28,7
2001	29,1

⁸⁰ <http://www.fao.org/faostat/en/#country/40>

Año	Consumo per capita (kg/persona/año)
2002	30,1
2003	30,9
2004	31,3
2005	31,8
2006	32,5
2007	31,8
2008	31,3
2009	30,7
2010	30,4
2011	30,4
2012	30,8
2013	31,3
2014	31,4
2015	31,5
2016	31,8
2017	32,3
2018	32,9
2019	33,1
2020	33,4

Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA con base en MINSAL y FAO

7.5.4.3.2 Factores de emisión

El factor de emisión para el metano se estima en función de la capacidad máxima de producción de CH₄ (B₀) y el factor corrector para el CH₄ (MCF) el que depende de cada tipo de tratamiento. El valor de B₀ corresponde a 0,6 kg de CH₄/kg de DBO de acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006* (Sección 6.2.2.2.; Capítulo 6; Volumen 5). Los valores de MCF se presentan en la Tabla 7-40.

Tabla 7-40. 5.D.1. Tratamiento y descarga de aguas residuales domésticas: factor corrector del metano (MCF) para los diferentes sistemas de descarga y tratamiento.

Tipo de tratamiento o sistema de descarga	MCF
Cloaca en movimiento	0,0
Sistema séptico	0,5
Letrina Clima seco, familia reducida	0,1
Cloaca estancada	0,5
Eliminación en río, lago y mar	0,1
Planta de tratamiento centralizada aeróbico mal operada	0,3
Planta de tratamiento centralizada aeróbico bien operada	0,0
Laguna anaeróbica poco profunda	0,2
Digestor anaeróbico para lodos	0,8
Reactor anaeróbico	0,8

Fuente: Cuadro 6.3; Capítulo 6; Volumen 5; *Directrices del IPCC 2006*.

El factor de emisión por defecto para las emisiones de N₂O es de 0,005 (kg N₂O-N/kg N) de acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006* (Sección 6.3.1.2.; Capítulo 6; Volumen 5). Los valores paramétricos se encuentran en la descripción metodológica (supra).

7.5.4.4 Incertidumbre

La incertidumbre combinada de la subcategoría es de $\pm 79\%$ para CH_4 y $\pm 101\%$ para N_2O . En general no se cuenta con información nacional de la incertidumbre de los datos de actividad y los factores de emisión, por lo que consideraron las recomendadas en las *Directrices del IPCC del 2006* (Cuadro 6.7; Capítulo 6; Volumen 5 para los datos referidos a las emisiones de CH_4 ; Cuadro 6.11; Capítulo 6; Volumen 5 para los datos referidos a las emisiones de N_2O). Para combinar la incertidumbre de la categoría se tomaron los supuestos y se realizaron cálculos basados en las ecuaciones descritas en los aspectos metodológicos de la subcategoría (3.5.4.3).

Para el metano, primero que todo se calculó la incertidumbre del factor de emisión ponderado combinando los parámetros (B_0 , MCF, U y T) mediante la metodología de combinación de incertidumbre - método 1 - para la multiplicación. Como la incertidumbre de los MCF varía de acuerdo al tipo de tratamiento, se hizo el supuesto de que la incertidumbre para todos era la más alta ($\pm 50\%$) para simplificar el cálculo. Mediante la misma fórmula se estimó la incertidumbre de TOW combinando las de P y BOD. La incertidumbre de esta última bajó de 30% a 15% ya que se utilizaron datos país específicos. Luego utilizando la ecuación de combinación de incertidumbre - método 1 - para la suma se agregaron la incertidumbre del Lodo eliminado (S) y el metano recuperado (R) siguiendo la lógica de la Ecuación 7-14 obteniendo una incertidumbre combinada para la subcategoría para el metano. Las incertidumbres utilizadas en este cálculo se observan en la Tabla 7-41.

Tabla 7-41. 5.D.1. Tratamiento y descarga de aguas residuales domésticas: incertidumbre de factores de emisión, parámetros y datos de actividad para la estimación de emisiones de CH_4 2020.

		Incertidumbre
Capacidad máxima de producción de CH_4 (B_0)	(\pm)%	30,0%
Factor de corrección de metano (MCF)	(\pm)%	50,0%
Fracción de la población urbano – rural (U)	(\pm)%	15,0%
Grado de utilización Tj	(\pm)%	50,0%
Población (P)	(\pm)%	5,0%
Componente orgánico degradable (BOD))	(\pm)%	15,0%
Lodo eliminado (Sj)	(\pm)%	50,0%
Metano recuperado y quemado (Rj)	(\pm)%	50,0%
Incertidumbre combinada	(\pm)%	141,6%

Fuente: Cuadro 6.7; Capítulo 6; Volumen 5; *Directrices del IPCC 2006*.

La incertidumbre para el N_2O se obtuvo utilizando únicamente la ecuación para la multiplicación combinando las incertidumbres del factor de emisión con los parámetros (F_{npr} , $F_{non-con}$ y $F_{ind-com}$) y datos de actividad (P y Proteína) de acuerdo con la Ecuación 7-15. Las incertidumbres utilizadas en este cálculo se observan en la Tabla 7-42.

Tabla 7-42. 5.D.1. Tratamiento y descarga de aguas residuales domésticas: incertidumbre de factores de emisión, parámetros y datos de actividad para la estimación de emisiones de N₂O 2020

		Incertidumbre
Fracción de N en la proteína (Fnpr)	(±)%	50,0%
Factor de las proteínas no consumidas añadidas a las aguas residuales (Fnon-con)	(±)%	50,0%
Factor para las proteínas industriales y comerciales co-eliminadas en los sistemas de alcantarillado(Find-com)	(±)%	50,0%
Factor de emisión (kg N ₂ O-N/kg N)	(±)%	50,0%
Población (P)	(±)%	5,0%
Consumo de proteína per cápita (Proteína)	(±)%	10,0%
Incertidumbre combinada	(±)%	100,6%

Fuente: Cuadro 6.11; Capítulo 6; Volumen 5; *Directrices del IPCC 2006*.

Una explicación general de la estimación de la incertidumbre con las ecuaciones del método 1 mencionadas se encuentra en la sección 1.7. *Evaluación general de la incertidumbre* y el cuadro de cálculo, junto a los supuestos aplicados, en ANEXO 11.04.

7.5.4.5 Consistencia de la serie temporal

Para mantener la consistencia de la serie temporal 1990-2020 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*.

7.5.4.6 Procedimiento de garantía y control de la calidad y verificación

7.5.4.6.1 Verificación

No se realizaron verificaciones de los resultados para esta subcategoría.

7.5.4.7 Nuevos cálculos

7.5.4.7.1 Justificación de los nuevos cálculos y mejoras

Durante el presente proceso de actualización se realizó la estimación a nivel regional, mientras que en el inventario anterior se utilizaron promedios nacionales, por lo que las operaciones entre la DBO regional, MCF regional y resta de lodos a nivel regional, genera cambios en los resultados. Adicionalmente se corrigió la DBO per cápita ya que se dividió la DBO total reportada por la SISS solo por la población urbana y no la población total con lo que aumento de 17,2 kg DBO/año per cápita para el 2018 a 20,1 kg DBO/año.

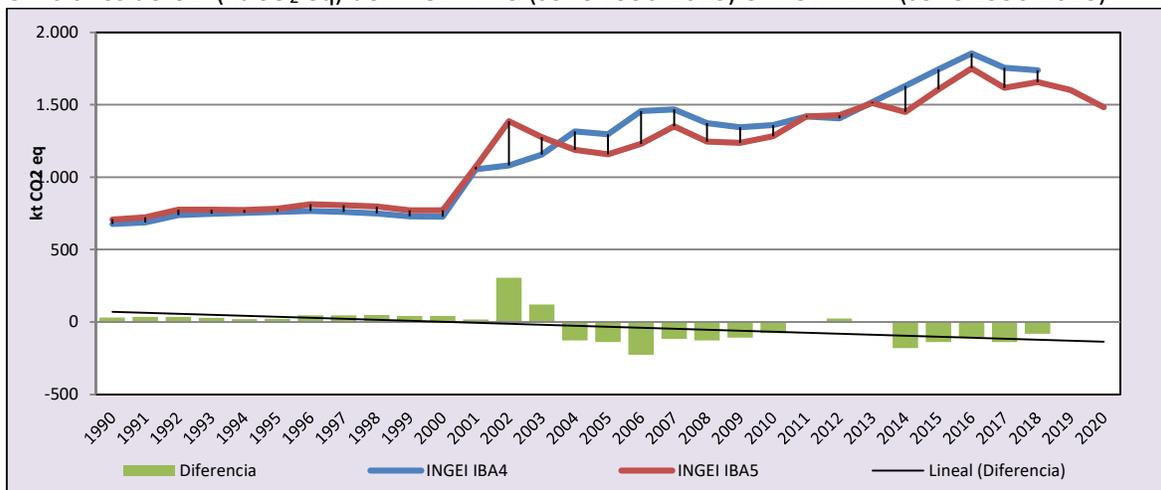
7.5.4.7.2 Implicaciones para los niveles de emisión

En la Tabla 7-43 y la Figura 7-21, se observa cómo variaron las emisiones de GEI de la subcategoría respecto al inventario anterior (INGEI IBA4). La disminución de las emisiones de GEI de la subcategoría promedia 24 kt CO₂ eq anuales durante la serie 1990-2018.

Tabla 7-43. 5.D.1. Tratamiento y descarga de aguas residuales domésticas: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI IBA5 (serie 1990-2020) e INGEI IBA4 (serie 1990-2018)

INGEI	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020
INGEI IBA4	678,7	728,2	1.359,4	1.518,3	1.856,2	1.738,0	
INGEI IBA5	708,8	770,6	1.282,9	1.510,7	1.752,7	1.656,1	1.482,2
Diferencia	30,1	42,4	-76,5	-7,5	-103,5	-81,9	
Diferencia %	4,4%	5,8%	-5,6%	-0,5%	-5,6%	-4,7%	

Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

Figura 7-21. 5.D.1. Tratamiento y descarga de aguas residuales domésticas: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI IBA5 (serie 1990-2020) e INGEI IBA4 (serie 1990-2018)

Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

7.5.4.8 Plan de mejoramiento

En respuesta al análisis propio del Equipo Técnico de Residuos las mejoras planificadas de la subcategoría son las siguientes:

- Desarrollar un plan de trabajo con RETC para coordinar esfuerzos en tratamiento de datos de la SISS y la SMA.
- Revisar clasificación de sistemas de tratamiento nacionales con la homologación del IPCC
- Revisar cálculos de plantas de digestión anaeróbica y separación de lodos.

7.5.5 Tratamiento y descarga de aguas residuales industriales (5.D.2.)

7.5.5.1 Descripción de la subcategoría

La subcategoría *Tratamiento de aguas residuales industriales* considera las emisiones de CH₄ procedentes del tratamiento *in situ* de aguas residuales industriales. Sólo produce CH₄ el agua residual que contiene significativas cargas de carbono y que se trata bajo condiciones anaeróbicas, sean éstas previstas o no.

En el contexto nacional, es competencia de la SISS la fiscalización de establecimientos generadores de aguas residuales industriales desde 2006, año en que se hace plenamente exigible el D.S N° 90/00: "Norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales". A partir de 2013 dicha competencia

pasa a la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA), la que cumple con controlar los parámetros establecidos por esta normativa en cada uno de los establecimientos generadores de aguas residuales industriales en el país.

7.5.5.2 Tendencia de las emisiones de GEI

En 2020, las emisiones de GEI de esta categoría contabilizaron 184 kt CO₂ eq, (representando el 11 % de las emisiones de la categoría) aumentando en un 215 % desde 1990 y disminuyendo en un 41 % desde 2018 (Tabla 7-29 y Figura 7-17). El principal causante del crecimiento en emisiones es el aumento de DQO generada por las distintas industrias asociada al aumento de producción y al uso de tratamientos anaeróbicos y, por lo tanto, la mayor generación de metano. Se destaca la participación de la industria del papel y la celulosa y al procesamiento de pescado.

7.5.5.3 Aspectos metodológicos de la subcategoría

Para la estimación de las emisiones de CH₄ de la subcategoría *Tratamiento y descarga de aguas residuales industriales* se utilizó una metodología de Nivel 2 de acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006*, con datos de actividad y parámetros país específicos y factores de emisión por defecto. La metodología es muy similar a la usada para estimar las emisiones de CH₄ de las aguas residuales domésticas, sin embargo, esta tiene base en la DQO y no en la DBO. La metodología, que busca estimar las emisiones para cada sector de manera separada, se describe paso a paso a continuación.

- 1) Se debe estimar el total de carbono degradable de manera orgánica en las aguas servidas (TOW) para cada sector industrial *i*. Para ello se utiliza la ecuación siguiente:

Ecuación 7-17. 5.D.2. Tratamiento y descarga de aguas residuales industriales: materia orgánica degradable en las aguas residuales industriales.

$$TOW_i = W_i \cdot COD_i$$

Fuente: basada en Ecuación 6.6; Capítulo 6; Volumen 5; *Directrices IPCC de 2006*.

Donde:

- TOW_{*i*}: total de materia orgánica en las aguas residuales de la industria *i* del año del inventario, kg de DQO/año.
 - W_{*i*}: aguas residuales generadas, m³/año por la industria *i*.
 - COD_{*i*}: DQO, kg de DQO/m³.
 - *i*: sector industrial.
- 2) Determinar las vías y los sistemas de tratamiento según los datos del país, para estimar el factor de emisión en función de la capacidad máxima de producción de CH₄ (B₀) y el factor corrector para el CH₄ (MCF) promedio ponderado de la industria respectiva. De acuerdo a lo anterior, el factor de emisión para cada sistema se calcula a partir de la ecuación siguiente:

Ecuación 7-18. 5.D.2. Tratamiento y descarga de aguas residuales industriales: factor de emisión de CH₄ para las aguas residuales industriales.

$$EF_j = B_o \cdot MCF_j$$

Fuente: Ecuación 6.5; Capítulo 6; Volumen 5; *Directrices IPCC de 2006*.

Donde:

- EF_j: factor de emisión para la vía o sistema de tratamiento *j*, kg de CH₄/kg de DBO.
- B₀: capacidad máxima de producción de CH₄, kg de CH₄/kg de DBO.
- MCF_j: el factor corrector para el CH₄ para la vía o sistema de tratamiento *j*.

- 3) Estimar las emisiones en función de la carga orgánica; el factor asociado; el lodo total removido; y el metano total recuperado para cada sector industrial. Lo anterior se expresa más claramente en la ecuación siguiente:

Ecuación 7-19. 5.D.2. Tratamiento y descarga de aguas residuales industriales: emisiones totales de CH₄ procedentes de las aguas residuales industriales

$$\text{Emisiones de CH}_4 = \sum_i [(TOW_i - S_i) \cdot EF_i - R_i]$$

Fuente: Ecuación 6.4; Capítulo 6; Volumen 5; *Directrices IPCC de 2006*.

Donde:

- Emisiones de CH₄: emisiones de CH₄ durante el año de inventario, kg de CH₄/año.
- TOW_i: total de materia orgánica en las aguas residuales de la industria *i* del año del inventario, kg de DQO/año.
- S_i: componente orgánico separado como lodo durante todo el año de inventario para el sector industrial *i*, kg de DQO/año.
- R_i: cantidad de CH₄ recuperada durante el año del inventario por el sector industrial *i*, kg de CH₄/año.
- EF_j: factor de emisión para la vía o sistema de tratamiento *j*, kg de CH₄/kg de DQO. Si en una industria se utiliza más de un tipo de tratamiento, este factor debe corresponder a un promedio ponderado.

7.5.5.3.1 Datos de actividad estadísticos y paramétricos

Los principales datos de actividad para la estimación de emisiones de CH₄ de la subcategoría provienen directamente de la SISS, entidad reguladora durante 2006-2012. A partir de 2013, la SMA es la encargada de la recolección de dicha información.

Los datos de volumen generado anualmente (m³/año) por industria y su respectivo DBO para la serie 2006 - 2020, provienen de los reportes de la SMA y la SISS. Para completar la serie histórica a diferencia del inventario anterior se extrapoló el TOW y no los caudales en base los Producto interno bruto (PIB) anual por actividad económica a precios corrientes en dólares de 1) Agricultura, ganadería caza y silvicultura; 2) Pesca y 3) Industria manufacturera de las cuentas nacionales anuales en dólares de CEPAL.

En el contexto nacional es habitual que las empresas reporten la DBO de sus caudales. Ante la falta de valores referenciales para la DQO, se optó por usar los valores presentes en las *Directrices del IPCC sobre las buenas prácticas y la gestión de la incertidumbre en los inventarios nacionales de*

gases de efecto invernadero, en donde se indica un valor típico para la DQO y para la DBO (Tabla 7-44), excepto por la industria del papel y la celulosa que se cuenta con reportes⁸¹ que publican tanto su DBO como DQO con lo que se obtuvo una relación de 6,9 DQO/DBO mientras que en el inventario anterior se utilizó un 22,5 DQO/DBO.

Tabla 7-44. 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*

Estos valores representan la carga orgánica de descarga de las aguas residuales industriales por lo que es necesario aplicar una eficiencia de remoción de carga orgánica para obtener la carga orgánica que entra a los sistemas de tratamiento, lo que depende del tipo de tratamiento. Estos se obtuvieron de la literatura⁸². Adicionalmente para completar el resto de la serie se utilizó el promedio entre 2006-2020.

La información sobre tipo de tratamiento se obtiene a partir de datos reportados por las empresas sobre gasto ambiental, en que se indica la inversión por año realizada para el tratamiento de RILES, además del tipo de tratamiento llevado a cabo y el año de puesta en marcha. En base a estos datos, se caracterizan los tipos de tratamiento por sector industrial. Cabe destacar que no todas las empresas reportan, por lo que esta caracterización se hace en base a las empresas que si han reportado. Cuando una empresa reporta más de un tipo de tratamiento se considera el más anaeróbico. La homologación entre los equipos de control reportados y los tratamientos del IPCC se observan en la Tabla 7-45.

⁸¹ <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>

⁸² <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2009/faa465d/doc/faa465d.pdf>

Tabla 7-45. 5.D.2. Tratamiento y descarga de aguas residuales industriales: factor corrector del metano (MCF) para los diferentes sistemas de descarga y tratamiento

Tipo equipo control	homologo IPCC	MCF	Eficiencia de remoción ⁸³
Lodos Activados	Planta de tratamiento centralizada aeróbico bien operada	0,0	0,8
Flotacion por Aire Disuelto (DAF)			
Lombrifiltro			
Reactor Aerobico de Lecho Fijo Sumergible (RALFS)			
Enhanced biological phosphorus removal (EBPR)			
Lodos Activados+complemento Nt			
Reactores Biológicos de Membrana (MBR)			
Electrooxidacion	complementaria	0,0	0
Decloración			
Intercambio Ionico			
Intercambiador de Calor			
Torres de Enfriamiento	Eliminación en río lago y mar (incluye primario y desinfección)	0,1	0,2
Prefiltracion			
Osmosis Inversa			
Nanofiltracion			
Skimmer			
Adsorcion con diferentes materiales			
Filtros SAF (Filtros Automatizados Sofisticados)			
Bekosplit			
Adsorcion con Carbon Activado			
Extraccion por Solvente			
Ultrafiltracion			
Filtros Rotatorios	Laguna anaeróbica poco profunda	0,2	0,6
Clarificación			
Separadores por gravedad y sedimentación			
Wetlands			
Coalescencia	Planta de tratamiento centralizada aeróbico mal operada	0,3	0,8
Lagunas Aireadas			
Arrastre por Aire (Air Stripping)			
Oxidación con Aire Húmedo	Reactor anaeróbico	0,8	0,8
Precipitación química			
Reactor Anaeróbico			
Oxidación Avanzada Catalítica (POAs)	Digestor anaeróbico para lodos	0,8	0,8
Reactores Biológicos Secuenciales (SBR)			

Fuente: MCF: Cuadro 6.8; Capítulo 6; Volumen 5; Directrices del IPCC de 2006;

Se levantaron datos de metano recuperado en base al diseño de plantas, sin embargo, no se utilizaron ya que los valores de diseño son considerablemente mayores que las emisiones totales estimadas. Se consideró que la captura de metano en las plantas de tratamiento de RILES es cero. Es necesario revisar los valores o bien levantar datos directamente con las empresas correspondientes.

⁸³ <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2009/faa465d/doc/faa465d.pdf>

7.5.5.3.2 Factores de emisión

El factor de emisión se estima en función a la capacidad máxima de producción de CH₄ (B₀) y el factor corrector para el CH₄ (MCF) el que depende de cada tipo de tratamiento. El valor de B₀ corresponde a 0,25 kg de CH₄/kg de DQO de acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006* (Sección 6.2.2.2; Capítulo 6; Volumen 5). Los valores de MCF se presentan en la Tabla 7-45.

7.5.5.4 Incertidumbre

La incertidumbre combinada de la subcategoría es de -115 % y +94 %. En general, no se cuenta con información nacional de la incertidumbre de los datos de actividad y los factores de emisión, por lo que se consideraron las recomendadas en las *Directrices del IPCC de 2006* (Cuadro 6.10; Capítulo 6; Volumen 5, para los datos de actividad, y 6.7; Capítulo 6; Volumen 5, para los factores de emisión). Un resumen de los resultados de la incertidumbre combinada se presenta en la Tabla 7-46.

Tabla 7-46. 4.D.2. Tratamiento y descarga de aguas residuales industriales: resumen incertidumbre combinada, 2018

Código IPCC	Categoría del IPCC	Gas	Incertidumbre en los datos de actividad		Incertidumbre en el factor de emisión		Incertidumbre combinada	
			(-)%	(+)%	(-)%	(+)%	(-)%	(+)%
4.D.2.	Tratamiento y descarga de aguas residuales industriales	CH ₄	99%	73%	58%	58%	115,3%	93,8%

Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

Una explicación general de la estimación de la incertidumbre se encuentra en la sección 1.7. *Evaluación general de la incertidumbre* y el cuadro de cálculo, junto a los supuestos aplicados, en ANEXO 11.04.

Se concluye de la tabla anterior que la mayor fuente de incertidumbre corresponde a la relacionada con los datos de actividad.

7.5.5.5 Consistencia de la serie temporal

Para mantener la consistencia de la serie 1990-2020 se usaron los mismos factores de emisión y datos paramétricos para toda la serie histórica y los datos de actividad se extrapolaron en base a variables auxiliares, y utilizando los datos de años existentes según las recomendaciones de las *Directrices del IPCC*.

7.5.5.6 Procedimiento de garantía y control de la calidad y verificación

7.5.5.6.1 Verificación

No se aplicaron procedimientos de verificación a esta subcategoría.

7.5.5.7 Nuevos cálculos

7.5.5.7.1 Justificación de los nuevos cálculos y mejoras

Se llevaron a cabo varias mejoras que conllevaron a nuevos cálculos:

- Se realizaron las estimaciones a nivel regional por lo que se revisó la consistencia de los datos y se corrigieron errores, tanto en los caudales como en las DBO reportadas.

- Para la estimación de la DBO por tipo de empresa se hizo una suma ponderada por el caudal por empresa, mientras que antes se calculaba con el promedio del DBO y la suma de los caudales.
- Se ajustó la relación de DQO a DQB de la industria del papel y la celulosa, basándose en reportes de las principales empresas nacionales.
- Se aplicó una eficiencia de remoción ya que antes se consideraba que la DBO reportada por la SISS era la de entrada a los sistemas de tratamiento, pero en realidad corresponde a la DBO de descarga.
- No se restaron los datos de lodos industriales por tener poca confianza en los datos, pero, por otro lado, estos tampoco se suman a los residuos tratados en otras categorías.

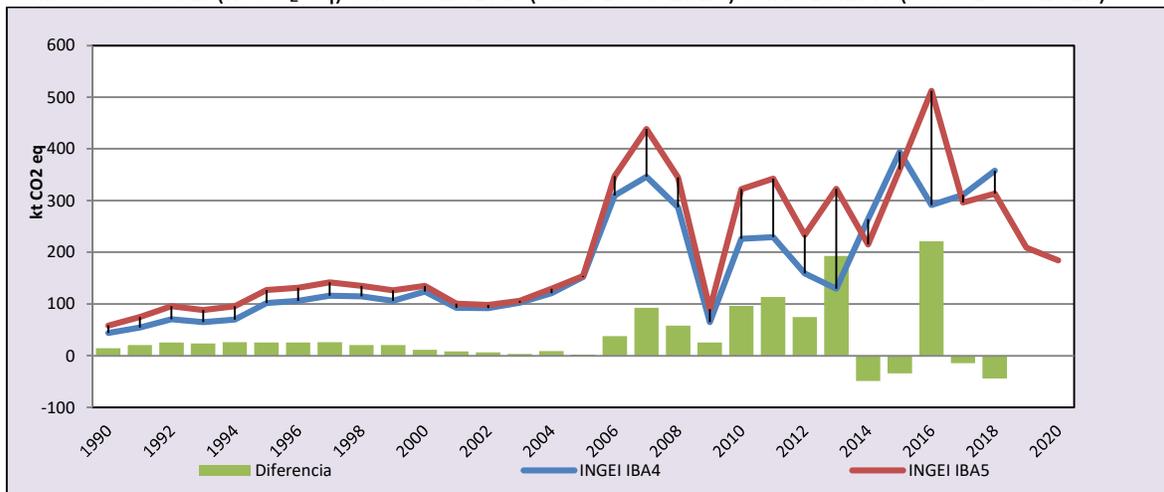
7.5.5.7.2 Implicaciones para los niveles de emisión

En la Tabla 7-47 y Figura 7-22 se observa como variaron las emisiones de GEI de la subcategoría con respecto al inventario anterior (INGEI IBA4). Las diferencias se deben a una combinación de las mejoras realizadas.

Tabla 7-47. 5.D.2. Tratamiento y descarga de aguas residuales industriales: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI IBA5 (serie 1990-2020) e INGEI IBA4 (serie 1990-2018)

Categoría	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020
INGEI IBA4	44,0	123,6	225,8	129,4	291,1	357,6	
INGEI IBA5	58,5	134,9	321,9	322,4	512,5	313,3	184,4
Diferencia	14,5	11,3	96,1	192,9	221,3	-44,3	
Diferencia %	32,9%	9,1%	42,5%	149,1%	76,0%	-12,4%	

Figura 7-22. 5.D.2. Tratamiento y descarga de aguas residuales industriales: comparación entre emisiones de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI IBA5 (serie 1990-2020) e INGEI IBA4 (serie 1990-2018)



Fuente: Equipo Técnico de Residuos del MMA

7.5.5.8 Plan de mejoramiento

Se considerará evaluar metano recuperado, para poder incluirlo en la próxima actualización.

8 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; cuando esto ocurre, se requiere estimar nuevamente 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.

Tanto el actual INGEI de Chile (INGEI IBA5, serie 1990-2020) como el anterior (INGEI IBA4, serie 1990-2018), que fue presentado por el país ante Naciones Unidas el 2021 como parte de su *Cuarto Informe Bienal de Actualización*, se elaboraron siguiendo los lineamientos de las *Directrices del IPCC de 2006*. Para la elaboración del presente INGEI de Chile se ha recurrido, en todos los sectores, a nuevas fuentes de información junto a su respectivo refinamiento metodológico. Además, se desarrollaron nuevos factores de emisión país específicos en los sectores de IPPU y Energía, y se ajustaron parámetros en los sectores UTCUTS y Residuos lo que generó diferencias entre las magnitudes de GEI previamente notificadas.

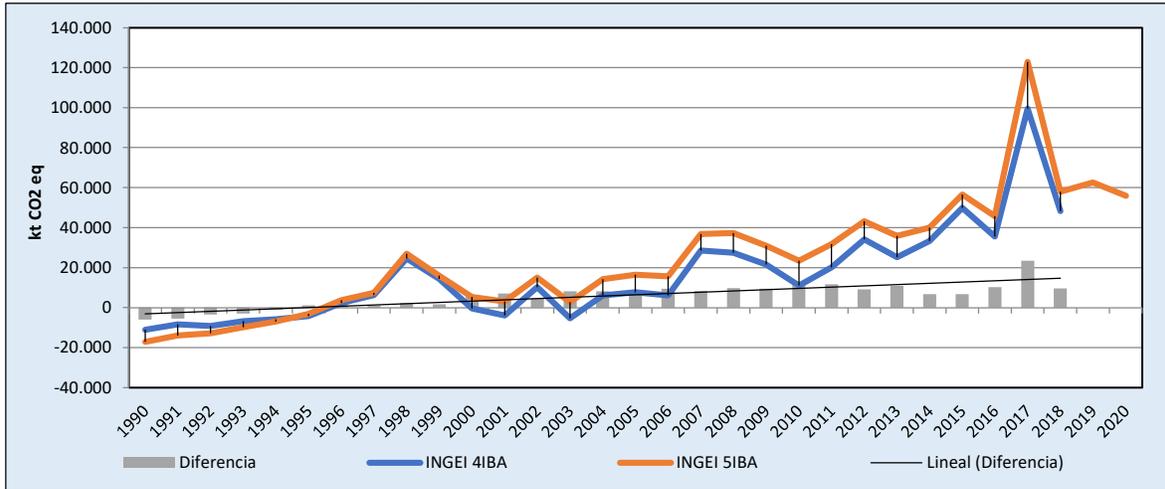
En general, el balance de GEI del último INGEI muestra un aumento entre 1990 y 2018 de 5.802 kt CO₂ eq promedio, en comparación con el inventario anterior y un incremento de 20 % para 2018 (Tabla 8-1 y Figura 8-1). Esta se atribuye principalmente, mejoras en los factores de emisión y paramétricos y datos de actividad que mostraron, en suma, una menor capacidad de sumidero del sector UTCUTS. Si bien los otros sectores del INGEI de Chile presentan variaciones, los cambios en el sector UTCUTS equivalen a magnitudes de GEI que impactan notoriamente en la tendencia general.

Tabla 8-1. Nuevos cálculos: comparación de los balances de GEI (kt CO₂ eq) de los INGEI del IBA4 (1990-2018) e del IBA5 (1990-2020)

INGEI	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020
IBA4 (1990-2018)	-10.943	-363	10.976	25.117	35.458	48.321	
IBA5 (1990-2020)	-17.003	5.279	23.354	35.913	45.635	57.882	55.825
Diferencia	-6.060	5.642	12.378	10.796	10.176	9.561	

Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA

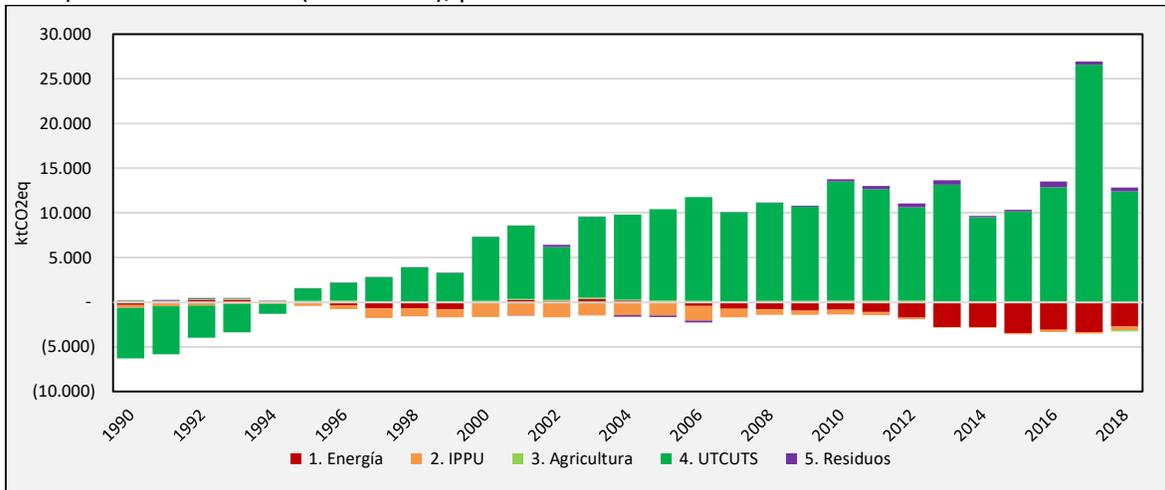
Figura 8-1. Nuevos cálculos: comparación de los balances de GEI (kt CO₂ eq) de los INGEI del IBA4 (1990-2018) e del IBA5 (1990-2020)



Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA

Para ejemplificar de mejor manera la incidencia de cada nuevo cálculo sectorial, la Figura 8-2 muestra la diferencia entre los inventarios para cada sector. Si bien todos los sectores presentan diferencias, el sector UTCUTS es el que muestra un aumento mayor respecto al inventario anterior, mientras que el sector Energía es el que muestra la mayor disminución.

Figura 8-2. Nuevos cálculos: diferencia de los balances de GEI (kt CO₂ eq) del INGEI IBA5 (serie 1990-2020) e INGEI IBA4 serie (1990-2018), por sector



Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA

9 CARBONO NEGRO

9.1 Panorama general

9.1.1 Introducción

Para cumplir con los compromisos de reducción de carbono negro (CN) incluidos en la actualización de la Contribución Nacionalmente Determinada (NDC, por su sigla en inglés) de Chile⁸⁴ es necesario tener una contabilidad de estas emisiones, a través de inventarios nacionales robustos y consistentes con el INGEI, de tal forma de consolidar y alinear las medidas de mitigación de GEI y de CN.

9.1.2 Carbono negro

El carbono negro, hollín o carbono elemental (CN) es un aerosol primario, es decir, emitido directamente por una fuente, que es producido por la quema incompleta de combustibles fósiles, biocombustibles y biomasa (IPCC, 2021). La permanencia en la atmósfera de este contaminante va desde días a semanas, por lo que es considerado un contaminante climático de vida corta (CCVC).

El CN tiene un gran potencial para absorber luz, la que luego emite en forma de calor, además, a diferencia de otros aerosoles, este 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). El CN también tiene efectos sobre las superficies en las que se deposita, por un lado, el CN puede cambiar el albedo de las superficies de hielo o nieve (Rowe et al., 2019), por otro lado, también altera la formación de las nubes al depositarse sobre ellas (Bond et al., 2013), además, el CN es parte del material particulado completamente respirable (MP_{2,5}), por lo que la exposición a este contaminante trae problemas a la salud (Burnett et al., 2018; Huneus et al., 2020).

Como se menciona anteriormente, el CN pertenece al MP_{2,5} y forma solo una parte de este, la composición del MP varía según el lugar en donde se mide. Esto último guarda estrecha relación con las fuentes de emisión, tanto naturales como antrópicas, que se encuentre 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 una muy baja o nula participación de sal marina. En Chile se han monitoreado los niveles o concentraciones de MP (entre 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, Chile, ha implementado la Estrategia de Planes de Descontaminación Atmosférica, esta estrategia cuenta con una serie de medidas que buscan 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.

Por lo tanto, 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, como

⁸⁴ La meta indica la reducción de las emisiones de CN de al menos un 25% al 2030, con respecto a los niveles del 2016 (MMA, 2020)

cobeneficios la reducción de CN ayudaría a lograr la meta del 1,5 °C comprometida en el acuerdo de París.

9.1.3 Tendencia de las emisiones de carbono negro

El tercer inventario nacional de CN (INCN) da evidencia de las principales fuentes de este contaminante en Chile. El inventario fue construido en base al presente INGEI, adoptando una metodología que da cuenta de los avances tecnológicos que contribuyen a la disminución de las emisiones. El INCN comprende la serie 1990–2020, y se separa en las categorías y fuentes definidas por el INGEI de Chile.

En 2020, las emisiones totales de CN alcanzaron las 19,8 kt, lo que representó un aumento del 49 % desde 1990 y aumento de 6 % con respecto al 2018 (Tabla 9-1). La tendencia de la serie está dominada en la mayoría del periodo por las emisiones producto de la quema de combustibles fósiles y biocombustibles, las que se contabilizan en el sector Energía (Figura 9-1). Sin embargo, en algunos años (1998, 1999, 2002, 2014, 2015 y 2017) las emisiones producto de incendios forestales, contabilizadas en el sector UTCUTS, cambian la tendencia de la serie pasando 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 31,4 kt de CN y las emisiones producto de incendio forestales alcanzan un nivel similar a las emisiones del sector Energía.

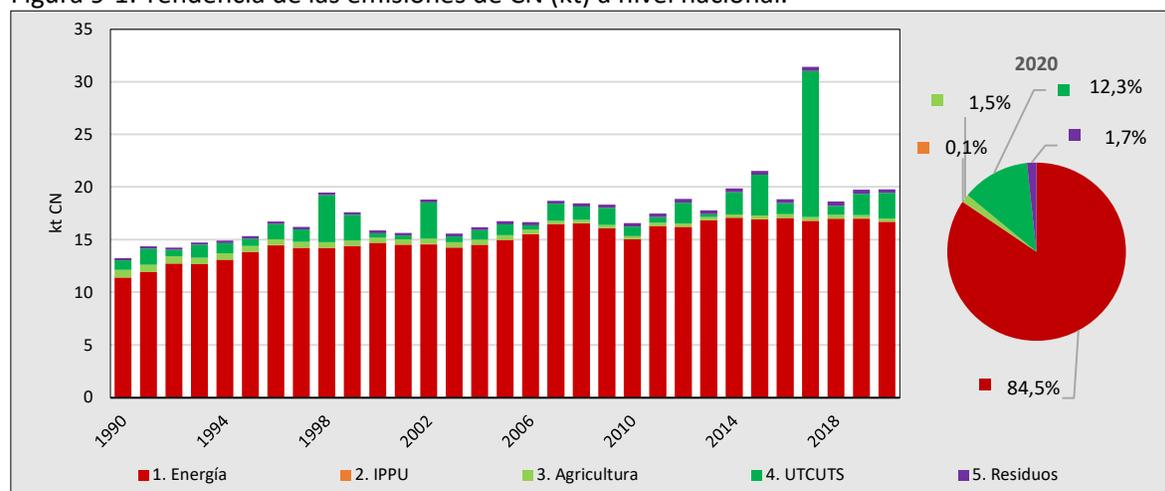
Tabla 9-1. INCN de Chile: emisiones de CN (kt) por sector, serie 1990-2020

Sector	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020
1. Energía	11,38	14,68	15,03	16,83	17,05	16,98	16,70
2. IPPU	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
3. Agricultura	0,73	0,49	0,28	0,31	0,36	0,36	0,29
4. UTCUTS	0,91	0,43	0,91	0,25	1,03	0,84	2,43
5. Residuos	0,22	0,24	0,32	0,36	0,38	0,42	0,34
Total	13,25	15,86	16,56	17,77	18,84	18,61	19,77

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 las emisiones se debe mayormente 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

9.1.4 Aspectos metodológicos generales

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. Este último es principalmente es obtenido considerando al CN como una fracción del $MP_{2,5}$ emitido por distintas actividades. Se utilizaron distintos acercamientos metodológicos en base a la disponibilidad de información y la importancia de la actividad al total de emisiones nacionales.

9.1.5 Datos de actividad

El inventario es construido sobre la base del INGEI, esto es considerando los mismos niveles de actividad, por lo que la elaboración de este inventario no cuenta con el levantamiento de niveles de actividad nuevo. Sin embargo, si 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.

9.2 Sector Energía (1)

9.2.1 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, con un 84,5 % de las emisiones en 2020, en donde, en el mismo año, las emisiones de CN alcanzaron las 16,7 kt, lo que representó un aumento del 47 % respecto de 1990 y una disminución del 2 % respecto del 2018.

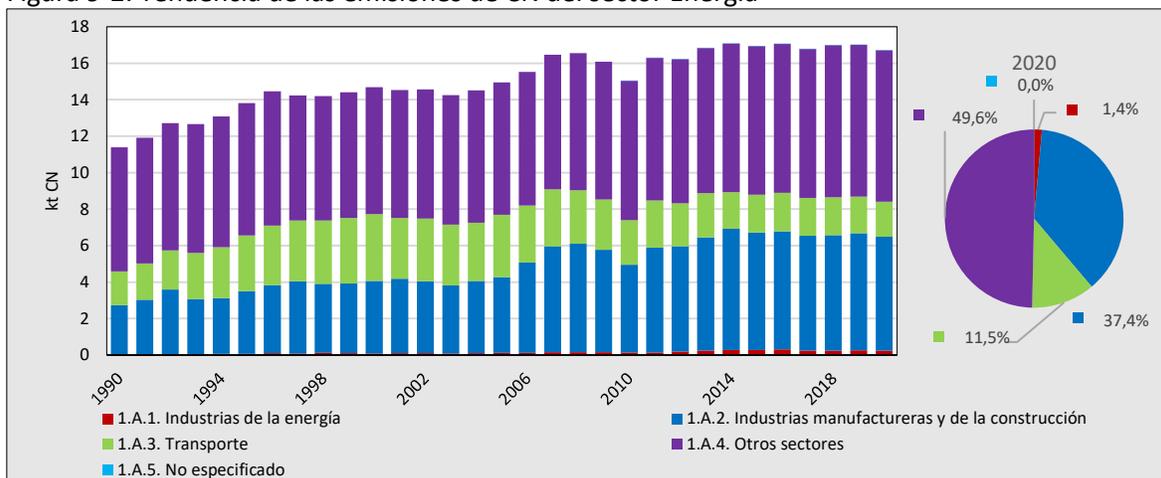
Tabla 9-2. INCN de Chile: emisiones de CN (kt) producto del sector Energía, serie 1990-2020

Sector	1990	2000	2010	2013	2016	2018	2020
1.A.1. Industrias de la energía	0,06	0,08	0,13	0,25	0,31	0,25	0,24
1.A.2. Industrias manufactureras y de la construcción	2,68	3,99	4,82	6,21	6,48	6,33	6,25
1.A.3. Transporte	1,85	3,65	2,44	2,41	2,10	2,08	1,92
1.A.4. Otros sectores	6,80	6,97	7,65	7,96	8,16	8,33	8,29
1.A.5. No especificado	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	11,38	14,68	15,03	16,83	17,05	16,98	16,70

Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA

Por otra parte, respecto de la participación sectorial en las emisiones de CN, en 2020 el 49,6 % de las emisiones provienen de la subcategoría Otros sectores (1.A.4), le sigue con un 37,4 % las emisiones corresponden a las Industrias manufactureras y de la construcción (1.A.2). Luego, con menor participación se encuentran las subcategorías de Transporte (1.A.3) e Industrias de la energía (1.A.1), con un 11,5 % y un 1,4 %, respectivamente. La subcategoría No especificado (1.A.5) tiene una participación marginal inferior al 1 %.

Figura 9-2. Tendencia de las emisiones de CN del sector Energía



Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA

9.2.2 Datos de actividad estadísticos y paramétricos

Los niveles de actividad considerados son los provenientes del INGEI, que a su vez provienen del Balance Nacional de Energía (BNE⁸⁵). El sector Energía presenta los niveles de actividad en consumos energéticos (TJ), por lo que, en algunos casos, es necesario 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 adecuados.

⁸⁵ <https://energia.gob.cl/pelp/balance-nacional-de-energia>

Tabla 9-3. 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: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

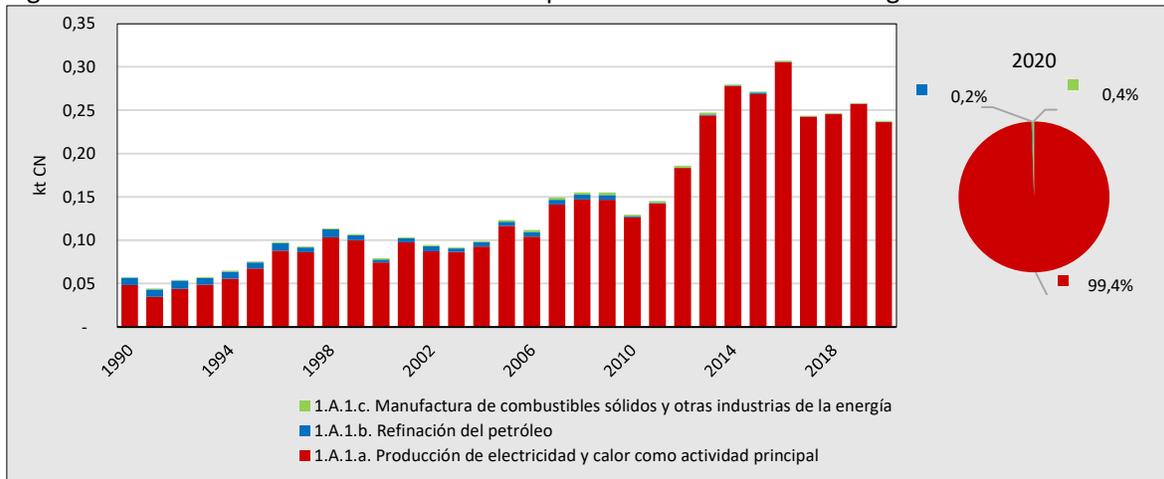
* kcal/m³

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

9.2.3.1 Tendencia de las emisiones de carbono negro

La primera categoría del sector Energía corresponde a la Industrias de la energía. Esta es la segunda categoría menos emisora de CN del sector. En 2020, las emisiones de esta categoría aportaron con el 1,4% de las emisiones del sector, alcanzando las 0,24 kt de CN, aumentando en un 317% respecto de 1990 y disminuyendo en un 4% respecto del 2018. 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

9.2.3.2 Aspectos metodológicos

La estimación de emisiones de la categoría Industrias de la energía fueron calculadas utilizando la siguiente ecuación.

Ecuación 9-1. Emisiones de CN producto de la quema de combustibles en Industrias de la energía

$$\sum E = NA_{i,j} * FE_{i,j}$$

Fuente: Basado en EMEP/EEA (2019)

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.

9.2.3.3 Factores de emisión

Para la estimación de emisiones de la categoría Industrias de la energía se utilizaron factores de emisión de nivel 1 de las Guías de elaboración de inventarios de EMEP/EEA del 2019⁸⁶. 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 refinación, en la cual se contó con un factor de emisión específico. A continuación, se presentan los factores de emisión por combustible utilizados

⁸⁶ <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2019>

en la categoría, como también la homologación, en relación con el tipo de combustible que se consideró en la estimación.

Tabla 9-4. 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 <i>gas oil</i>
	Otro queroseno	0,27	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factors (1.A.1.a, Table 3-6)	Como <i>gas oil</i>
	Gas / Diésel oil	0,27	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factors (1.A.1.a, Table 3-6)	Como <i>gas oil</i>
	Fuelóleo residual	1,08	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factors (1.A.1.a, Table 3-5)	Como <i>heavy fuel oil</i>
	Gases licuados de petróleo	0,02	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factors (1.A.1.a, Table 3-4)	Como <i>gaseous fuels</i>
	Nafta	0,27	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factors (1.A.1.a, Table 3-6)	Como <i>gas oil</i>
	Otro carbón bituminoso	0,07	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factors (1.A.1.a, Table 3-2)	Como <i>hard coal</i>
	Gas natural	0,02	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factors (1.A.1.a, Table 3-4)	Como <i>gaseous fuels</i>
	Madera y desechos de madera	4,39	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factors (1.A.1.a, Table 3-7)	Como <i>biomass</i>
	Otro biogás	0,02	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factors (1.A.1.a, Table 3-4)	Como <i>gaseous fuels</i>
	Coque de Petróleo	0,07	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factors (1.A.1.a, Table 3-2)	Como <i>hard coal</i>
	Gasolina para motor	0,27	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factors (1.A.1.a, Table 3-6)	Como <i>gas oil</i>
	Gas de refinería	0,16	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factors (1.A.1.b, Table 4-2)	Como <i>refinery gas</i>
	Gas de fábrica de gas	0,02	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factors (1.A.1.a, Table 3-4)	Como <i>gaseous fuels</i>
	Alquitrán	1,08	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factors (1.A.1.a, Table 3-5)	Como <i>heavy fuel oil</i>
	Gas de alto horno	0,02	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factors (1.A.1.a, Table 3-4)	Como <i>gaseous fuels</i>

Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA

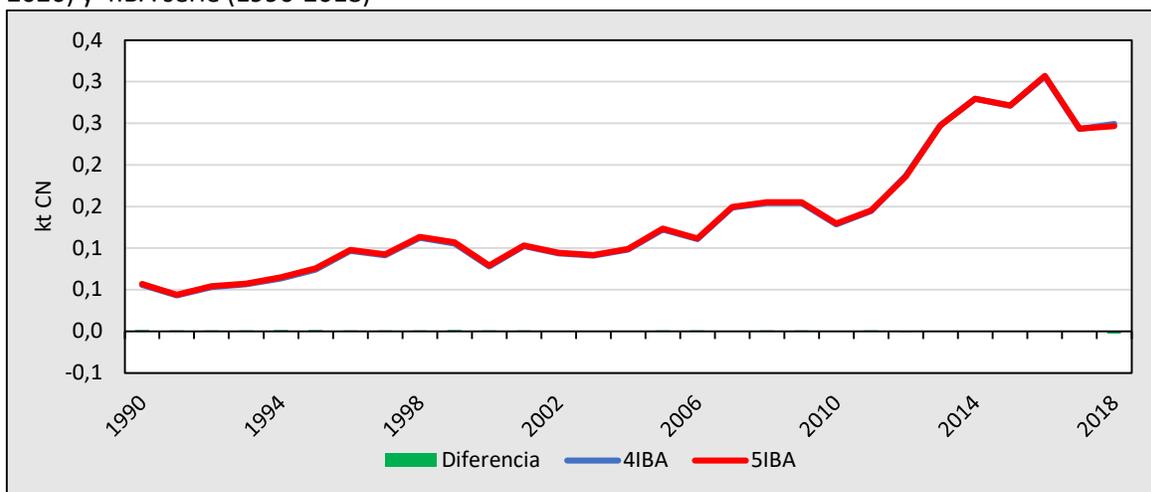
9.2.3.4 Procedimiento de garantía y control de la calidad y verificación

No se realizaron procesos de garantía y control de calidad ni de verificación.

9.2.3.5 Nuevos cálculos

Los nuevos cálculos de esta categoría corresponden a una asignación de las emisiones diferente del inventario anterior. Se reasignaron las emisiones producto de auto productores. En el inventario anterior (IBA4) estas emisiones fueron agrupadas dentro de esta categoría. Sin embargo, al ser una actividad de producida por las industrias, estas fueron agregadas a las otras categorías correspondientes. Los cambios en la serie histórica se pueden ver en la Figura 9-4.

Figura 9-4. Nuevos cálculos: comparación de la subcategoría en la estimación del 5IBA (serie 1990-2020) y 4IBA serie (1990-2018)



Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA

9.2.3.6 Plan de mejoramiento

Considerando la baja participación de esta categoría, no se consideraron planes de mejora.

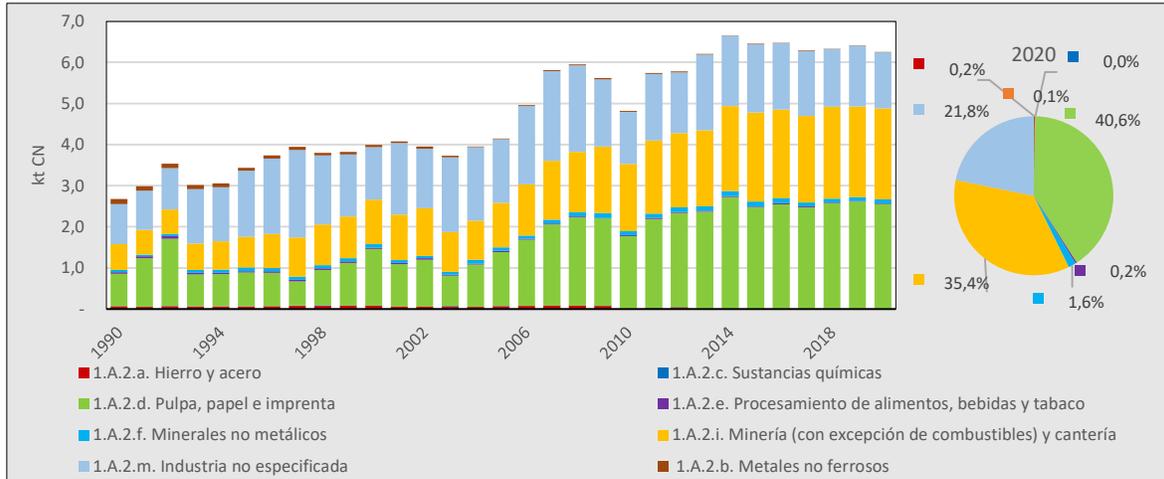
9.2.4 Industrias manufactureras y de la construcción (1.A.2)

9.2.4.1 Tendencia de las emisiones de carbono negro

En esta categoría se contabilizan las emisiones producto de la actividad industrial y minera, además, el INCN incluye las emisiones producto de las maquinarias utilizadas en estas actividades. Las emisiones provenientes de esta fuente se presentan 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 producto de autoproducción de energía considerando factores de emisión por generación de electricidad, es decir los presentados en la Tabla 9-4.

En 2020 las emisiones de esta categoría alcanzaron las 6,2 kt de CN, representando el 37,4% de las emisiones totales del sector Energía. Esto significó un aumento del 134 % respecto de 1990 y una disminución del 1 % respecto del 2018 (Figura 9-5). 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).

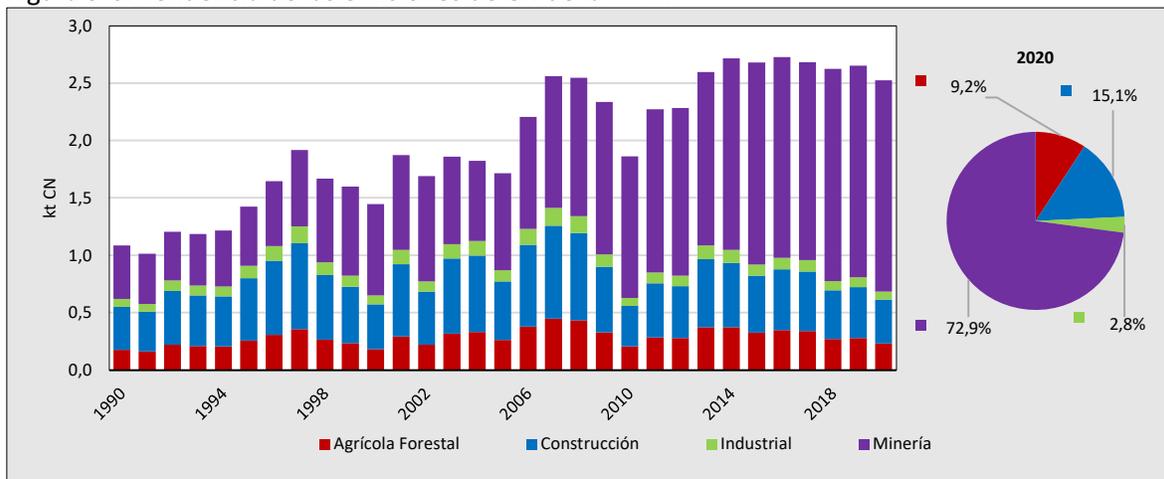
Figura 9-5. Tendencia de las emisiones de CN para las Industrias manufactureras y de la construcción.



Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA

En 2020 las emisiones provenientes de la MFR alcanzaron las 2,5 kt de CN, aportando con el 39,7 % de las emisiones la categoría Industrias manufactureras y de la construcción. Esto representó un aumento del 133 % respecto de 1990 y una disminución del 4 % respecto del 2018. Las emisiones producto de la MFR se presenta de acuerdo con las actividades industriales Agrícola-forestal, construcción, industria y minería (Figura 9-6), donde la mayoría de las emisiones son producto de las actividades mineras y de la construcción, 72,9 % y 15,1 %, respectivamente.

Figura 9-6. Tendencia de las emisiones de CN de la MFR.



Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA

9.2.4.2 Aspectos metodológicos

Industrias manufactureras y de la construcción

La estimación de emisiones de CN de la categoría Industrias manufactureras y de la construcción se realizó con base en 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. A continuación, se presenta la ecuación utilizada para la estimación de emisiones de la categoría.

Ecuación 9-2. Emisiones de CN producto de la quema de combustibles en Industrias manufactureras y de la construcción

$$\sum E = NA_{i,j} * FE_{i,j}$$

Fuente: Basado en EMEP/EEA (2019)

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

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 muestra los consumos por autoproducción que fueron considerados en el inventario.

Tabla 9-5. Consumos energéticos (TJ) por autoproducción según categoría INGEI, serie 1990 – 2020, parte 1 de 4

	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	1	43	17	2.352	31	-	313
1991	6	-	35	14	1.925	12	-	251
1992	5	-	39	14	2.126	9	-	245
1993	4	-	44	20	2.314	8	-	354
1994	5	4	57	14	2.914	10	-	255
1995	5	8	63	13	3.155	10	-	229
1996	4	8	34	11	1.646	9	-	199
1997	6	-	35	61	1.645	13	-	1.091
1998	7	-	38	14	1.727	13	-	259
1999	12	-	46	35	2.062	23	-	632
2000	-	-	-	-	1.389	-	-	-
2001	18	-	-	-	1.290	-	-	-
2002	44	22	-	-	1.053	-	-	-
2003	-	10	244	-	940	-	-	-
2004	0	-	-	164	826	-	-	-
2005	0	-	-	271	842	0	-	7.907
2006	0	-	-	86	793	-	-	3.401

	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
2007	-	-	-	3	800	-	-	855
2008	-	-	-	-	815	-	-	-
2009	12	-	-	-	764	0	-	-
2010	14	-	-	-	1.090	0	-	-
2011	-	-	-	-	112	17	-	2.157
2012	-	-	-	74	639	28	-	926
2013	-	-	-	65	359	23	-	520
2014	3	-	-	-	-	9	0	290
2015	-	-	-	143	0	12	-	255
2016	18	-	-	58	-	217	-	312
2017	7	-	-	-	-	214	-	231
2018	14	-	-	-	-	10	-	375
2019	18	-	-	-	-	17	-	1.366
2020	-	-	-	-	-	5	-	1.526

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGÍA

Valores igual a 0 representan valores menores a 0,5 Tj

Tabla 9-6. Consumos energéticos (TJ) por autoproducción según categoría INGEI, serie 1990 – 2020, parte 2 de 4

	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	169	-	210	4.800	-	1	-	25	368
1991	3.977	62	-	169	3.928	-	1	-	20	364
1992	6.714	49	-	164	4.446	-	0	-	23	360
1993	7.179	41	-	238	4.962	-	0	-	25	357
1994	7.840	51	-	171	6.409	-	0	-	33	353
1995	9.506	54	-	154	7.124	-	0	-	36	349
1996	11.531	46	-	133	3.817	-	0	-	20	318
1997	11.335	69	-	732	3.922	-	1	-	20	290
1998	15.791	70	-	174	4.237	-	1	-	22	318
1999	14.299	126	-	424	5.211	-	1	-	27	314
2000	12.094	19	-	12	1.803	-	-	-	-	275
2001	18.313	12	-	12	686	-	-	-	-	445
2002	16.547	10	-	12	583	-	-	-	-	475
2003	16.180	15	-	-	389	-	-	-	-	268
2004	17.467	36	2	-	432	10	-	-	-	329
2005	21.906	36	1	759	877	-	-	1	2	364
2006	19.376	122	4	323	867	-	-	-	-	315
2007	19.674	305	0	-	1.509	-	-	-	-	292
2008	20.590	84	5	30	1.810	-	-	-	0	191
2009	23.388	13	-	-	1.509	-	3	-	-	-
2010	19.997	15	-	-	2.011	-	4	-	-	-
2011	24.650	4	-	-	-	-	7	-	-	-
2012	25.072	170	6	35	3.874	-	7	-	-	-

	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
2013	26.083	62	32	161	2.530	-	7	-	2	-
2014	29.910	15	19	66	4.438	-	-	0	-	-
2015	19.059	80	52	638	2.806	-	-	-	-	-
2016	22.031	51	11	1.683	1.794	-	-	-	-	-
2017	25.995	22	-	3.510	-	-	-	-	-	-
2018	27.588	109	6	3.479	1.792	-	-	-	-	-
2019	25.864	114	3	2.183	1.818	-	-	-	91	-
2020	26.184	56	6	2.021	1.919	-	-	-	-	-

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

Valores igual a 0 representan valores menores a 0,5 Tj

Tabla 9-7. Consumos energéticos (TJ) por autoproducción según categoría INGEI, serie 1990 – 2020, parte 3 de 4

	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 o residual	Gas / Diésel oil	Fuelóleo residual	Gas / Diésel oil	Gas / Diésel oil	Fuelóleo residual	Gas / Diésel oil	Gas natural	Fuelóleo residual
1990	52	265	726	1.998	96	274	137	342	3	66
1991	19	217	267	1.635	35	101	112	126	3	54
1992	15	246	210	1.903	28	79	126	99	3	61
1993	13	274	175	2.182	23	66	141	82	4	68
1994	16	354	220	2.894	29	83	182	104	3	88
1995	17	394	231	3.301	31	87	203	109	3	97
1996	14	211	198	1.814	26	75	109	93	2	52
1997	21	217	294	1.910	39	111	112	139	12	54
1998	22	234	299	2.113	40	113	120	141	3	58
1999	39	288	539	2.660	72	203	148	254	7	71
2000	1	-	58	1.889	68	331	261	-	-	-
2001	1	-	74	1.743	74	97	261	-	-	-
2002	127	-	117	1.604	53	129	-	-	-	-
2003	115	-	40	1.351	42	130	-	-	-	-
2004	2	-	112	1.421	43	119	487	-	-	-
2005	7	-	54	1.322	43	116	-	19	-	-
2006	6	-	59	1.380	37	116	-	22	-	-
2007	2	-	103	1.712	36	128	-	22	-	-
2008	31	77	156	2.001	36	99	-	244	-	-
2009	20	354	240	2.061	38	256	-	346	56	-
2010	23	472	274	2.675	43	292	-	395	42	-
2011	16	549	351	350	102	-	-	656	-	-
2012	-	-	404	1.547	96	-	-	714	-	-
2013	10	-	481	1.210	85	-	-	848	-	3
2014	1	-	407	-	0	-	-	126	-	-
2015	1	-	235	0	21	-	-	466	-	-
2016	1	-	1.274	-	-	-	-	546	0	280

	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 o residual	Gas / Diésel oil	Fuelóleo residual	Gas / Diésel oil	Gas / Diésel oil	Fuelóleo residual	Gas / Diésel oil	Gas natural	Fuelóleo residual
2017	12	-	1.294	-	-	-	-	411	0	7
2018	-	23	1.243	-	-	-	-	167	0	4
2019	-	-	1.348	-	-	-	-	206	0	4
2020	0	22	1.844	-	-	-	-	336	0	-

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

Valores igual a 0 representan valores menores a 0,5 Tj

Tabla 9-8. Consumos energéticos (TJ) por autoproducción según categoría INGEI, serie 1990 – 2020, parte 4 de 4

	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	-	22	337
1991	-	403	-	18	276
1992	-	317	-	17	312
1993	-	264	-	25	348
1994	-	332	-	18	450
1995	-	348	-	16	500
1996	-	299	-	14	268
1997	-	443	-	77	275
1998	-	451	-	18	298
1999	-	813	-	45	366
2000	-	425	-	-	-
2001	-	347	-	-	-
2002	-	360	-	-	-
2003	-	336	-	-	-
2004	-	50	0	95	-
2005	-	149	-	195	-
2006	-	101	-	136	-
2007	-	25	-	-	-
2008	-	328	30	0	7
2009	-	338	-	-	74
2010	-	386	-	-	99
2011	-	2.304	-	55	11
2012	-	17.957	-	39	12
2013	-	1.491	-	62	0
2014	2.574	681	-	49	1.082
2015	802	794	7	1	420
2016	916	610	-	45	216
2017	1.432	841	-	86	218
2018	1.331	758	-	111	261
2019	1	424	-	134	8
2020	-	1.070	-	175	1

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

Valores igual a 0 representan valores menores a 0,5 Tj

De esta manera, considerando los consumos anteriores, los nuevos consumos vendrán dados por la siguiente ecuación.

Ecuación 9-3. Estimación de consumo final para las Industrias manufactureras y de la construcción

$$CF_i = CA_i - AP_i$$

Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA

Donde:

- CF: Consumo final (TJ).
- CA: Consumo antiguo (TJ).
- AP: Autoproducción (TJ).
- i: Combustible.

Maquinaria fuera de ruta (MFR)

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 – 2020, 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 tiene 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.”

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 – 2020. A continuación, se presenta el parque estimado según metodología GEASUR para el periodo 2013 – 2018, los años 2019 y 2020 fueron estimados en base al crecimiento de la serie anterior.

Tabla 9-9. Parque estimado (maquinarias) para la serie 2013 – 2020

Rubro	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Agrícola - Forestal	36.581	40.881	44.511	47.471	46.366	44.654	42.473	40.516
Construcción	39.109	40.813	42.660	44.969	47.268	49.382	50.929	52.354
Industrial	8.327	8.619	9.668	10.437	11.446	12.791	14.110	15.090

Minería	12.317	14.297	16.553	17.118	17.766	18.584	19.261	19.867
---------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

Fuente: División de Calidad del Aire MMA

Considerando la serie de 2013 – 2020 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	Porcentaje anual de combustible consumido (%)
0	14,0
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 Elaborado, en base a EMEP/EEA (2019) 1.A.4 (Table 3-3)

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

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

$$\sum E = NA * CE * Tec_i * FE$$

Fuente: Elaboración propia con base en EMEP/EEA (2019)

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

Por otro lado, 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

$$E = NA * FE$$

Fuente: Elaboración propia con base en EMEP/EEA (2019)

Donde:

- E: Emisiones de CN.
- NA: Nivel de actividad (TJ de diésel).
- FE: Factor de emisión (kg de CN/TJ de combustible).

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 - 2020

	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

	Hierro y acero	Sustancias químicas	Pulpa, papel e imprenta	Procesamiento de alimentos, bebidas y tabaco	Minerales no metálicos	Industria no especificada
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

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

Tabla 9-14. Consumos de diésel (TJ) por categoría minera destinados para MFR, serie 1990 - 2020

	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
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

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA

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 en base a 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 - 2020

	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

Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA

9.2.4.3 Factores de emisión

Para la estimación de emisiones de la categoría Industrias manufactureras y de la construcción se utilizaron factores de emisión Nivel 1 correspondientes a las guías de elaboración de inventarios de EMEP/EEA del 2019. A continuación, se presentan los factores utilizados.

Tabla 9-16. 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 <i>liquid fuels</i>
	Gas / Diésel oil	11,20	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.2, Table 3-4)	Como <i>liquid fuels</i>
	Fuelóleo residual	11,20	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor 1.A.2, Table 3-4)	Como <i>liquid fuels</i>
	Gases licuados de petróleo	0,03	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.2, Table 3-3)	Como <i>gaseous fuels</i>
	Otro carbón bituminoso	6,90	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.2, Table 3-2)	Como <i>solid fuels</i>
	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 <i>solid fuels</i>
	Gas de fábrica de gas	0,03	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.2, Table 3-3)	Como <i>gaseous fuels</i>
	Gas de alto horno	0,03	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.2, Table 3-3)	Como <i>gaseous fuels</i>
	Gas natural	0,03	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.2, Table 3-3)	Como <i>gaseous fuels</i>
	Madera y desechos de madera	39,20	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.2, Table 3-5)	Como <i>biomass</i>
	Gasolina para motor	11,20	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.2, Table 3-4)	Como <i>liquid fuels</i>
	Gas de refinería	0,03	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.2, Table 3-3)	Como <i>gaseous fuels</i>
	Otros productos del petróleo	11,20	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.2, Table 3-4)	Como <i>liquid fuels</i>
	Nafta	11,20	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.2, Table 3-4)	Como <i>liquid fuels</i>
	Queroseno para motor a reacción	11,20	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.2, Table 3-4)	Como <i>liquid fuels</i>
	Coque de Petróleo	11,20	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.2, Table 3-4)	Como <i>liquid fuels</i>
	Gasolina para la aviación	11,20	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.2, Table 3-4)	Como <i>liquid fuels</i>
Otro biogás	0,03	EMEP/EEA (2019) Tier 1 emission factor (1.A.2, Table 3-3)	Como <i>gaseous fuels</i>	

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 9-17. 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)

Categoría	Actividad	Tecnología	g (CN)/t (diésel)	Referencia
		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

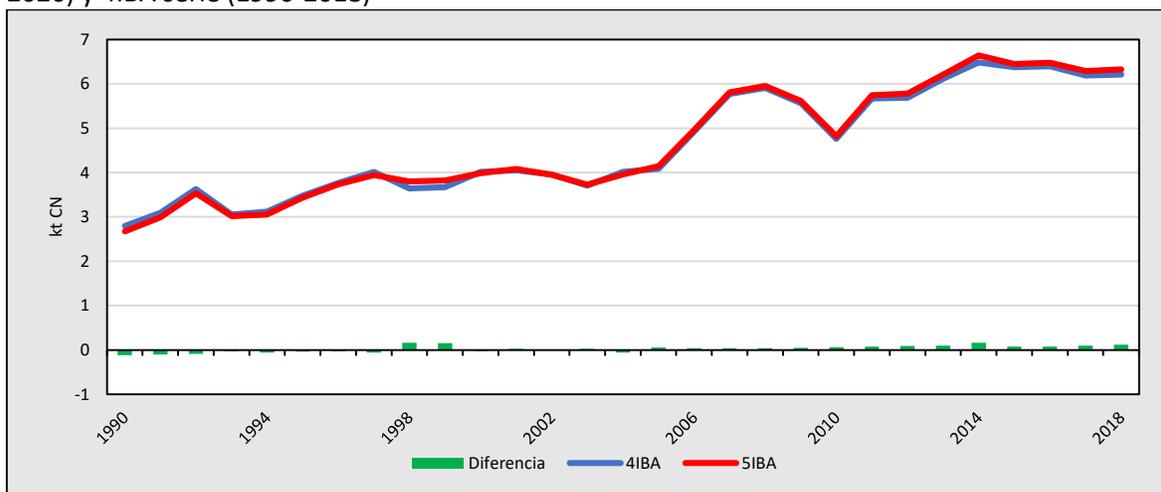
9.2.4.4 Procedimiento de garantía y control de la calidad y verificación

No se realizaron procesos de garantía y control de calidad ni de verificación.

9.2.4.5 Nuevos cálculos

En este inventario no se produjeron cambios metodológicos. Sin embargo, se evidencian cambios mínimos producto de algunos ajustes en los niveles de actividad considerados para las diferentes industrias. Los cambios en la serie histórica se pueden ver en la Figura 9-7.

Figura 9-7. Nuevos cálculos: comparación de la subcategoría en la estimación del 5IBA (serie 1990-2020) y 4IBA serie (1990-2018)



Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA

9.2.4.6 Plan de mejoramiento

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.

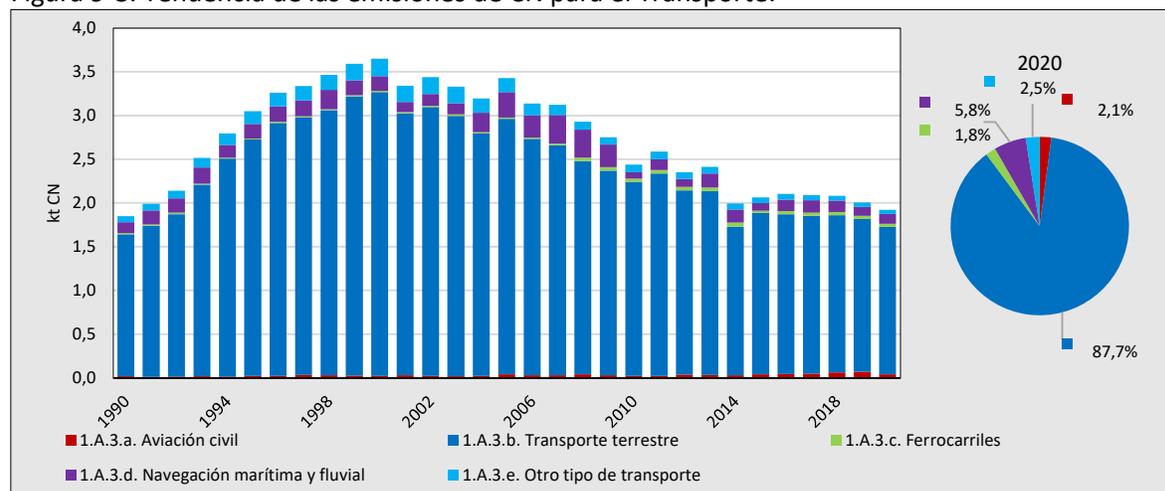
9.2.5 Transporte (1.A.3)

9.2.5.1 Tendencia de las emisiones de carbono negro

En este se contabilizan las emisiones producto del uso de combustibles en transportes terrestres, marítimos y aéreos, en estos últimos dos, solo se considera el transporte nacional. Las emisiones por transporte internacional son presentadas en las partidas informativas.

En 2020 las emisiones alcanzaron las 1,9 kt de CN, aumentando en 4% desde 1990 y disminuyendo en un 8% desde el 2018 (Figura 9-8). 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. La categoría Transporte es la tercera más importante en cuanto a las emisiones de CN del sector Energía, con un 11,5% de las emisiones en 2020.

Figura 9-8. 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.

9.2.5.2 Aspectos metodológicos

Para la estimación de emisiones de la categoría Transporte se consideraron varios factores que repercuten en las emisiones producto del uso de vehículos. Particularmente se contó con información para el Transporte terrestre, las demás categorías fueron estimadas con una metodología simple, debido los bajos consumos energéticos que estas 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 estas 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 visualizar las emisiones según diferentes normativas se contó con un parque vehicular para toda la serie y el calendario normas vehiculares oficial. Por su parte, el parque vehicular utilizados presentó la siguiente estructura.

Tabla 9-18. 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 9-19. 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 con base en BNE

De esta manera la estimación de emisiones del Transporte terrestre se considera todos los parámetros mencionados anteriormente, utilizando la siguiente ecuación.

Ecuación 9-6. Emisiones de CN producto de la quema de combustible en el Transporte terrestre

$$\sum E = NA_i * FC_i * Tec_i * FE_{i,j}$$

Fuente: Basado en EMEP/EEA (2019)

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

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 9-20. 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. 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

$$\sum E = NA_{i,j} * FE_{i,j}$$

Fuente: Basado en EMEP/EEA (2019)

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.

9.2.5.3 Factores de emisión

Para la estimación de emisiones de la categoría Transporte se consideraron diferentes factores de emisión según la metodología utilizada. Para el Transporte terrestre se consideraron los siguientes factores de emisión.

Tabla 9-21. 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 (Como coaches standar)
	Euro 1	0,362	65%	
	Euro 2	0,165	65%	
	Euro 3	0,178	70%	EMEP/EEA 1.A.3.b.i 2019 Table 3-92
	Euro 4	0,035	75%	
	Euro 5	0,035	75%	
Camiones	Sin norma	0,418	50%	EMEP/EEA 1.A.3.b.i 2019 Table 3-22 (Como 16t – 32t)
	Euro 1	0,297	65%	
	Euro 2	0,155	65%	
	Euro 3	0,130	70%	EMEP/EEA 1.A.3.b.i 2019 Table 3-92
	Euro 4	0,024	75%	
	Euro 5	0,024	75%	

Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA

Para el resto del transporte se consideraron los siguientes factores de emisión.

Tabla 9-22. 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)
	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.

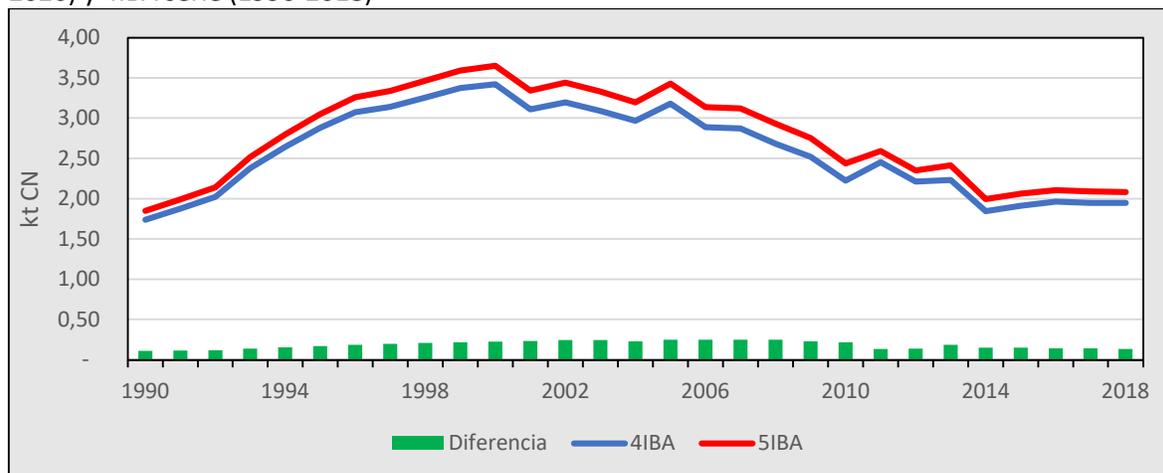
9.2.5.4 Procedimiento de garantía y control de la calidad y verificación

No se realizaron procesos de garantía y control de calidad ni de verificación.

9.2.5.5 Nuevos cálculos

En este inventario no se produjeron cambios metodológicos. Sin embargo, hay cambios en toda la serie debido a cambios en los niveles de actividad levantados en la elaboración del INGEI. Los cambios en la serie histórica se pueden ver en la Figura 9-9.

Figura 9-9. Nuevos cálculos: comparación de la subcategoría en la estimación del 5IBA (serie 1990-2020) y 4IBA serie (1990-2018)



Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA

9.2.5.6 Plan de mejoramiento

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.

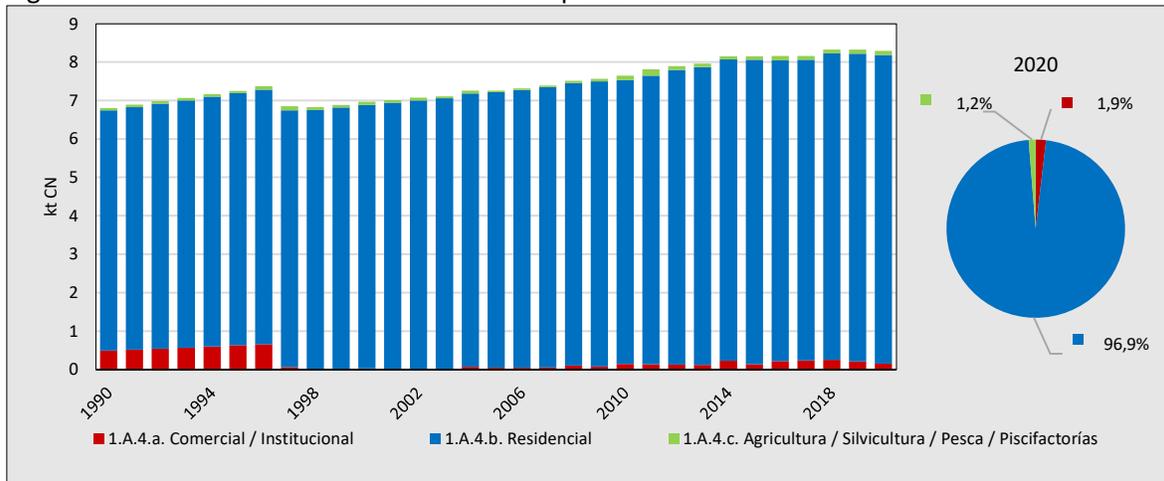
9.2.6 Otros sectores (1.A.4)

9.2.6.1 Tendencia de las emisiones de carbono negro

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.

Esta categoría es la más relevante en cuanto a las emisiones de CN, aportando con casi la mitad de las emisiones a nivel del sector Energía, alcanzando en 2020 las 8,3 kt de CN. Estos niveles representaron un aumento del 22% respecto de 1990 y una disminución del 0,4% respecto del 2018. En esta categoría se observa un crecimiento sostenido de las emisiones de CN, principalmente por el aumento de los niveles de actividad en términos de consumo de biomasa. Sin embargo, en la serie se observa una baja significativa en el año 1997, debido principalmente a la disminución del uso de biomasa en la categoría 1.A.4.a. Comercial / Institucional. La disminución en el uso de biomasa se puede verificar en los niveles de actividad levantados en el sector Energía.

Figura 9-10. Tendencia de las emisiones de CN para Otros sectores.



Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA

9.2.6.2 Aspectos metodológicos

La estimación de emisiones de esta categoría se realizó considerando un nivel de actividad y un factor de emisión, diferenciando 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

$$\sum E = NA_{i,j} * FE_{i,j}$$

Fuente: Basado en EMEP/EEA (2019)

Donde:

- E: Emisiones de CN.
- NA: Consumo de combustible (TJ).
- FE: Factor de emisión (kg de CN/TJ).
- i: Actividad.
- j: Combustible.

Por otro lado, 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 9-23.

Tabla 9-23 Consumos energéticos (TJ) según categoría INGEL, serie 1990 – 2020

	1.A.4.c.iii. Pesca (combustión móvil)	
	Gas / Diésel oil	Fuelóleo residual
1990	382	0
1991	141	0
1992	111	0
1993	92	0
1994	116	0
1995	122	0
1996	104	0
1997	155	0
1998	158	0
1999	284	0
2000	235	-
2001	189	-
2002	218	-
2003	113	-
2004	186	-
2005	221	-
2006	102	-
2007	19	-
2008	356	-
2009	211	-
2010	241	-
2011	142	0
2012	289	-
2013	179	-
2014	119	-
2015	105	-
2016	141	-
2017	113	-
2018	32	-
2019	61	-
2020	23	-

Fuente: Equipo Técnico de Energía del MINENERGIA
Valores igual a 0 representan valores menores a 0,5 Tj

9.2.6.3 Factores de emisión

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 9-24. 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
	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)	

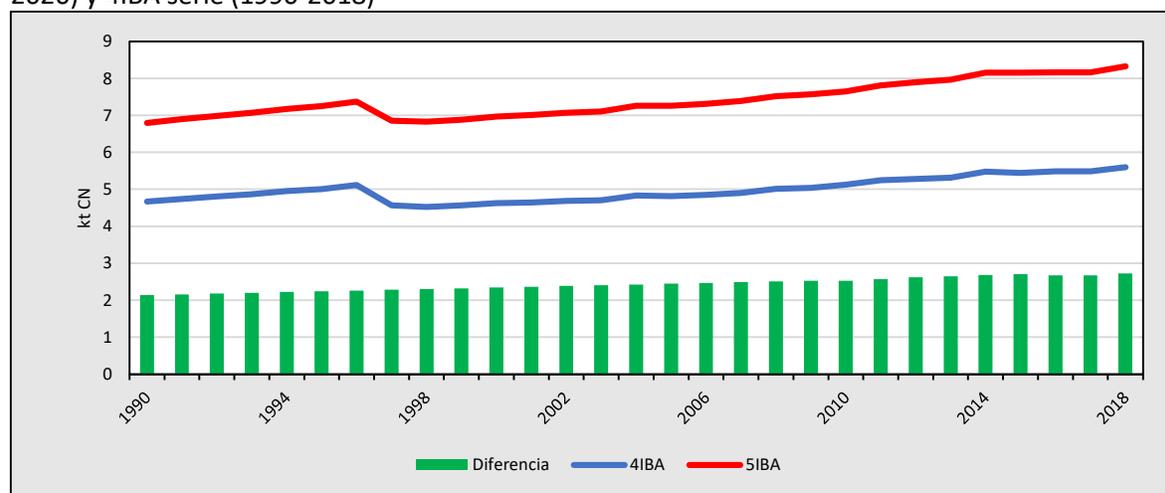
9.2.6.4 Procedimiento de garantía y control de la calidad y verificación

No se realizaron procesos de garantía y control de calidad ni de verificación.

9.2.6.5 Nuevos cálculos

Para este inventario se consideró un nuevo factor de emisión para la quema de leña residencial, promedio nacional proveniente de un inventario para contaminantes del aire. El factor adoptado por dicho inventario considera la evaluación de diferentes factores que permiten obtener una estimación más precisa, lo que supone una mejora al usarlo en esta estimación. El factor de emisión utilizado en esta actualización es mayor al anterior, lo que queda en evidencia al contrastar las emisiones de ambos inventarios (Figura 9-11).

Figura 9-11. Nuevos cálculos: comparación de la subcategoría en la estimación del 5IBA (serie 1990-2020) y 4IBA serie (1990-2018)



Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA

9.2.6.6 Plan de mejoramiento

Para esta categoría se considera necesario trabajar en las siguientes mejoras en los próximos inventarios.

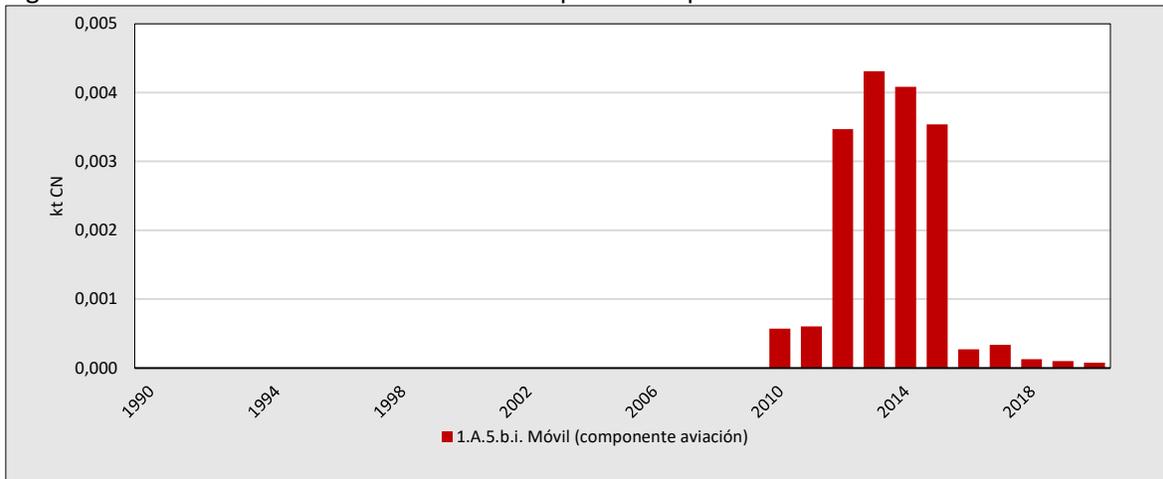
- Verificar niveles de actividad contra otras fuentes.
- Compara emisiones con otras fuentes de información.
- Evaluar la factibilidad de estimar las emisiones de la categoría residencial con un nivel de estimación más alto.

9.2.7 No especificado (1.A.5)

9.2.7.1 Tendencia de las emisiones de carbono negro

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 0,1% del total de las emisiones del sector Energía, en donde solo se cuentan con datos desde el 2010 al 2020. 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.

Figura 9-12. Tendencia de las emisiones de CN para No especificado.

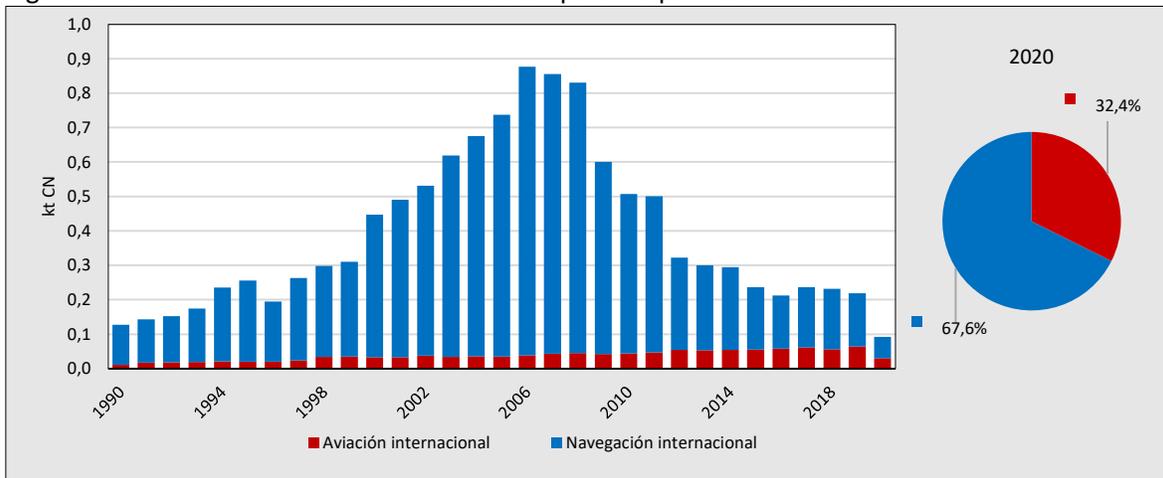


Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA

9.2.8 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 2020, las emisiones alcanzan las 0,1 kt de CN, lo que representó una disminución del 60% respecto de 1990 y una disminución del 27% respecto del 2018.

Figura 9-13. 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, en otras palabras, se consideró un nivel de actividad y un factor de emisión por combustible. A continuación, se presenta la ecuación utilizada para estimar las emisiones.

Ecuación 9-9. Emisiones de CN producto de la quema de combustible en las partidas informativas

$$E = NA * FE_i$$

Fuente: Basado en EMEP/EEA (2019)

Donde:

- E: Emisiones de CN.
- NA: Nivel de actividad (TJ).
- FE: Factor de emisión (kg de CN/TJ).
- i: Combustible.

Los consumos de las partidas informativas solo corresponden a consumos de tres combustibles. A continuación, se presentan los factores de emisión utilizados.

Tabla 9-25. 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)

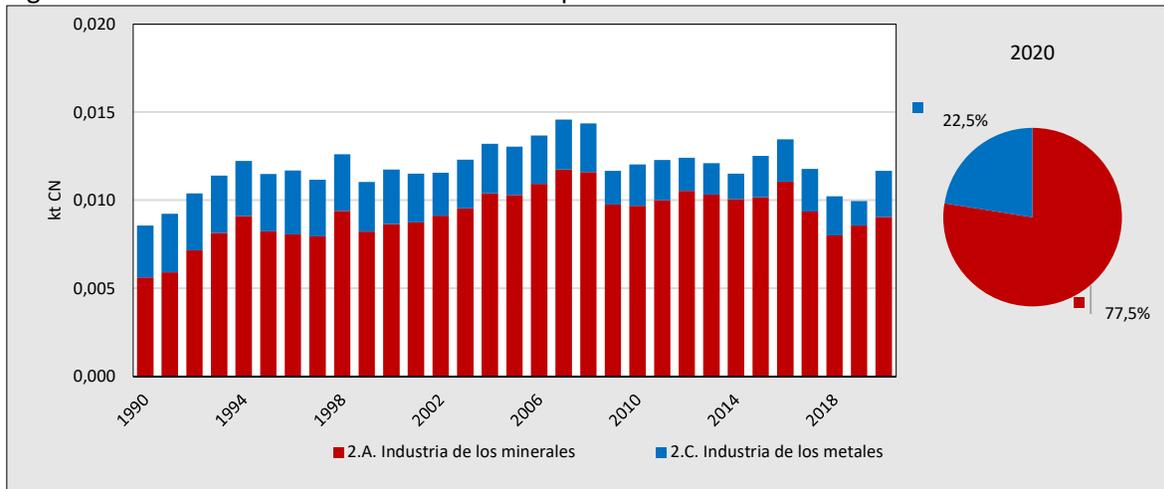
Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA

9.3 Sector procesos industriales y uso de productos (2)

9.3.1 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 0,1% de las emisiones en 2020, alcanzando las 0,01 kt de CN. Esto representó un aumento del 36 % respecto de 1990 y una disminución del 14% respecto del 2018 (Figura 9-14). Respecto de la partición de emisiones en 2020 se tiene que un 77,5 % de las emisiones provienen de la categoría Industria de los minerales (2.A) y el 22,5 % restante de la categoría Industria de los metales (2.C).

Figura 9-14. Tendencia de las emisiones de CN para IPPU.



Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA

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 2020. Estos niveles de CN representaron un aumento del 61% respecto de 1990 y una disminución del 13% respecto del 2018. Las emisiones contabilizadas en esta categoría corresponden a las actividades de producción de cemento, de cal y de vidrio.

Industria de los metales (2.C)

La categoría Industria de los metales es segunda y última categoría del sector IPPU. Las emisiones alcanzaron las 0,003 kt de CN en 2020, lo que representó una disminución del 10% respecto de 1990 y un aumento 19% respecto del 2018. 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.

9.3.2 Aspectos metodológicos

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

$$\sum E = NA_i * FE_i$$

Fuente: Basado en EMEP/EEA (2019)

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

9.3.3 Factores de emisión

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

9.3.4 Procedimiento de garantía y control de la calidad y verificación

No se realizaron procesos de garantía y control de calidad ni de verificación.

9.3.5 Nuevos cálculos

No se realizaron cambios metodológicos en la estimación. Sin embargo, existen diferencias entre ambas series. Las diferencias se deben a cambios en los niveles de actividad que no generaron diferencias sustantivas ni cambios en la tendencia. Por lo último, no se muestran los resultados de los nuevos cálculos.

9.3.6 Plan de mejoramiento

Considerando la baja participación de este sector, no se consideraron planes de mejora.

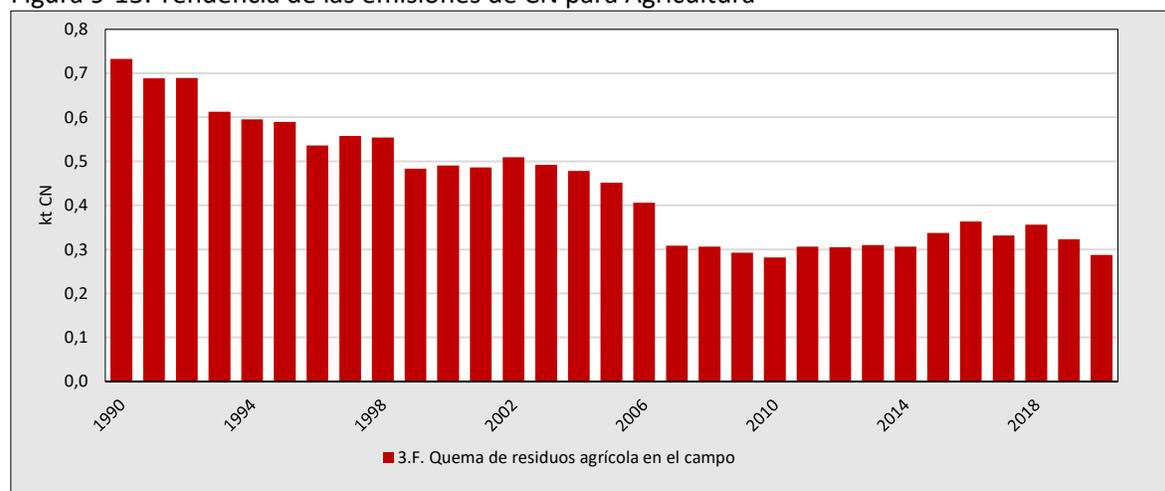
9.4 Sector Agricultura (3)

9.4.1 Tendencia de las emisiones de carbono negro

El sector Agricultura es el cuarto sector más importante en cuanto a emisiones de CN, con el 1,5% de las emisiones en 2020. En el mismo año, las emisiones de CN llegaron a las 0,29 kt, lo que

representó una disminución del 61% respecto de 1990 y un 19% respecto del 2018 (Figura 9-15). Estas disminuciones se repiten durante toda la serie, donde se observa una baja constante durante toda la serie. Por otra parte, las emisiones de CN de este sector provienen únicamente de la categoría Quema de residuos agrícola en el campo.

Figura 9-15. Tendencia de las emisiones de CN para Agricultura



Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA

Quema de residuos agrícola en el campo (3.F)

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, desde 0,73 kt de CN en 1990 hasta 0,29 kt de CN en 2020. 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). Para la estimación de estas categorías se utilizó el mismo factor de emisión, por lo que las emisiones totales fueron agrupadas bajo la categoría 3.F.

9.4.2 Aspectos metodológicos

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

$$E = MS * FE$$

Fuente: Basado en EMEP/EEA (2019)

Donde:

- E: Emisiones de CN.

- MS: Materia seca quemada.
- FE: Factor de emisión (kg de CN/t MS).

9.4.3 Factores de emisión

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

9.4.4 Procedimiento de garantía y control de la calidad y verificación

No se realizaron procesos de garantía y control de calidad ni de verificación.

9.4.5 Nuevos cálculos

No se realizaron cambios metodológicos en la estimación. Sin embargo, existen diferencias entre ambas series. Las diferencias se deben a cambios en los niveles de actividad que no generaron diferencias sustantivas ni cambios en la tendencia. Por lo último, no se muestran los resultados de los nuevos cálculos.

9.4.6 Plan de mejoramiento

No se consideraron mejoras para este sector.

9.5 Sector Uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura (4)

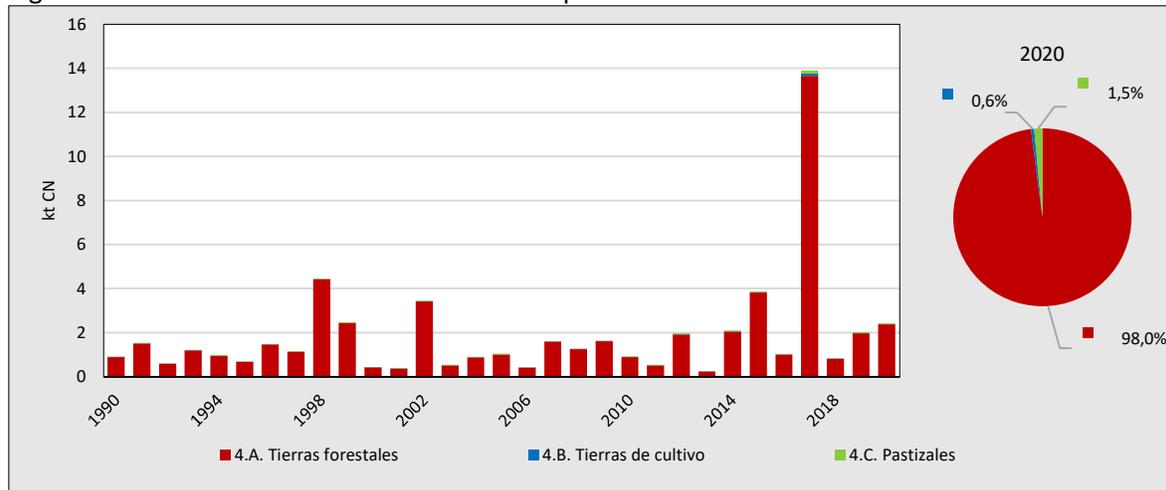
9.5.1 Tendencia de las emisiones de carbono negro

El sector 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 2020 representaron el 12,3% de las emisiones nacionales, con 2,4 kt de CN, aumentando en 168% respecto de 1990 y aumentando en un 188% respecto del 2018.

Por otra parte, observando la serie no se puede ver una tendencia clara de las emisiones, debido a que los eventos de incendios forestales no son controlados, también resaltan los años 1998, 1999, 2002, 2015 y 2017 en que las emisiones de CN superaron las 2 kt, especialmente en 2017, en donde

cerca de 570.000 ha fueron afectadas por incendios que, en términos de emisiones, se tradujo en 13,9 kt de CN.

Figura 9-16. Tendencia de las emisiones de CN para UTCUTS.



Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA

Tierras forestales (4.A)

Las emisiones correspondientes a Tierras forestales representan más del 98% de las emisiones durante toda la serie, las emisiones contabilizadas en esta categoría corresponden a incendios y quemas controladas, 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 2020, las emisiones alcanzaron las 2,4 kt de CN, lo que representó un aumento de un 167% respecto de 1990 y un aumento del 191% con respecto al 2018.

Cabe destacar que, en 2017, las emisiones de esta categoría alcanzan las 13,9 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.

Tierras de cultivo (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 2020, las emisiones de esta categoría representaron un 0,6% de las emisiones del sector, con 0,01 kt de CN, lo que representó un aumento del 484% con respecto a 1990 y un aumento del 256% respecto del 2018. Por otra parte, en 2017 las emisiones de esta categoría alcanzan su máximo con 0,11 kt de CN.

Pastizales (4.C)

La categoría Pastizales es la segunda mayor emisora del sector, con un 1,5% de las emisiones al 2020. En el mismo año, las emisiones alcanzaron las 0,04 kt de CN, lo que representó un aumento del 184% respecto de 1990 y un aumento del 55% respecto del 2018. En 2017 las emisiones de CN alcanzan su máximo, con 0,14 kt.

9.5.2 Aspectos metodológicos

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

$$\sum E = NA_i * BA_i * FC_i * FE_i$$

Fuente: Basado en EMEP/EEA (2019)

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.

9.5.3 Factores de emisión

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 solo 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.

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
4.B. Tierras de cultivo	Incendios en tierras de cultivo	0,7	0,7	0,75	INGEI	Akagi et al. 2011
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

9.5.4 Procedimiento de garantía y control de la calidad y verificación

No se realizaron procesos de garantía y control de calidad ni de verificación.

9.5.5 Nuevos cálculos

No se realizaron cambios metodológicos en la estimación. Sin embargo, existen diferencias entre ambas series. Las diferencias se deben a cambios en los niveles de actividad que no generaron diferencias sustantivas ni cambios en la tendencia. Por lo último, no se muestran los resultados de los nuevos cálculos.

9.5.6 Plan de mejoramiento

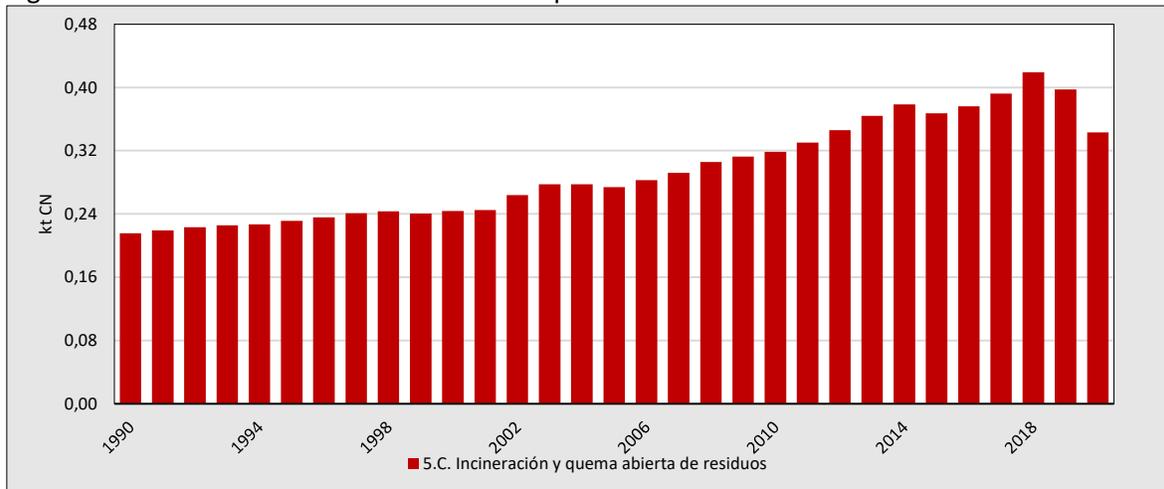
No se consideraron mejoras para este sector.

9.6 Sector Residuos (5)

9.6.1 Tendencia de las emisiones de carbono negro

Las emisiones de CN del sector Residuos provienen únicamente de la incineración de residuos, las que en 2020 correspondieron al 1,7% de las emisiones nacionales de CN, alcanzando las 0,34 kt de CN, incrementándose en un 59% desde 1990 y disminuyendo en un 18% desde 2018. Estos aumentos se deben mayormente al incremento de población que impacta en la cantidad de residuos incinerados.

Figura 9-17 Tendencia de las emisiones de CN para Residuos.



Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA

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, mientras que el 57 % restante solo se descompone. Estas fracciones corresponden a que se asume que un 57 % de los residuos corresponde a materia orgánica y 43 % a materia no orgánica.

9.6.2 Aspectos metodológicos

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

$$\sum E = NA_i * FE_i$$

Fuente: Basado en EMEP/EEA (2019)

Donde:

- E: Emisiones de CN.
- NA: Nivel de actividad (toneladas de residuos).
- FE: Factor de emisión (kg de CN/t de residuos).
- i: Actividad.

9.6.3 Factores de emisión

Para la estimación de emisiones de CN se considera la fracción de este 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 9-29. 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 Suspensas (TSP, por su sigla en inglés)

9.6.4 Procedimiento de garantía y control de la calidad y verificación

No se realizaron procesos de garantía y control de calidad ni de verificación.

9.6.5 Nuevos cálculos

No se realizaron cambios metodológicos en la estimación, por lo que no muestran nuevos cálculos. Sin embargo, existen diferencias entre ambas series. Las diferencias se deben a cambios en los niveles de actividad que no generaron diferencias sustantivas ni cambios en la tendencia. Por lo último, no se muestran los resultados de los nuevos cálculos.

9.6.6 Plan de mejoramiento

No se consideraron mejoras en este sector.

9.7 Nuevos cálculos

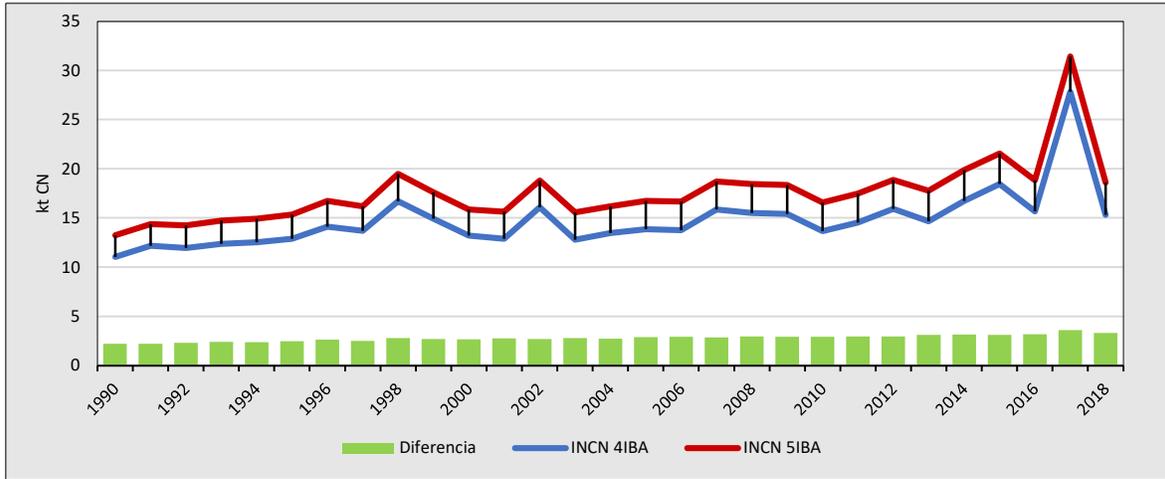
En esta actualización no se aplicaron cambios en la metodología de estimación, la mayoría de los cambios en las emisiones totales proviene de cambios en los niveles de actividad. Sin embargo, se consideró otro factor de emisión para una de las principales fuentes de CN en Chile. Se cambió el factor de emisión para CN proveniente de la quema de leña en los hogares como método de calefacción. Este cambio fue realizado considerando que este factor de emisión local representa mejor las emisiones provenientes de la quema de leña. La elección de un nuevo factor de emisión tiene impacto en toda la serie temporal, con un delta de emisiones que varía entre 2,2 y 3,6 kt CN al año (Tabla 9-30 y Figura 9-18). Estas diferencias son mínimas en los primeros años de la serie y máximas al final, respondiendo principalmente al aumento en el consumo de leña.

Tabla 9-30 Nuevos cálculos: Comparación de las emisiones de CN (kt) del INCN 5IBA (serie 1990-2020) e INCN 4IBA (serie 1990-2018)

INGEI	1990	2000	2010	2013	2016	2019	2020
INCN 4IBA	11,05	13,20	13,65	14,64	15,66	-	-
INCN 5IBA	13,25	15,86	16,56	17,77	18,84	19,74	19,77
Diferencia	2,20	2,66	2,91	3,12	3,17	-	-

Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA

Figura 9-18. Nuevos cálculos: comparación de INCN 5IBA (serie 1990-2020) e INCN 4IBA serie (1990-2018)



Fuente: Equipo Técnico Coordinador del MMA

10 INVENTARIOS REGIONALES

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 social. Estas diferencias se traducen en factores importantes e influyentes en las emisiones locales o regionales. Los inventarios regionales de Chile, tanto para gases de efecto invernadero (IRGEI) como para carbono negro (IRCN), contabilizan las emisiones nacionales del país distribuidas en las distintas regiones políticas de Chile. Los inventarios regionales dan una mirada territorial de las emisiones estimadas a nivel nacional, esto a través de los perfiles o series de tiempo históricas de emisiones de GEI y CN. Los inventarios regionales toman como base los resultados obtenidos de la estimación nacional de GEI y CN, y distribuyen los resultados, en algunos casos, según distintos indicadores de intensidad o *proxys* que tengan relación con la categoría emisora. Considerando esto, los niveles de actividad y estimación de emisiones de los inventarios regionales son los mismos que se utilizan para la estimación nacional de GEI y CN, en otras palabras, los inventarios regionales no presentan una estimación de emisiones nueva, sino una distribución de la estimación realizada a nivel nacional considerando las mismas categorías de ésta.

10.2 Aspectos metodológicos

Los inventarios regionales elaborados por el Ministerio del Medio Ambiente son una mirada regional de las emisiones y absorciones estimadas a nivel nacional. Esto es, por una parte, la distribución de las estimaciones con bases de datos nacionales y, por otra parte, la asignación de GEI según la fuente de emisión o sumidero de absorción. Por esto último, es importante notar que los inventarios regionales tienen un enfoque similar al 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)⁸⁷.

Como se menciona anteriormente, los inventarios no presentan nuevas estimaciones de emisiones o absorciones, sino que presentan una distribución de las estimaciones previas. Esta distribución 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 esos 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.

⁸⁷<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.
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 del MMA

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 Industrias de la Energía (1.A.1)

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/balance-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

Fuente: Equipo técnico coordinador del MMA

Tabla 10-3. Indicadores. Industrias manufactureras y de la construcción (1.A.2)

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 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

Fuente: Equipo técnico coordinador del MMA

Tabla 10-4. Indicadores Transporte (1.A.3)

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?mf_n=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?mf_n=3236

Fuente: Equipo técnico coordinador del MMA

Tabla 10-5. Indicadores Otros sectores (1.A.4)

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

Fuente: Equipo técnico coordinador del MMA

Tabla 10-6. Indicadores Emisiones fugitivas (1.B)

Código IPCC	Categorías	Indicador	Fuentes
1.B.1.	Combustibles sólidos	Extracción de carbón por región	Anuarios Cochilco https://www.cochilco.cl/Paginas/Estadisticas/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

Fuente: Equipo técnico coordinador del MMA

Tabla 10-7. Indicadores Industria de los minerales (2.A)

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

Fuente: Equipo técnico coordinador del MMA

Tabla 10-8. Indicadores Industria química (2.B)

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

Fuente: Equipo técnico coordinador del MMA

Tabla 10-9. Indicadores Industria de los metales (2.C)

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

Fuente: Equipo técnico coordinador del MMA

Tabla 10-10. Indicadores Productos no energéticos de combustibles y uso de solventes (2.D)

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

Fuente: Equipo técnico coordinador del MMA

Tabla 10-11. Indicadores Uso de productos sustitutos de las sustancias que agotan la capa de ozono (2.F)

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

Fuente: Equipo técnico coordinador del MMA

Tabla 10-12. Indicadores Manufactura y utilización de otros productos (2.G)

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

Fuente: Equipo técnico coordinador del MMA

10.3 Tendencia de emisiones y absorciones por tipo de GEI y CN

10.3.1 Gases de efecto invernadero

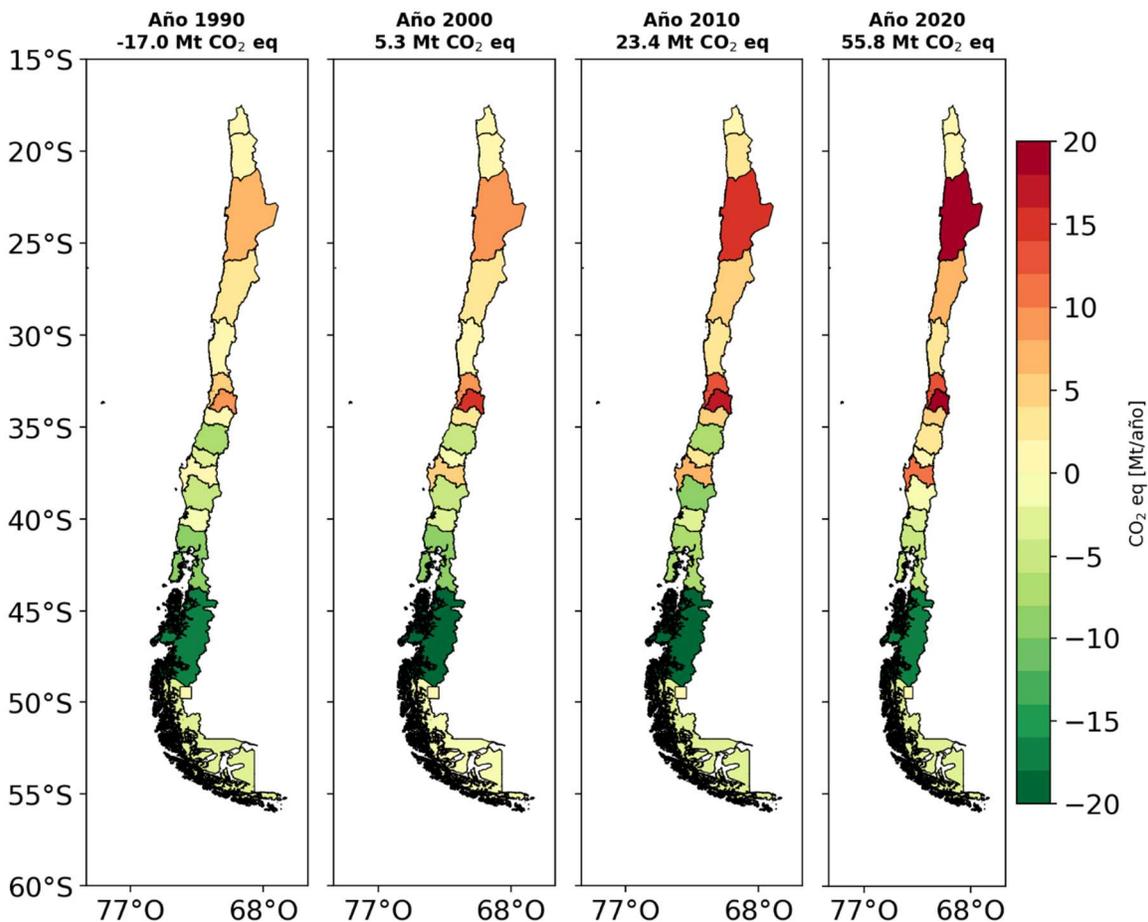
Las tendencias de las emisiones y absorciones para el periodo de tiempo 1990–2020 muestran un aumento en las emisiones de GEI a nivel nacional producto de un incremento sostenido en las emisiones en la zona norte de Chile y una pequeña reducción de las absorciones en la zona sur del país. La distribución de estas emisiones se realiza considerando la ubicación de las fuentes emisoras y no considera cadenas de producción o demandas energéticas, por lo que las características geográficas de cada región tienen influencia en las emisiones asignadas.

En Chile las emisiones de GEI responden, en primer orden, a la cantidad de combustible consumido y en segundo orden, a las absorciones generadas por plantaciones y otros tipos de suelo. En Chile, gran parte de las emisiones proviene del consumo de combustibles fósiles para la generación de energía eléctrica, por lo que las regiones que cuentan con centrales generadoras son las más

emisoras bajo esta regionalización, como lo son el caso de la Región de Antofagasta, de Valparaíso y del Biobío. Dentro de las mayores emisoras también se encuentra la Región Metropolitana, donde habita una gran cantidad de personas responsables de las emisiones relacionadas principalmente con transporte terrestre y residuos. Por otra parte, las absorciones de Chile se deben a la categoría UTCUTS. Las plantaciones contabilizadas en Chile se ubican en su gran mayoría al sur del país, en donde habita una menor cantidad de personas y se desarrollan mayormente actividades de carácter agrícola. Estas características resultan en mayor participación del sector Agricultura en las emisiones regionales, pero también en absorciones netas considerando la gran participación del sector UTCUTS. Todos estos resultados son presentados en la Figura 10-1.

Es importante destacar que las emisiones están relacionadas mayoritariamente con la fuente emisora más que con el responsable de las emisiones, en otras palabras, las emisiones por generación y absorciones generadas por plantaciones responden a otros factores que no se relacionan directamente con las actividades de la región misma, por lo que es un factor importante para considerar al momento de definir regiones que emiten u 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 y 2020



Fuente: Equipo técnico coordinador

Respecto de los cambios de las emisiones a lo largo de la serie temporal se observa que ha habido un crecimiento sostenido de las emisiones respecto del año 1990. Esto es más evidente en las regiones norte del país, en donde la generación de electricidad destaca como principal fuente emisora. Por otra parte, la falta de sumideros es un factor importante en el balance de emisiones regionales. En el sur del país las emisiones tienden a crecer menos que en el resto de las regiones, salvo en las regiones que cuentan con plantas generadoras de electricidad. En la Tabla 10-13 se presentan los cambios en los balances de emisiones para cada región. Los perfiles de emisiones y absorciones sectoriales por región se presentan en el Anexo 11.12.

Tabla 10-13. Cambio de los balances de emisiones de CO₂ eq al año 2020 respecto de los años 1990, 2000, 2010 y 2018

Región	1990 - 2020	2000 - 2020	2010 - 2020	2018 - 2020
Arica y Parinacota	79%	31%	26%	-13%
Tarapacá	269%	-14%	-33%	1%
Antofagasta	216%	122%	33%	5%
Atacama	183%	119%	17%	-7%
Coquimbo	123%	34%	11%	0%
Valparaíso	120%	36%	-2%	-7%
Metropolitana	157%	44%	20%	-6%
O'Higgins	196%	38%	-20%	13%
Maule	139%	141%	137%	120%
Ñuble	136%	216%	-67%	-69%
Biobío	493%	122%	55%	-18%
Araucanía	85%	85%	92%	56%
Los Ríos	-44%	-2%	39%	48%
Los Lagos	51%	47%	37%	2%
Aysén	1%	5%	6%	0%
Magallanes	-61%	-82%	-34%	-5%

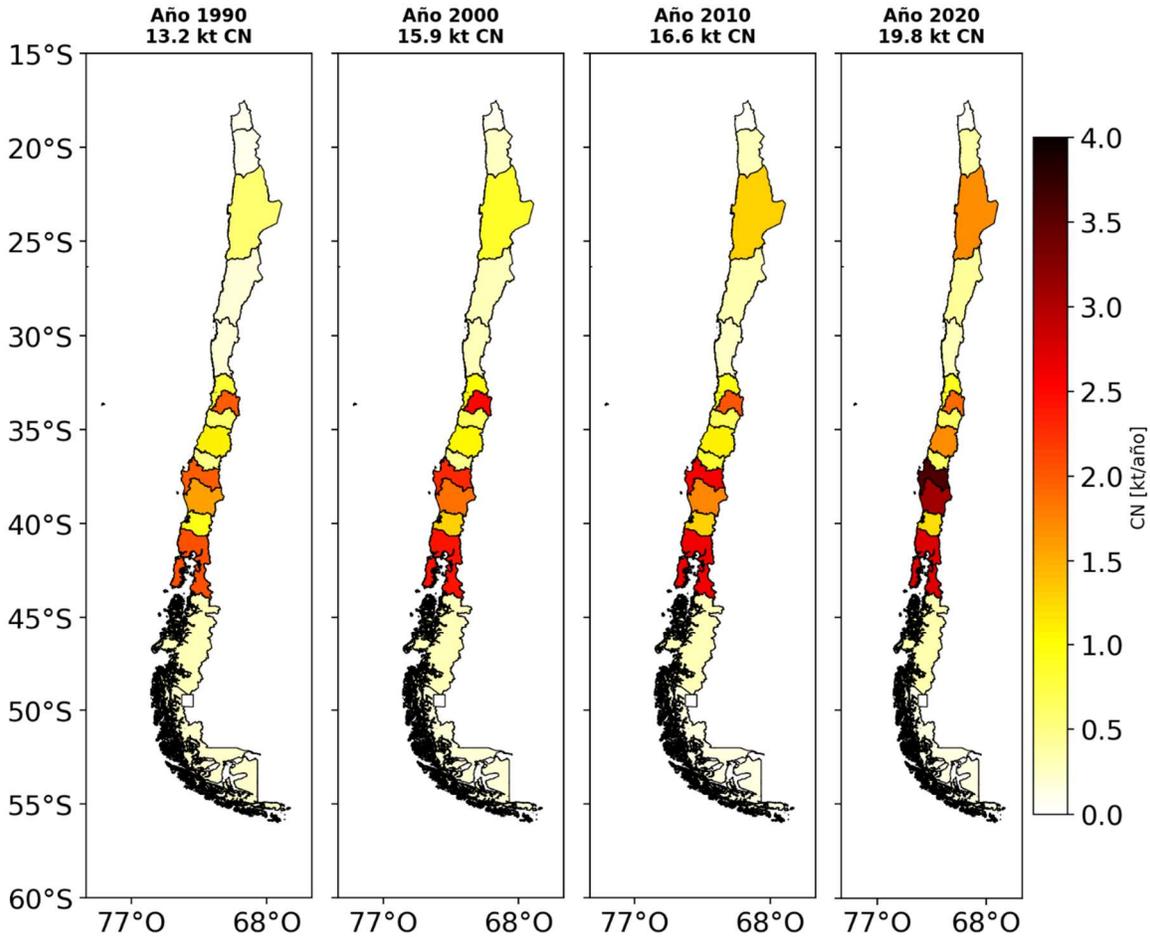
Fuente: Equipo técnico coordinador

Valores igual a 0 equivalen a valores positivos inferiores a 0,5

10.3.2 Carbono negro

La tendencia de las emisiones de CN a lo largo del país, para el periodo 1990 – 2020, muestra un crecimiento sustantivo en la mayoría de las regiones. Este comportamiento guarda relación con las actividades y características de cada región. Por una parte, en las regiones que presentan una mayor actividad minera, las emisiones de CN presentan un gran crecimiento (Región de Antofagasta), esto debido a las emisiones por maquinarias en las faenas mineras. Por otro lado, en el sur del país se evidencian altos niveles de emisiones, producto de la quema de leña en los hogares como medio de calefacción. Otro factor importante para las emisiones de CN son los incendios forestales. Estos fenómenos afectan principalmente la zona centro sur del país, lo que contribuye a que las regiones dentro de esta zona posean mayores emisiones que las demás regiones. También se observa que la Región Metropolitana contribuye de manera importante a las emisiones, esto se condice con las diferentes actividades que se desarrollan en esta región que contribuyen de manera sustantiva al total de emisiones. Los resultados decadales de las emisiones totales de CN son presentados en la Figura 10-2.

Figura 10-2. Emisiones anuales de CN por región política de Chile para los años 1990, 2000, 2010 y 2020



Fuente: Equipo técnico coordinador

Respecto de los cambios en las emisiones de CN a lo largo de la serie temporal, se observa un crecimiento sostenido de éstas en las regiones de Tarapacá, Antofagasta y Atacama. En el resto de las regiones el crecimiento es menor e incluso en algunos casos, se observa decrecimiento en las emisiones. Por otra parte, 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.

En la Tabla 10-14 se presentan los cambios en las emisiones de CN para cada región. Los perfiles de emisiones por región se presentan en el Anexo 11.12.

Tabla 10-14. Cambio de emisiones de CN al año 2020 respecto de los años 1990, 2000, 2010 y 2018

Región	1990 - 2020	2000 - 2020	2010 - 2020	2018 - 2020
Arica y Parinacota	-28%	-36%	18%	-4%
Tarapacá	305%	47%	16%	7%
Antofagasta	191%	95%	32%	4%
Atacama	119%	43%	23%	-18%
Coquimbo	54%	0%	14%	-1%
Valparaíso	10%	-12%	-5%	2%
Metropolitana	-4%	-25%	-7%	-6%
O'Higgins	9%	-6%	-2%	-1%
Maule	56%	63%	53%	36%
Ñuble	29%	40%	-25%	-13%
Biobío	81%	56%	39%	17%
Araucanía	95%	66%	77%	36%
Los Ríos	29%	-5%	-5%	-22%
Los Lagos	33%	15%	5%	-2%
Aysén	6%	18%	11%	0%
Magallanes	-24%	-13%	9%	-3%

Fuente: Equipo técnico coordinador

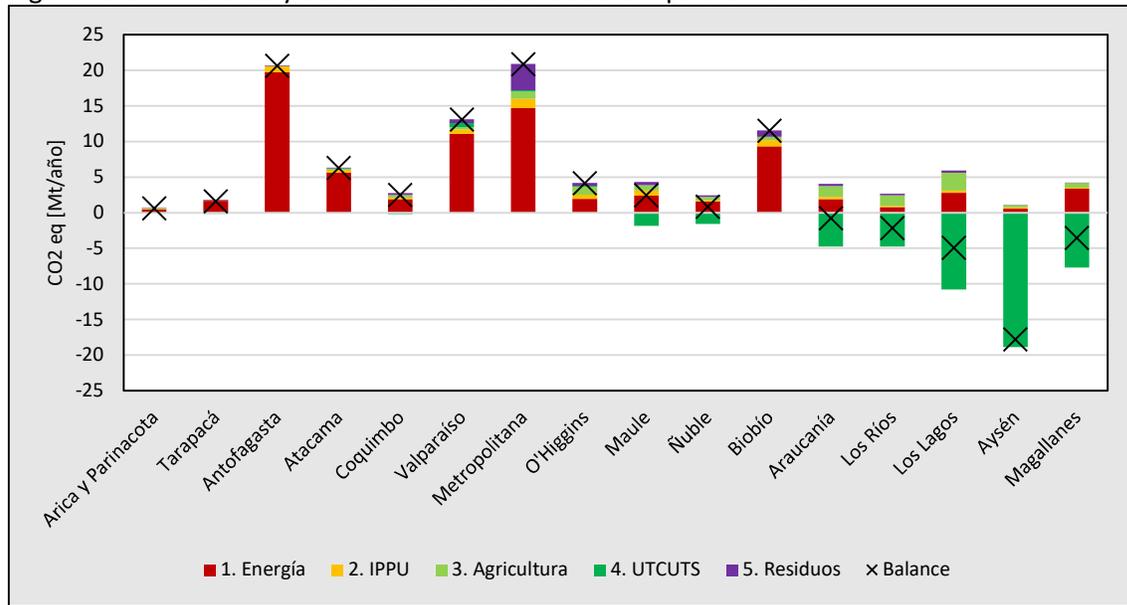
Valores igual a 0 equivalen a valores positivos inferiores a 0,5

10.4 Inventario regional de gases de efecto invernadero

Los resultados de emisiones y absorciones regionales al 2020 se pueden agrupar dentro de dos grupos (Figura 10-3). Por una parte, se observa un grupo de regiones con un balance de emisiones positivo, vale decir, 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, vale decir, regiones sumidero (Araucanía, Los Ríos, Los Lagos, Aysén y Magallanes). De acuerdo con las contribuciones sectoriales a las emisiones y absorciones de GEI de cada región, se aprecia la fuerte influencia del sector Energía en el grupo de regiones que son emisoras netas y, por el otro lado, la gran influencia que posee el sector UTCUTS en las regiones que son sumideros netos. Si se analiza por sector, para el 2020, se observa lo siguiente:

- Las regiones de Antofagasta, Valparaíso, Metropolitana y Biobío conforman el 70% de las emisiones del sector Energía.
- Las regiones de Antofagasta, Metropolitana, Maule y Biobío concentran el 54% de las emisiones del sector IPPU
- El 59% de las emisiones del sector Agricultura se distribuye entre la región Metropolitana, O'Higgins, Araucanía, Los Ríos y Los Lagos, destacándose esta última con un 22% con respecto al total.
- El 86% de las emisiones correspondientes al sector UTCUTS en términos absolutos corresponde a las regiones de Los Ríos, Los Lagos, Magallanes y Aysén, destacándose esta última, que aporta el 31 % con respecto al total.
- El 49% de las emisiones correspondientes al sector Residuos provienen de la Metropolitana, seguido de la región del Biobío que contribuye con un 12% al total.

Figura 10-3. Emisiones y absorciones sectoriales de GEI para el 2020



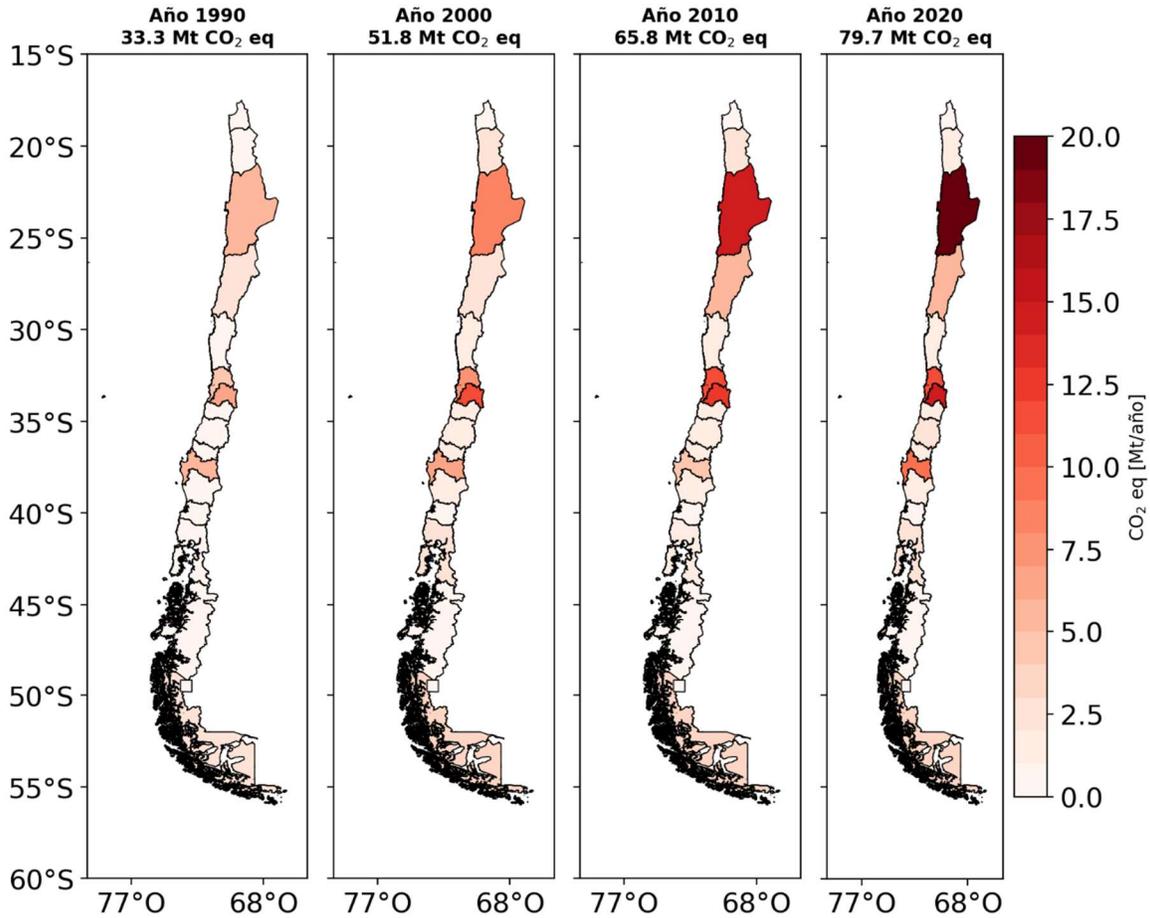
Fuente: Equipo técnico coordinador

En la siguiente sección se muestran los resultados para cada sector del inventario de emisiones.

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 (2014-2020) 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, por la metodología de la elaboración del inventario. 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, Atacama, Valparaíso, Metropolitana y Biobío. La Figura 10-4 muestra las emisiones decadales del sector Energía para todas las regiones de Chile.

Figura 10-4. Emisiones anuales de GEI, del sector Energía, por región política de Chile para los años 1990, 2000, 2010 y 2020

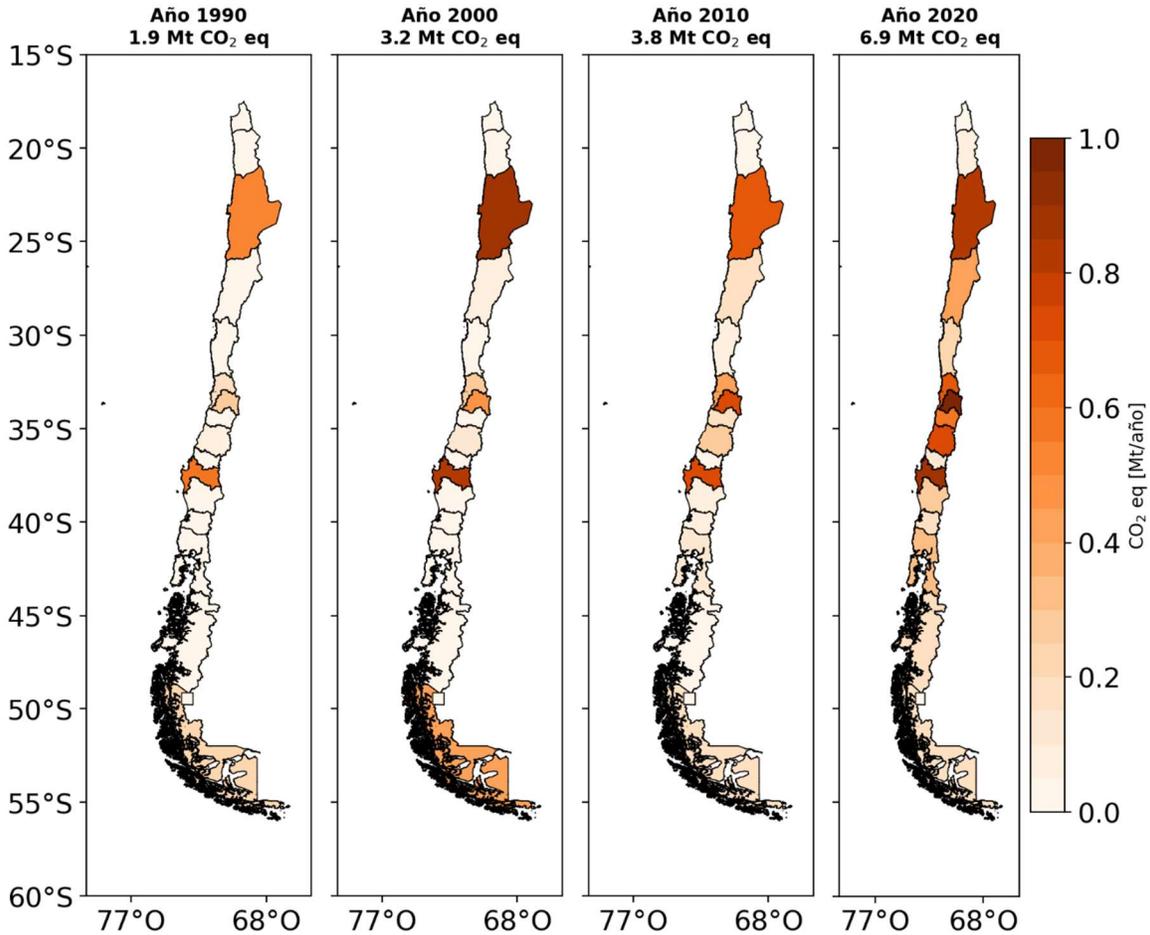


Fuente: Equipo técnico coordinador

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 la distribución de las emisiones, se tiene que, por una parte, las emisiones producidas por procesos industriales son distribuidas según las industrias productoras, mientras que las emisiones por uso de productos se distribuyen según distintos indicadores de acuerdo con la actividad correspondiente. Respecto de las emisiones, se observa una participación heterogénea de las regiones en los primeros años de la serie, que se diluye a finales de la serie debido al uso de refrigerantes en todo el país. Los resultados del sector IPPU son presentados en la Figura 10-5.

Figura 10-5. Emisiones anuales de GEI, del sector IPPU, por región política de Chile para los años 1990, 2000, 2010 y 2020

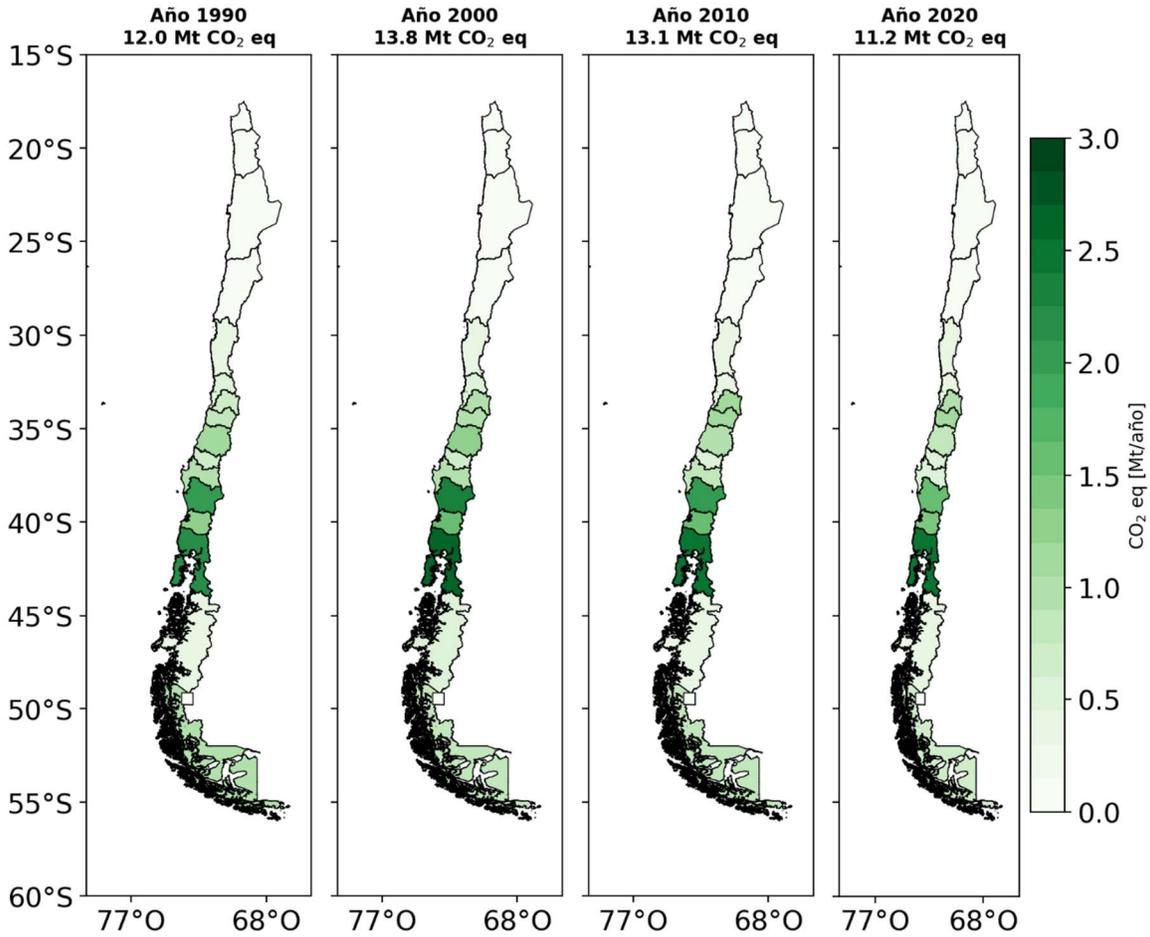


Fuente: Equipo técnico coordinador

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 de producción, ecológicas o sociales. Para este sector se cuenta con estadísticas regionales, por lo que la regionalización de las emisiones es a través de los datos de actividad mismos. Las principales regiones emisoras se encuentran en el centro del país, en donde destacan por la fuerte participación de las actividades dentro de la producción de estas regiones. No se observan mayores cambios en las regiones a lo largo de la serie, manteniéndose las regiones con participaciones similares en el inicio de la serie y al final de esta. Los resultados decadales son presentados en Figura 10-6.

Figura 10-6. Emisiones anuales de GEI, del sector Agricultura, por región política de Chile para los años 1990, 2000, 2010 y 2020

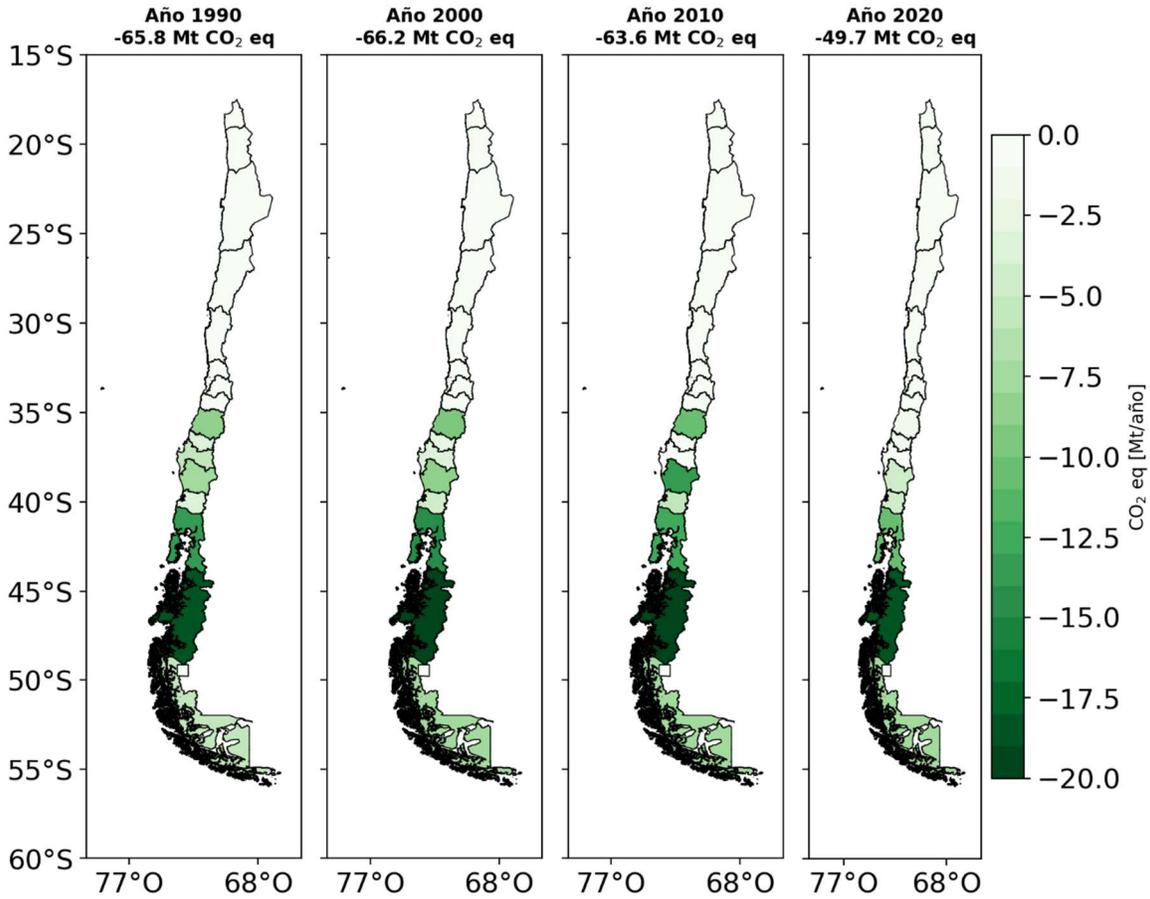


Fuente: Equipo técnico coordinador

10.4.4 Sector Uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura (4)

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. 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. Los resultados decadales del balance de emisiones del sector UTCUTS se encuentran en la Figura 10-7.

Figura 10-7. Emisiones y absorciones anuales de GEI, del sector UTCUTS, por región política de Chile para los años 1990, 2000, 2010 y 2020

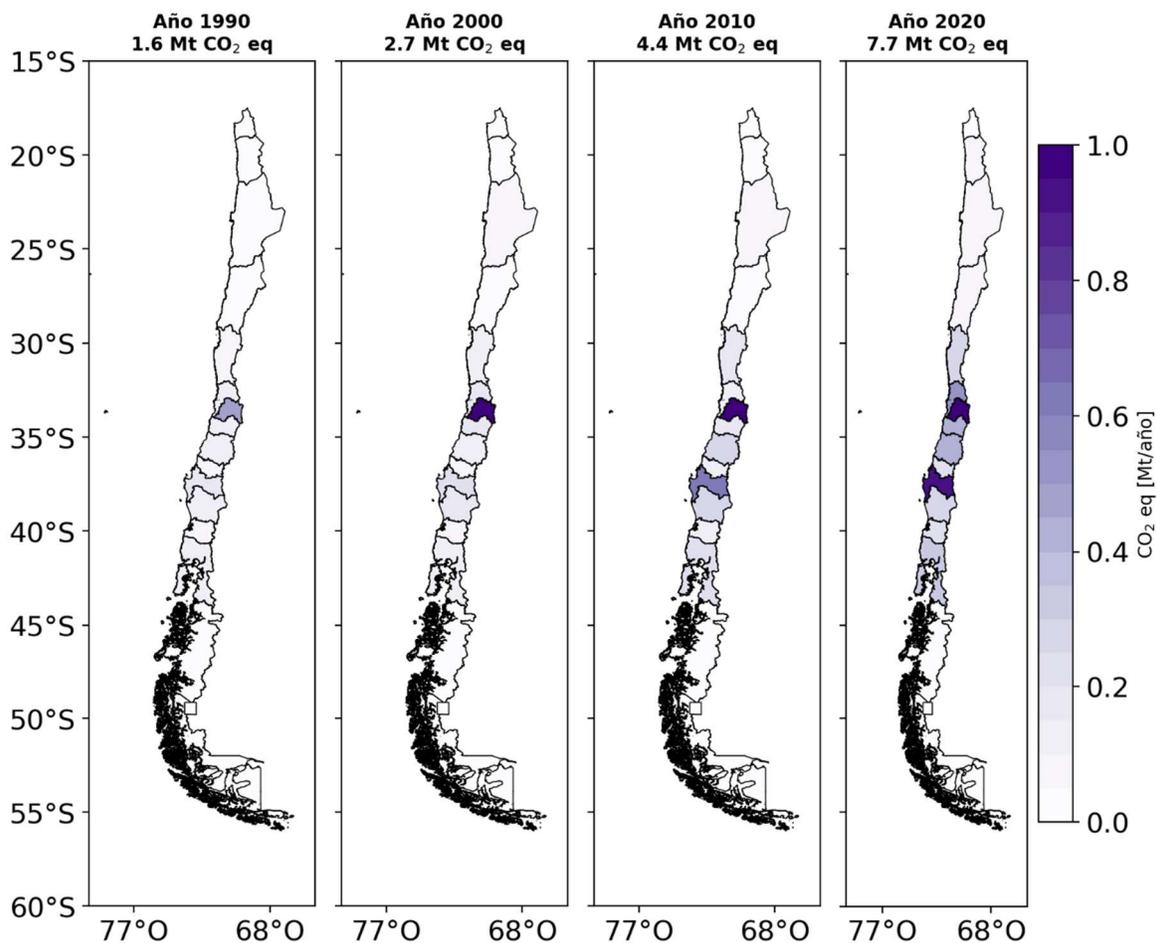


Fuente: Equipo técnico coordinador

10.4.5 Sector Residuos (5)

El sector Residuos incluye las emisiones de GEI resultantes de procesos microbiológicos que ocurren en la materia orgánica bajo degradación anaeróbica, principalmente desde sitios de disposición de residuos sólidos, manejados o no manejados; la emisión de óxido nitroso por la descomposición anaeróbica de excretas humanas; y el tratamiento anaeróbico de aguas residuales domésticas e industriales en fase líquida y sólida (lodos). Para este sector también se contó con estadísticas regionales, por lo que la estimación de las emisiones se realizó sobre cada región. Respecto de las emisiones, se ve un crecimiento en todas las regiones que se relaciona directamente con la cantidad de habitantes de cada región. Los resultados decadales de las emisiones se presentan en la Figura 10-8.

Figura 10-8. Emisiones anuales de GEI, del sector Residuos, por región política de Chile para los años 1990, 2000, 2010 y 2020

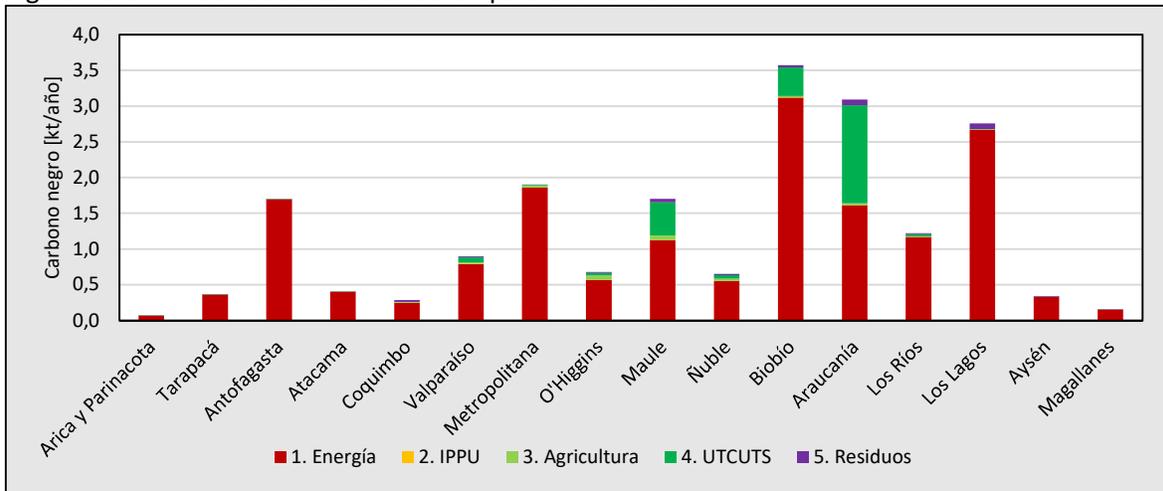


Fuente: Equipo técnico coordinador

10.5 Inventario regional de carbono negro

Los resultados de emisiones de CN regionales al 2020 muestran la importancia del sector Energía en todas las regiones del país, ya que es el sector que aporta la mayoría de las emisiones a cada región (Figura 10-9). Por otra parte, los resultados al 2020 muestran la importancia relativa de los incendios forestales en las regiones del centro y sur del país, particularmente en las regiones del Maule, Biobío y la Araucanía. Las regiones más emisoras de CN son aquellas donde se desarrollan principalmente las actividades de quema de leña residencial y la actividad industrial y minera. Entre ellas destacan la región de Antofagasta y Metropolitana por actividades mineras e industriales y uso de maquinarias, y la zona geográfica emplazada entre las regiones del Maule y Los Lagos por quema de leña, principalmente. Los resultados decadales de las emisiones de CN para el sector Energía y UTCUTS son presentados en la siguiente sección. Los sectores IPPU, Agricultura y Residuos, no se presentan acá debido a su baja contribución a las emisiones totales.

Figura 10-9. Emisiones sectoriales de CN para el año 2020

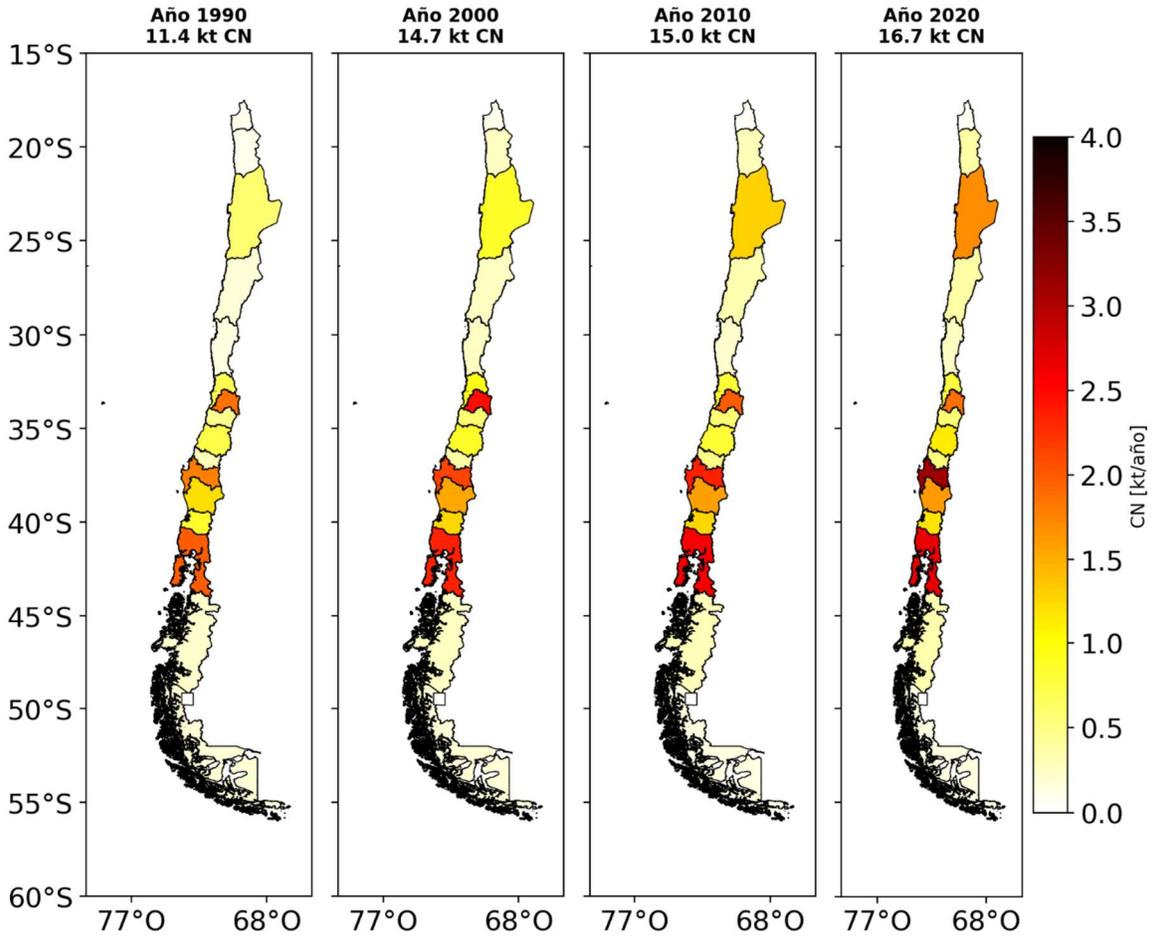


Fuente: Equipo técnico coordinador

10.5.1 Sector Energía (1)

Respecto de las emisiones de CN del sector Energía, se tiene que las emisiones predominan en la zona centro y sur del país, desde la Región Metropolitana hasta la Región de Los Lagos, en los últimos años de la serie también se incorpora la Región de Antofagasta como una fuente importante de este sector. Este último destaca principalmente por las actividades mineras y las maquinarias que son utilizadas en estas actividades. Por otra parte, la zona centro se caracteriza por contar con una gran densidad poblacional, actividades industriales y parte de quema de leña residencial, lo que se traduce en altas emisiones de CN. Por parte de las regiones hacia el sur, éstas presentan un alto consumo de leña residencial, la que se caracteriza por las altas emisiones de CN que estas generan. Estos resultados se pueden ver en la Figura 10-10.

Figura 10-10. Emisiones anuales de CN, del sector Energía, por región política de Chile para los años 1990, 2000, 2010 y 2020

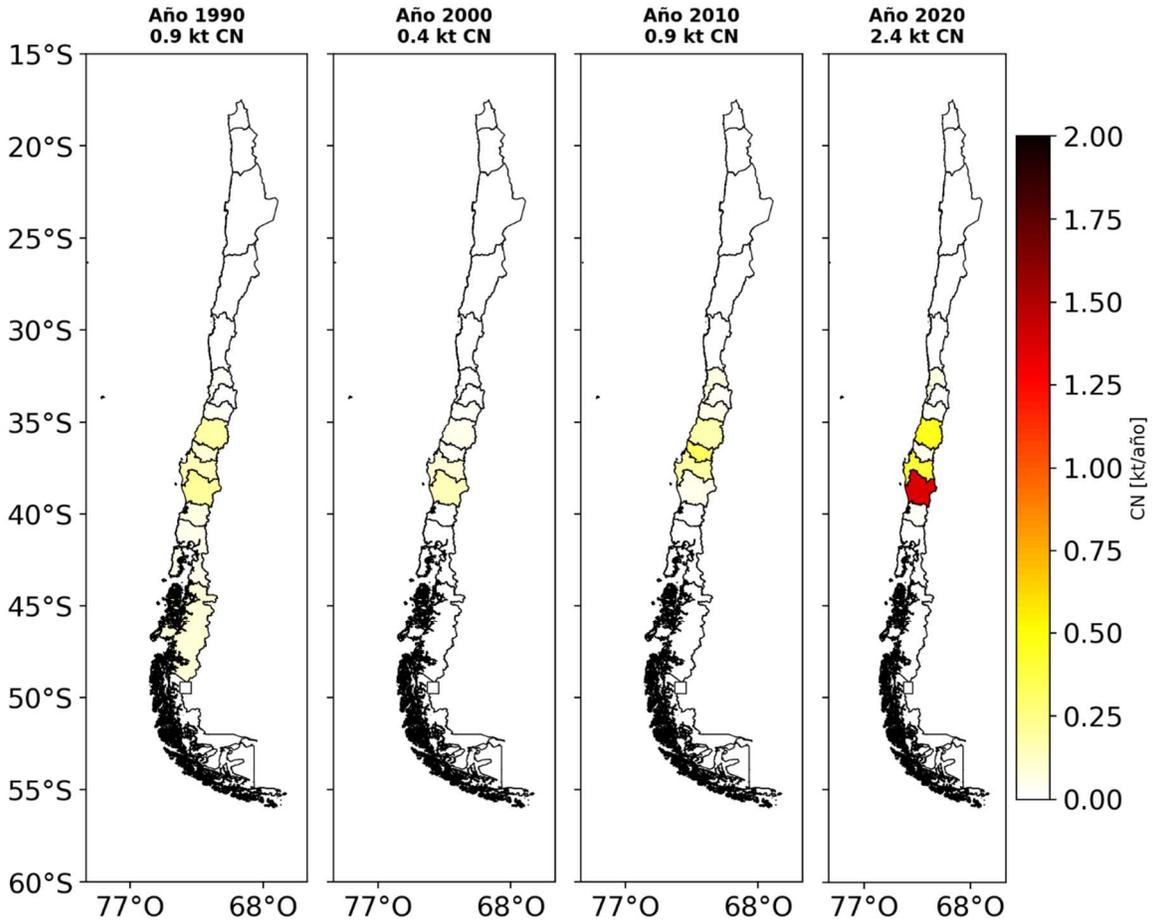


Fuente: Equipo técnico coordinador

10.5.2 Sector Uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura (4)

Las emisiones de CN provenientes del sector UTCUTS contabilizan las emisiones por incendios forestales o quema de plantaciones. Estos ocurren mayoritariamente en la zona centro sur del país, en donde hay mayor presencia de tierras forestales. Respecto de las emisiones, estas tienen una gran variabilidad que no sigue una tendencia clara con los años, por lo que los resultados anuales son exclusivos de eventos que suceden en cada año en particular. Sin embargo, los resultados decadales muestran mayores emisiones de CN al final de la serie, siendo particularmente altos en la Región de la Araucanía. Estos resultados se muestran en la Figura 10-11.

Figura 10-11. Emisiones anuales de CN, del sector UTCUTS, por región política de Chile para los años 1990, 2000, 2010 y 2020



Fuente: Equipo técnico coordinador

10.6 Nuevos cálculos

Las mejoras metodológicas y el refinamiento de los datos de actividad son parte esencial de la mejora de la calidad de los INGEI; cuando esto ocurre, se requiere realizar nuevos cálculos toda la serie de tiempo para garantizar su coherencia. Producto de estos y otros cambios metodológicos, los inventarios regionales no quedan exentos de cambios en la estimación de las emisiones.

Los cambios en las estimaciones regionales se deben principalmente a dos motivos. Primero, como los inventarios regionales no son nuevas estimaciones, sino más bien una distribución de las estimaciones nacionales, los cambios en las estimaciones nacionales tienen implicancias en las estimaciones regionales. Este cambio es particularmente evidente en las regiones que cuentan con una gran participación del sector UTCUTS, el que presentó cambios sustantivos en esta actualización del inventario. Por otra parte, los demás cambios en las estimaciones regionales se deben a ajuste de los indicadores utilizados, de tal manera de asegurar la consistencia temporal de las series de tiempo de los distintos indicadores.

Cómo esta es la primera vez que se presentan las emisiones de CN a nivel regional, solo se presentan nuevos cálculos regionales para las series de tiempo de las emisiones y absorciones de GEI. Los nuevos cálculos son presentados en el Anexo 11.12.

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.

- 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.
- Contrastar resultados contra otros inventarios regionales espacialmente distribuido. Para estos fines se pueden utilizar inventarios de la plataforma Copernicus (<https://atmosphere.copernicus.eu/>) o la plataforma Emissions of atmospheric Compounds and Compilation of Ancillary Data (<https://eccad.aeris-data.fr/>).

Referencias

General

- Akagi et. al. (2011). Emission factors for open and domestic biomass burning, Table 1. Emission factors (g/kg) for species emitted from different types of biomass burning
- Banco Central de Chile. (2018) Cuentas Nacionales, Información histórica, Gasto del PIB volumen a precios del año anterior encadenado. Recuperado el 2018 de <https://si3.bcentral.cl/Siete/secure/cuadros/home.aspx>
- Bond et. al. (2013). Bounding the role of black carbon in the climate system: A scientific assessment, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, Vol. 118, 5380–5552, doi:10.1002/jgrd.50171.
- CMNUCC. (2012). Informe de la Conferencia de las Partes sobre su 17º período de sesiones, celebrado en Durban del 28 de noviembre al 11 de diciembre de 2011.
- CMNUCC. (2011). Informe de la Conferencia de las Partes sobre su 16º período de sesiones, celebrado en Cancún del 29 de noviembre al 10 de diciembre de 2010.
- CMNUCC. (2006). Directrices actualizadas de la Convención Marco para la presentación de informes sobre los inventarios anuales, tras la incorporación prevista en la decisión 14/CP.11.
- CMNUCC. (2003). Informe de la Conferencia de las Partes sobre su 8º período de sesiones, celebrado en Nueva Delhi del 23 de octubre al 1 de noviembre de 2002.
- CMNUCC. (2002). Informe de la Conferencia de las Partes sobre su 7º período de sesiones, celebrado en Marrakech del 29 de octubre al 10 de noviembre del 2001.
- EEA. (2016). EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016. Technical guidance to prepare national emission inventories. EEA Report No 21/2016, ISSN 1977-8449, Recuperado el 2018 de <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2016>
- EPA. (2011). Desarrollando un Sistema de Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero, Plantillas de Ejercicio.
- INE. (2004) Chile: Estimaciones y proyecciones de población por sexo y edad - país urbano rural 1990-2020. Recuperado el 2018 de http://www.ine.cl/docs/default-source/demogr%C3%A1ficas-y-vitales/demograf%C3%ADa/proyeccion-vigente/documentos-antiguos/microsoftwordinforp_ur.pdf?sfvrsn=6
- INE. (2014) Proyecciones de población 2002 – 2020 (actualización 2014) Recuperado el 2018 de <http://www.ine.cl/estadisticas/demograficas-y-vitales>
- IPCC. (2006). Directrices IPCC para la elaboración de inventarios nacionales de gases de efecto invernadero.
- IPCC. (1995). IPCC Second Assessment Report: Climate Change 1995 (SAR).
- Ministerio del Medio Ambiente. (2016). Segundo Informe Bienal de Actualización de Chile sobre Cambio Climático. Santiago.
- Ministerio del Medio Ambiente. (2016). Tercera Comunicación Nacional de Chile ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. Santiago.
- Ministerio del Medio Ambiente. (2016). Inventario nacional de gases de efecto invernadero de Chile, serie temporal 1990-2013. Santiago.

- NACIONES UNIDAS. (1992). Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.
- OCDE. (2003). Current status of national inventory preparation in annex I parties and non-annex I parties.
- PNUD. (2005). Managing the National Greenhouse Gas Inventory Process. Recuperado el 2018 de <http://www.undp.org/>
- United Nations Environment Programme (UNEP) y Climate and Clean Air Coalition (CCAC) (Abril, 2018), Integrated Assessment of Short-Lived Climate Pollutants in Latin America and the Caribbean, Improving air quality while contributing to climate change mitigation ISBN: 978-92-807-3549-9.

Sector Energía

- AIE. (2020). Chile: Indicators 1990 - 2020. Recuperado el 2022 de <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-browser?country=CHILE&fuel=Energy%20supply&indicator=TESbySource>
- AIE. (2020). Chile: Electricity and Heat 1990 - 2020. Recuperado el 2022, de <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-browser?country=CHILE&fuel=Electricity%20and%20heat&indicator=ElecIndex>
- Banco mundial. (2018). Transporte aéreo, pasajeros transportados. Chile. Recuperado el 2018, de <https://datos.bancomundial.org/indicador/IS.AIR.PSGR?locations=CL&start=1990>
- Cámara marítima y portuaria de Chile. (2017), Memoria anual n° 74. Recuperado el 2018 de <http://www.camport.cl/sitio/wp-content/uploads/2018/05/Camport-Ma-2017.pdf>
- COCHILCO. (2020). Anuario de Estadísticas del Cobre y Otros Minerales 1999-2020. Recuperado el 2022, de <https://www.cochilco.cl/Lists/Anuario/Attachments/24/Ae2021b.pdf>
- Ministerio de Energía. (Todos los años disponibles). Balance Nacional de Energía. Recuperado el 2022, de <http://energiaabierta.cl/visualizaciones/balance-de-energia/>
- Ministerio del Medio Ambiente. (2020). Inventario nacional de gases de efecto invernadero de Chile, serie temporal 1990-2018. Santiago.
- SISTEMAS SUSTENTABLES. (2010). Desarrollo de una metodología local de cálculo de emisiones búnker para gases de efecto invernadero.
- Junta Aeronáutica Civil (2018-2017) Estadísticas históricas, recuperado el 2020 de <http://www.jac.gob.cl/estadisticas/estadisticas-historicas/>

Sector Procesos industriales y uso de productos

- Banco Central. (2020). Cuentas Nacionales de Chile 1990 – 2018. <https://www.bcentral.cl/web/banco-central/areas/estadisticas/cuentas-nacionales-anuales>.
- BEHR SERVICE. (2016). Cantidad de refrigerante y de aceite para turismos, furgonetas y vehículos industriales. 2014-15.
- 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>

Sector Agricultura

- Acuña, D. y Pizarro, M., 2019. La industria porcina en Chile: oportunidades y desafíos para la sustentabilidad. Oficina de Estudio y Políticas Agrarias (ODEPA), Chile. 14p.
- Calvache, I., 2009. Variación anual de la concentración de proteína y grasa láctea en rebaños lecheros del centro y sur de Chile (tesis magíster). Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias, Valdivia, Chile.
- Cárdenas, L.M., Hatch, D.J., Scholefield, D., 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>
- Corporación Nacional Forestal (CONAF), 2021. <https://www.conaf.cl/incendios-forestales/> (acceso, Enero 2022).
- 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.
- 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.
- Ministerio del Medio Ambiente, 2021. Informe del inventario nacional de Chile 2020: inventario nacional de gases de efecto invernadero y otros contaminantes climáticos 1990-2018. Oficina de Cambio Climático, Santiago, Chile.
- Ministry for the Environment, 2021. New Zealand's Greenhouse Gas Inventory 1990-2019. Wellington, New Zealand.
- Oficina de Estudios de Políticas Agrarias (ODEPA), 1997. Cultivos y Forrajes Anuales. Ministerio de Agricultura, Chile. <https://icet.odepa.gob.cl/> (acceso, Septiembre 2021).
- Oficina de Estudios de Políticas Agrarias (ODEPA), 1997. Forrajes Permanentes. Ministerio de Agricultura, Chile. <https://icet.odepa.gob.cl/> (acceso, Septiembre 2021).
- Oficina de Estudios de Políticas Agrarias (ODEPA), 2007. Cultivos y Forrajes Anuales. Ministerio de Agricultura, Chile. <https://icet.odepa.gob.cl/> (acceso, Septiembre 2021).

- Oficina de Estudios de Políticas Agrarias (ODEPA), 2007. Forrajeras Permanentes. Ministerio de Agricultura, Chile. <https://icet.odepa.gob.cl/> (acceso, Septiembre 2021).
- Oficina de Estudios de Políticas Agrarias (ODEPA), 2007. Uso del Suelo. Ministerio de Agricultura, Chile. <https://icet.odepa.gob.cl/> (acceso, Septiembre 2021).
- Oficina de Estudios de Políticas Agrarias (ODEPA), 2009. Agricultura en cifras. Ministerio de Agricultura, Chile. www.odepa.gob.cl (acceso, Septiembre 2021).
- Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA), 2013. Estudio: “Mercado de la carne y lana ovina en Chile”. Santiago, Chile.
- Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA), 2019. Cultivos anuales regionales. Ministerio de Agricultura, Chile. <https://www.odepa.gob.cl/estadisticas-del-sector/estadisticas-productivas> (acceso, Septiembre 2021).
- Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA), 2020. Boletín de la leche: avance de recepción y elaboración de la industria láctea. Información año 2019. Santiago, Chile.
- Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA). 2021. Catastro Frutícola por región. <https://www.odepa.gob.cl/estadisticas-del-sector/catastros-fruticolas> (acceso, Septiembre 2021).
- Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA). 2021. Catastro Frutícola por región. <https://www.odepa.gob.cl/estadisticas-del-sector/catastros-fruticolas> (acceso, Septiembre 2021).
- Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA). 2021. Superficie plantada nacional, regional, número de huertos e infraestructura frutícola. <https://www.odepa.gob.cl/estadisticas-del-sector/estadisticas-productivas> (acceso, Septiembre 2021).
- Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA), 2021. Estadísticas de ganado. <https://www.odepa.gob.cl/estadisticas-del-sector/estadisticas-productivas> (acceso, Septiembre 2021).
- Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA), 2021. Importaciones y Exportaciones de Fertilizantes (urea). <https://www.odepa.gob.cl/avance-por-grupos-de-productos> (acceso, Septiembre 2021).
- Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA), 2021. Superficie cultivada con hortalizas. <https://www.odepa.gob.cl/estadisticas-del-sector/estadisticas-productivasproductivas> (acceso, Septiembre 2021).
- Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA), 2021. Superficie de hortalizas. <https://www.odepa.gob.cl/publicaciones/boletines/boletin-de-hortalizas-agosto-2021> (acceso, Septiembre 2021).
- 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.
- 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.

Sector Uso de la tierra, cambio en el uso de la tierra y silvicultura

- Albornoz, A., Alegría, D., Cortés, F., Gimeno, F., Moya, J., (2017). INFORME TÉCNICO CONAF-SIMEF: Protocolo metodológico para la elaboración de mapas de uso y cambios de uso de la tierra. p 90 (POR PUBLICAR).
- 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>
- 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 represetación 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 acional. 133 p.
- Jin, S., Yang, L., Danielson, P., Homer, C., Xian, G., & Fry, J. (2013). A comprehensive change detection method for updating the National Land Cover Database to circa 2011. Remote Sensing of Environment, 159-175.
- Jovanovski, A.; Davel, M. & D. Mohr-Bell. (2005). Densidad Básica de la madera de Pseudotsuga menziesii (Mirb.) Franco en la Patagonia. Invest. Agrar: Sist Recur For 14(2): 153-160.
- Kangas A. (1991). Updated measurement data as prior information in forest Inventory. Silva Fennica 1991, Vol 25 N°3:180-191.
- Kininmonth, J.A. & L.J. Whitehouse. (1991). Properties and Uses of New Zealand radiata pine. Volumen one-Wood properties. Chapter 6 Ian Bryce Printers Ltd., Rotorua, New Zealand.

- Loewe, M.; Toral, M.; Fernández, M.P.; Pineda, G.; López, C. & E. Urquieta. (1997). Monografía de Álamo (*Populus spp.*). INFOR-CONAF. Proyecto "Potencialidad de especies y sitios para una Diversificación silvícola nacional". Santiago de Chile. 145 p.
- MMA. (2011). Ministerio del Medio Ambiente. 2011. Segunda Comunicación Nacional de Chile ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.
- Melo, R.; Paz, J.; Solis, A.; Carrasco, V.; Rojas, M.; Rivera, G. & A. Barriga. (1981). Evaluación de los Recursos Fibrosos en la Subregión Andina. Suplemento Parte II: "Los Eucaliptos en Chile". Organización de Estados Americanos, Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico. Proyecto Especial de Celulosa y Papel. Lab. de Productos Forestales, Instituto de Investigación Tecnológica. Escuela de Ingeniería, Universidad de Concepción. 39 p.
- Mujica, R. (2003). Estudios sobre tratamientos silvícolas en Chile. En "Los bosques de Araucaria araucana en Chile y Argentina". TWF-40s. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit, GTZ. p. 3-80.
- Prado, J.A. & S. Barros. (1989). *Eucalyptus*. Principios de silvicultura y manejo. Santiago, Chile, INFOR. División Silvicultura; CORFO. 199 p.
- Poblete, H. (2002). Estudio técnico de la utilización de *Eucalyptus nitens* en la fabricación de contrachapados: ensayo con trozas basales y segundas. Informe de Convenio. Universidad Austral de Chile- Forestal Mininco S.A., 42 p.
- Pérez, V. (1982). Propiedades mecánicas y asociadas del Pino oregón (*Pseudotsuga menziesii*) creciendo en Chile. Informe Técnico 85. Instituto Forestal. Santiago, Chile. 17 p.
- Pérez, V. (1983). Manual de propiedades físicas y mecánicas de maderas chilenas. Santiago, Chile. Proyecto CONAF/PNUD/FAO - CHI 76/003. Documento de Trabajo N°47. 451 p.
- Peredo, M. (2000). Utilización Industrial de la Madera de *Eucalyptus*. In: Reyes (ed). I Congreso Iberoamericano de Investigación y Desarrollo de Productos Forestales. 16-20 octubre 2000. Concepción, Chile. Pp. 79-87.
- Rojas, P.; Aravena, M. & L. Cid. 1993. Primeros Resultados de Floración y Producción de semillas de *E. nitens*. En: Actas Simposio Los Eucaliptos en el Desarrollo Forestal de Chile. INFOR. Pucón, Chile (24-26 de noviembre. pp: 97-107.
- Rozas, C. (2002). Resultados tecnológicos proyecto FONDEF: Diversificación y aprovechamiento de las plantaciones de *Eucalyptus globulus* y *Eucalyptus nitens* para su utilización en la industria del mueble. Concepción.
- Rozas, C.; Sánchez, r. & P. Pinedo. (2005). Secado de *Eucalyptus nitens* y *globulus* y su aprovechamiento en blocks, pisos y muebles. *Maderas. Ciencia y Tecnología* 7(2):109-120.
- Scheuder, T., Gregoire, T., Wood. G. (1993) Métodos de muestreo para el inventario forestal de múltiples fuentes.
- Torricelli, A. & Torricelli, E. 1942. La madera. Imprenta La Sud Americana. Santiago, Chile.

Sector Residuos

- AIE. (2016). Chile: indicators 1990 - 2013. Recuperado el 2016, de <http://www.iea.org/statistics/statisticssearch/report/?country=Chile&product=indicators>
- Banco mundial. (2014). Transporte aéreo, pasajeros transportados. Recuperado el 2016, de <http://datos.bancomundial.org/indicador/IS.AIR.PSGR/countries/CL?display=graph>

- Camara marítima y portuaria de Chile. (2015). Memoria Anual N° 71 . Recuperado el 2016, de <http://www.camport.cl/sitio/wp-content/uploads/2015/05/Memoria-2015-CAMPORT.pdf>
- Catamutun. (1999). Industria Nacional del Carbón. Obtenido de <http://www.catamutun.com/produccion/carbon/pais.html>
- COCHILCO. (2014). Anuario. Recuperado el 2016, de <http://www.cochilco.cl/estadisticas/anuario.asp>
- DIRECON. (2015). Informe Anual, Comercio Exterior de Chile. Recuperado el 01 de 09 de 2016, de DIRECON: <https://www.direcon.gob.cl/wp-content/uploads/2015/07/Informe-anual-de-Comercio-Exterior-de-Chile-2014-2015.pdf>
- IEA. (2010). Electricity and Heat for 2010. Obtenido de <http://www.iea.org/statistics/statisticssearch/report/?country=CHILE&product=electricityandheat&year=2010>
- 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
- 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>
- 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/
- MINENERGIA. (2015). Energía 2050. Política Energética de Chile. Santiago de Chile: MINENERGIA.
- Ministerio de Energía. (Todos los años disponibles). Balance Nacional de Energía 2013. Recuperado el 2016, de http://dataset.cne.cl/Energia_Abierta/Balances%20Energeticos/bne_2013.xls
- ODEPA. (2005). Agricultura chilena 2014: una perspectiva de mediano plazo. Recuperado el 02 de 08 de 2016, de ODEPA: <http://www.odepa.cl/articulo/agricultura-chilena-2014una-perspectiva-de-mediano-plazo/>
- Sistemas Sustentables. (Diciembre de 2009). Sistema Nacional de Información Ambiental. Recuperado el Diciembre de 2015, de http://www.sinia.cl/1292/articulos-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.

Carbono negro

- 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 MP2,5 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.