

Anexo Técnico del 1IBA de Guatemala

*Informe del Inventario Nacional 2022 que
incluye el Inventario Nacional de Gases de
Efecto Invernadero 1990-2018 de Guatemala*

Coordinación técnica del anexo

Coordinador Nacional de Reporte e Inventarios de GEI

David Estuardo Barrera García[†], coordinador de actividades de Ciencia y Métrica e Inventarios

Juan Pablo Reyes Quevedo, coordinador de actividades de Ciencia y Métrica e Inventarios

Asesor Experto Internacional de Reporte e Inventarios de GEI

Paulo Cornejo Guajardo, Asesor General de Reporte y Coordinación General de Inventarios

Equipo Técnico MARN

Departamento de Ciencia y Métrica para el Cambio Climático: Juan Pablo Reyes Quevedo, Daniel Eduardo Arriola, Juan Carlos Funes (2018-2019), Herbert Aitken (2018-2019).

Departamento de Mitigación para el Cambio Climático: Gregorio Saúl Pérez Arana, Flor de María Calderón, Claudia María Samayoa, Nasly Anabely Escobar López.

Departamento de Adaptación y Vulnerabilidad para el Cambio Climático: Jennifer Waleska Zamora Arenales, Mario Rene Mejía Clara.

Asesores de la Dirección de Cambio Climático: Jenny Cristabel Vásquez, Abbie Annette Castañeda Oajaca, Rosa Guadalupe Pérez Jiménez, Vilma Dina Aragón Chacón

Departamento de Riesgo para el Cambio Climático: Leonel de Jesús Campos

Dirección de Análisis Geoespacial y Cambio Climático: Kenset Amaury Rosales Riveiro, José Gildardo Gálvez,

Unidad de Género: Marleny Oliva.

Dirección para Manejo de Residuos y Desechos Sólidos: Jorge Grande, Sandra López.

Departamento de Productos Químicos de Desechos Peligrosos: Laura Verónica López.

Asesores externos sobre inventarios de GEI

Nacionales: José Furlán (IPPU), Luis Pedro Utrera (Agricultura), Marco Aurelio Juárez (UTCUTS), Diego Incer Nuñez (UTCUTS), Sofía Rodas (Residuos).

Internacionales: Paulo Cornejo (coordinación general y Agricultura), Guadalupe Martínez (IPPU y Residuos), Richard Martínez (Energía), Juan David Turriago (UTCUTS).

Colaboradores de Instituciones Rectoras y Unidades de Cambio Climático: Rosa Sunun (INAB), Danger Gómez (INAB), Mónica Barillas (CONAP), Isi Guerra (CONAP), Martín Leal (MAGA), Héctor Hernández (MAGA), Candida Tacám (MAGA), Pablo Girón (CONADE), Gabriel Velásquez (MEM), Alexander Escobar (MEM), Cristian Samayoa (MEM).

CONTENIDOS

ACRÓNIMOS Y SIGLAS.....	7
CAPÍTULO 1: CIRCUNSTANCIAS NACIONALES, ARREGLOS INSTITUCIONALES E INFORMACIÓN TRANSVERSAL	10
1.1. Antecedentes generales de los inventarios y el cambio climático	10
1.2. Descripción de los arreglos institucionales para el inventario	11
1.3. Descripción de las metodologías y fuentes de información	15
1.4. Análisis de categorías principales	16
1.5. Descripción del plan de GCCV y su implementación	20
1.6. Evaluación general de la incertidumbre	21
1.7. Evaluación general de la exhaustividad.....	22
1.8. Sistema de medición.....	25
CAPÍTULO 2: TENDENCIA DE LAS EMISIONES Y ABSORCIONES NACIONALES	26
2.1. Descripción de las emisiones y absorciones de GEI de 2018	26
2.2. Descripción de la tendencia de los GEI por sector	29
2.3. Descripción de la tendencia por GEI	30
CAPÍTULO 3: SECTOR ENERGÍA (FCR 1)	33
3.1. Panorama general del sector.....	33
3.2. Actividades de quema de combustibles (FCR 1.A)	36
3.2.3. Comparación entre el método sectorial y el método de referencia.....	39
3.2.4. Combustibles del transporte internacional	41
3.2.5. Emisiones de CO ₂ de la biomasa usada con fines energéticos.....	43
3.2.6. Materias primas y uso no energético de los combustibles.....	45
3.2.7. Industrias de la energía (FCR 1.A.1)	45
3.2.8. Industrias manufactureras y de la construcción (FCR 1.A.2)	50
3.2.9. Transporte (FCR 1.A.3).....	54
3.2.10. Otros sectores (FCR 1.A.4).....	59
3.3. Emisiones fugitivas de combustibles (FCR 1.B)	63
3.3.3. Combustibles sólidos (FCR 1.B.1).....	64
3.3.4. Petróleo y gas natural (FCR 1.B.2).....	64
3.4. Transporte y almacenamiento de CO ₂ (FCR 1.C).....	67
CAPÍTULO 4: SECTOR PROCESOS INDUSTRIALES Y USO DE PRODUCTOS (FCR 2)	68
4.1. Panorama general del sector.....	68
4.2. Industria de los minerales (FCR 2.A)	72
4.2.3. Producción de cemento (FCR 2.A.1)	74
4.2.4. Producción de cal (FCR 2.A.2).....	76
4.2.5. Producción de vidrio (FCR 2.A.3)	79

Anexo técnico del IBA de Guatemala: Informe del Inventario Nacional 2022

4.2.6.	Otros usos de los carbonatos en los procesos (FCR 2.A.3)	82
4.3.	Industria química (FCR 2.B)	86
4.4.	Industria de los metales (FCR 2.C)	86
4.4.3.	Producción de hierro y acero (FCR 2.C.1)	87
4.4.4.	Producción de ferroaleaciones (FCR 2.C.2).....	89
4.4.5.	Producción de aluminio (FCR 2.C.3).....	91
4.4.6.	Producción de magnesio (FCR 2.C.4)	92
4.4.7.	Producción de plomo (FCR 2.C.5)	92
4.4.8.	Producción de cinc (FCR 2.C.6)	92
4.4.9.	Otros (FCR 2.C.7)	92
4.5.	Productos no energéticos de combustibles y uso de solventes (FCR 2.D)	92
4.5.3.	Uso de lubricantes (FCR 2.D.1)	93
4.5.4.	Uso de la cera de parafina (FCR 2.D.2)	96
4.5.5.	Uso de solventes (FCR 2.D.3).....	99
4.5.6.	Otros (FCR 2.D.4).....	99
4.6.	Industria electrónica (FCR 2.E).....	99
4.7.	Uso de productos sustitutos de las sustancias que agotan la capa de ozono (FCR 2.F).....	99
4.7.3.	Refrigeración y aire acondicionado (FCR 2.F.1)	101
4.7.4.	Agentes espumantes (FCR 2.F.2)	105
4.7.5.	Protección contra incendios (FCR 2.F.3).....	105
4.7.6.	Aerosoles (FCR 2.F.4)	105
4.7.7.	Solventes (FCR 2.F.5)	106
4.7.8.	Otras aplicaciones (FCR 2.F.6)	106
4.8.	Manufactura y utilización de otros productos (FCR 2.G).....	106
4.9.	Otros (FCR 2.H).....	107
CAPÍTULO 5: SECTOR AGRICULTURA (FCR 3).....		108
5.1.	Panorama general del sector.....	108
5.2.	Fermentación entérica (FCR 3.A)	111
5.3.	Gestión del estiércol (FCR 3.B).....	116
5.4.	Cultivo del arroz (FCR 3.C)	121
5.5.	Suelos agrícolas (FCR 3.D)	125
5.6.	Quema prescrita de sabanas (FCR 3.E).....	131
5.7.	Quema de residuos agrícolas en el campo (FCR 3.F)	134
5.8.	Encalado (FCR 3.G).....	139
5.9.	Aplicación de urea (FCR 3.H)	139
5.10.	Otros fertilizantes que contienen carbono (FCR 3.I)	142
CAPÍTULO 6: SECTOR USO DE LA TIERRA, CAMBIO DE USO DE LA TIERRA Y SILVICULTURA (FCR 4)		143
6.1.	Panorama general del sector.....	143

Anexo técnico del IBA de Guatemala: Informe del Inventario Nacional 2022

6.2.	Definiciones de uso de la tierra y los sistemas de clasificación.....	147
6.3.	Métodos utilizados para la representación de las tierras.....	148
6.4.	Métodos para las perturbaciones naturales.....	150
6.5.	Tierras forestales (FCR 4.A)	150
6.6.	Tierras de cultivo (FCR 4.B).....	156
6.7.	Pastizales (FCR 4.C).....	160
6.8.	Humedales (FCR 4.D)	164
6.9.	Asentamientos (FCR 4.E)	167
6.10.	Otras tierras (FCR 4.F).....	170
6.11.	Productos de madera recolectada (FCR 4.G)	174
CAPÍTULO 7: SECTOR RESIDUOS (FCR 5)		175
7.1.	Panorama general del sector.....	175
7.2.	Disposición de residuos sólidos (FCR 5.A)	178
7.2.3.	Sitios de disposición de residuos gestionados (FCR 5.A.1)	180
7.2.4.	Sitios de disposición de residuos no gestionados (FCR 5.A.2).....	185
7.2.5.	Sitios de disposición de residuos sólidos no categorizados (FCR 5.A.3)	189
7.3.	Tratamiento biológico de residuos sólidos (FCR 5.B)	190
7.4.	Incineración y quema abierta de residuos (FCR 5.C).....	194
7.4.3.	Incineración de residuos (FCR 5.C.1).....	195
7.4.4.	Incineración abierta de residuos (FCR 5.C.2).....	195
7.5.	Tratamiento y descarga de aguas residuales (FCR 5.D)	199
7.5.3.	Aguas residuales domésticas (FCR 5.D.1)	200
7.5.4.	Aguas residuales industriales (FCR 5.D.2).....	205
7.6.	Otros (FCR 4.E)	208
CAPÍTULO 8: GASES PRECURSORES		209
CAPÍTULO 9: NUEVOS CÁLCULOS Y MEJORAS.....		211
9.1.	Explicación y justificación de los nuevos cálculos	211
9.2.	Implicancias de los nuevos cálculos en el inventario	211
9.3.	Implicancias de los nuevos cálculos en la tendencia y la coherencia de la serie temporal	212
9.4.	Áreas de mejoramiento identificadas	213
ANEXOS		215
Anexo 1. Estimación de las categorías principales.....		216
Anexo 2. Reporte de la evaluación general de la incertidumbre		247
Anexo 3. Resumen de los métodos y factores de emisión aplicados		251
Anexo 4. Resumen de los inventarios presentados previamente por Guatemala		253
Anexo 5. Otra información sectorial		259
Anexo 5.1. Sector Energía.....		259
Anexo 5.2. Sector IPPU.....		259

Anexo técnico del IBA de Guatemala: Informe del Inventario Nacional 2022

Anexo 5.3. Sector Agricultura	259
Anexo 5.4. Sector UTCUTS.....	259
Anexo 5.5. Sector Residuos	291
REFERENCIAS	300

ACRÓNIMOS Y SIGLAS

1CN	Primera Comunicación Nacional sobre Cambio Climático de Guatemala
1IBA	Primer Informe Bienal de Actualización sobre Cambio Climático de Guatemala
2CN	Segunda Comunicación Nacional sobre Cambio Climático de Guatemala
ANACAFE	Asociación Nacional de Café
AR2	Segundo Informe de Evaluación del IPCC, siglas en inglés
AR4	Cuarto Informe de Evaluación del IPCC, siglas en inglés
BANGUAT	Banco de Guatemala
BE	Balance Energético de Guatemala
Ca,Mg(CO₃)₂	Dolomita
CaCO₃	Carbonato de calcio
CaO	Óxido de calcio
CEAB	Centro de Estudios Ambientales y Biodiversidad
CH₄	Metano
CKD	Polvo de horno de cemento, siglas en inglés
CMNUCC	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
CO	Monóxido de carbono
CO₂	Dióxido de carbono
CO₂ eq	Dióxido de carbono equivalente
CONADEA	Consejo Nacional de Desarrollo Agropecuario de Guatemala
CONAP	Consejo Nacional de Áreas Protegidas de Guatemala
CONRED	Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres de Guatemala
COVDM	Compuestos orgánicos volátiles diferentes al metano
CS	Factor de emisión país específico
CUTS	Cambio de uso de la tierra y silvicultura
D	Factor de emisión por defecto de las Directrices del IPCC de 2006
DA	Dato de actividad
DBO	Demanda bioquímica de oxígeno
DCC	Dirección de Cambio Climático de Guatemala
DGM	Dirección General de Minería de Guatemala
DQO	Demanda química de oxígeno

Anexo técnico del IBA de Guatemala: Informe del Inventario Nacional 2022

DR	Factor de emisión por defecto del Refinamiento de 2019 del IPCC
ENCOVI	Encuestas Nacionales de Condiciones de Vida
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, siglas en inglés
FAOSTAT	Base de datos estadísticos corporativos de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, siglas en inglés
FCR	Formato común de reporte de la RedINGEI
FE	Factor de emisión
FeNi	Ferroníquel
FOD	Modelo de descomposición de primer orden, en inglés
GCCV	Garantía y control de calidad, y verificación
GEF	Fondo Mundial para el Medio ambiente, siglas en inglés
GEI	Gases de Efecto Invernadero
GIMBUT	Grupo Interinstitucional de Monitoreo de Bosques y Uso de la Tierra de Guatemala
HFC	Hidrofluorocarbonos
IBA	Informe bienal de actualización
IE	Incluido en otro lugar (clave de notación), siglas en inglés
INAB	Instituto Nacional de Bosques de Guatemala
INE	Instituto Nacional de Estadística de Guatemala
INFOM	Instituto de fomento municipal de Guatemala
INGEI	Inventario nacional de gases de efecto invernadero
IPCC	Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, siglas en inglés
IPPU	Procesos industriales y uso de productos, siglas en inglés
LKD	Polvo de horno de cal, por sus siglas en inglés
MAGA	Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación de Guatemala
MARN	Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales de Guatemala
MEM	Ministerio de Energía y Minas de Guatemala
MPD	Modalidades, procedimientos y directrices para el marco de transparencia del Acuerdo de París
N₂O	Óxido nitroso
NA	No aplica (clave de notación)
Na₂CO₃	Ceniza de sosa o carbonato de sodio
NE	No estimado (clave de notación)
NF₃	Trifluoruro de nitrógeno
NO	No ocurre (clave de notación)

Anexo técnico del 1IBA de Guatemala: Informe del Inventario Nacional 2022

NO₂	Óxido nitroso
NO_x	Óxidos de nitrógeno
PCA	Potenciales de calentamiento atmosférico
PFC	Perfluorocarbonos
PMR	Productos de la madera recolectada
PNUD	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
RedINGEI	Red Latinoamericana de Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero
SAO	Sustancias que agotan la capa de ozono
SAT	Superintendencia de Administración Tributaria
SDRS	Sitios de Disposición de Residuos Sólidos
SF₆	Hexafluoruro de azufre
SIFGUA	Sistema de Información General de Guatemala
SNICC	Sistema Nacional de Información de Cambio Climático de Guatemala
SNIGT	Sistema Nacional de Inventarios de Gases de Efecto Invernadero de Guatemala
SO₂	Dióxido de azufre
T1	Método de Nivel 1, siglas en inglés
T1a	Método de Nivel T1a enfoque del factor de emisión, siglas en inglés
T2	Método de Nivel 2, siglas en inglés
USAID	Agencia de los Estados Unidos de América para el Desarrollo Internacional, siglas en inglés
UTCUTS	Uso de la tierra, cambio en el uso de la tierra y silvicultura
UVG	Universidad del Valle de Guatemala

CAPÍTULO 1: CIRCUNSTANCIAS NACIONALES, ARREGLOS INSTITUCIONALES E INFORMACIÓN TRANSVERSAL

1.1. Antecedentes generales de los inventarios y el cambio climático

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) —de la cual Guatemala forma parte desde su ratificación en agosto de 1995 a través del Decreto 15-95 del Congreso de la República— tiene como objetivo la estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropogénicas peligrosas en el sistema climático (CMNUCC, 1992). Para ello, todas las Partes deberán (entre otros) elaborar, actualizar periódicamente, publicar y facilitar a la Conferencia de las Partes (COP) inventarios nacionales de las emisiones antropógenas por las fuentes y de la absorción por los sumideros de todos los GEI no controlados por el Protocolo de Montreal.

En línea con lo anterior, los inventarios son un listado completo, por fuentes y sumideros, de las emisiones y absorciones de GEI anuales o de varios años (serie temporal) resultantes directamente de las actividades humanas (UNFCCC, 2009).

Además del cumplimiento de las obligaciones de presentación de información ante la CMNUCC, según el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (UNDP, 2005), la elaboración y presentación de inventarios puede conllevar una serie de beneficios a un país, los que incluyen:

- Proporcionar información útil para la evaluación y planificación del desarrollo económico.
- Proporcionar información útil para abordar otros problemas ambientales.
- Identificar brechas en la información nacional y poder mejorarlas.
- Evaluar opciones de mitigación de GEI.
- Proporcionar las bases para los esquemas de comercio de emisiones.

Para una cuantificación que asegure credibilidad, coherencia y comparabilidad entre los inventarios de los países, la CMNUCC propone las directrices del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) para la elaboración de los inventarios. Las directrices del IPCC incluyen metodologías y métodos para la estimación del dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC), hexafluoruro de azufre (SF₆), y trifluoruro de nitrógeno (NF₃). Además, los sectores económicos de los países se agrupan en sectores que comparten características relativas a los procesos que generan emisiones o absorciones de GEI. Según las *modalidades, procedimientos y directrices para el marco de transparencia del Acuerdo de París* (MPD), cada Parte deberá proporcionar información sobre los sectores de Energía; Procesos industriales y uso de productos (IPPU); Agricultura; Uso de la tierra, cambio en el uso de la tierra y silvicultura (UTCUTS); y Residuos (CMNUCC, 2019).

Históricamente, Guatemala ha presentado sus inventarios como parte de sus comunicaciones nacionales. El presente inventario corresponde a su tercera presentación ante la CMNUCC e incluye una serie de tiempo desde 1990 a 2018. Para el análisis del inventario, durante todo el documento se hace referencia a 2018, el último año de la serie temporal, a menos que se explicita lo contrario. Adicionalmente, se incluye como anexo técnico al *Primer Informe Bienal de Actualización de*

Guatemala un Informe del Inventario Nacional 2022, que incluye de forma considerable mayor detalle respecto al inventario 1990-2018.

1.2. Descripción de los arreglos institucionales para el inventario

1.2.1. Entidad nacional

Según la *Ley Marco para Regular la Reducción de la Vulnerabilidad, la Adaptación Obligatoria ante los Efectos del Cambio Climático y la Mitigación de Gases de Efecto Invernadero* (Ley Marco de Cambio Climático), el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN) deberá responder por el inventario nacional de GEI. Para operativizar esta función, el *Manual Administrativo de la Dirección de Cambio Climático* del MARN señala que será atribución del jefe del Departamento de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, de la Dirección de Cambio Climático (DCC) del MARN, promover y gestionar la elaboración del inventario mediante la coordinación con diversos sectores y actores que cuente con información real de las fuentes emisoras de GEI o sumideros de CO₂. Por lo tanto, el MARN es la entidad nacional encargada del inventario y su Departamento de Ciencia y Métrica de Cambio Climático la entidad encargada de coordinar su elaboración.

Si bien el Departamento de Ciencia y Métrica de Cambio Climático ha liderado los procesos de elaboración y presentación de los inventarios de Guatemala, el desarrollo de los inventarios ha sido históricamente mandatado a terceros, lo que ha generado importantes brechas respecto a la información disponible para hacer del inventario un proceso continuo de mejora e incremento de la calidad.

Además de lo anterior, y tomando en consideración que el párrafo 18 de las MPD señalan que cada Parte debería establecer y mantener un marco relativo a los inventarios 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, es que el Departamento de Ciencia y Métrica de Cambio Climático se encuentra en proceso de diseño, desarrollo y establecimiento del Sistema Nacional de Inventarios de Gases de Efecto Invernadero (SNIGT) de Guatemala. En general, los objetivos previstos para el SNIGT son los siguientes:

- Hacer posible que el país estime los GEI de origen antropógeno en línea con las disposiciones de las MPD, y que se informe sobre estos GEI ante la CMNUCC y para apoyar las políticas públicas nacionales;
- Asegurar y mejorar la calidad de los inventarios y la coherencia con otras iniciativas en materia de GEI a nivel nacional; y
- Facilitar el examen técnico por expertos y la revisión de la información presentada de conformidad con las MPD.

Además de los objetivos propios del SNIGT, el país está definiendo los objetivos de su inventario, ya que este deberá responder a diferentes objetivos dependiendo de los actores pertinentes involucrados. Probablemente, el objetivo más claro es el cumplimiento de los compromisos internacionales de Guatemala con la CMNUCC con respecto a proveer información de su acción climática y su contribución a evitar aumentar la temperatura media global en 1,5 °C. Además, a nivel de objetivo interno, el inventario debería permitir identificar las mayores oportunidades de

mitigación, acceso a mercados de carbono, y a la vez ser la base del monitoreo de los compromisos adquiridos por el país en su contribución a la mitigación.

En cuanto a su estructura y organización, el SNIGT está implementando una estructura descentralizada con una organización coordinadora (entidad nacional única) y organizaciones compiladoras (equipos técnicos sectoriales). Actualmente se tiene claridad que es el Departamento de Ciencia y Métrica de Cambio Climático la unidad encargada de la coordinación del SNIGT, sin embargo, no se han definido formalmente las organizaciones compiladoras y las proveedoras de datos. Se cuenta también con el apoyo del Sistema Nacional de Información de Cambio Climático (SNICC) como gestor de la información relacionada con el inventario, y con el Consejo Nacional de Cambio Climático como comité directivo para participar en el proceso de aprobación oficial de los productos que surjan del sistema, por ejemplo, el informe del inventario nacional.

Por otra parte, Guatemala ha avanzado en el desarrollo de las herramientas y subsistemas necesarios para garantizar el funcionamiento apropiado y sostenible en el tiempo. En este sentido, ya se ha puesto en marcha el pilotaje del subsistema de información para la documentación y archivo del inventario y se trabaja en el diseño de los planes de trabajo, subsistema de garantía y control de la calidad y verificación, planes entrenamiento y capacitación, y en la estrategia de sensibilización y divulgación.

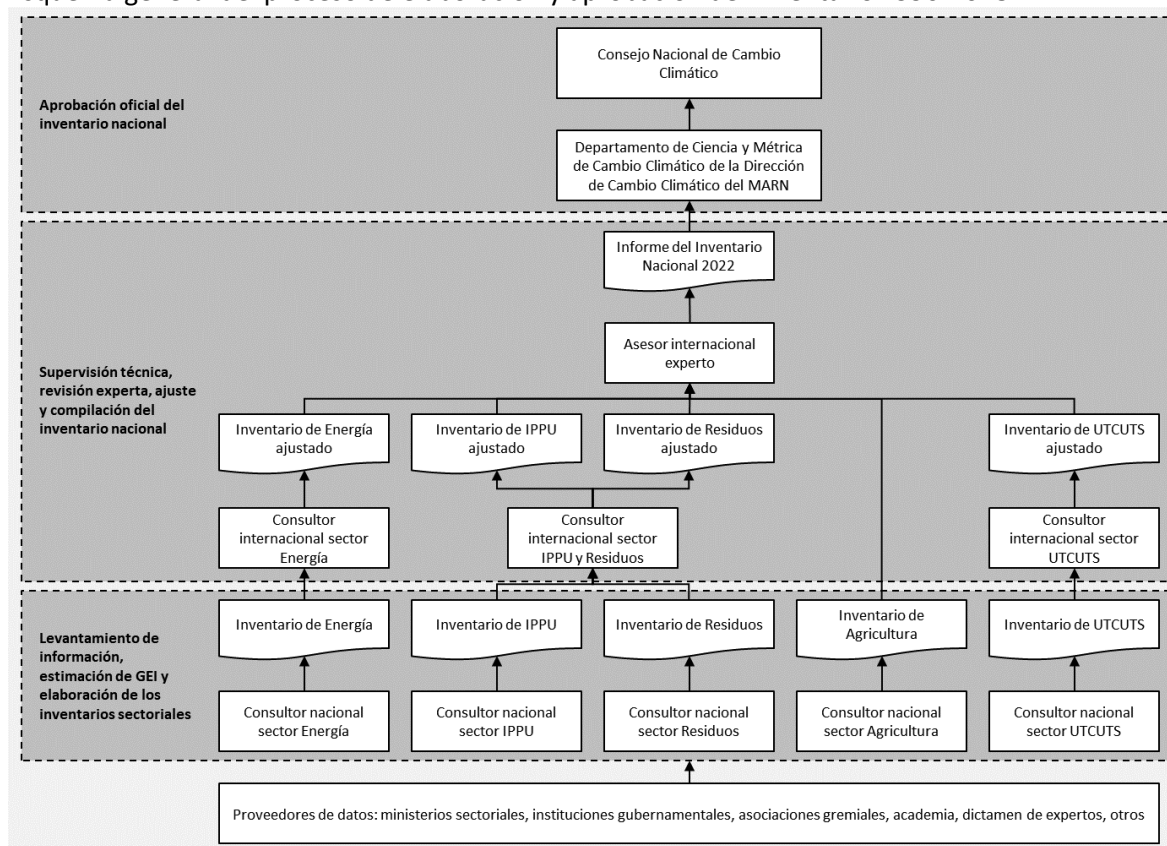
Se espera que el SNIGT y sus herramientas y subsistemas estén operativo en 2023 y que elabore el inventario que será incluido en el *Primer Informe Bienal de Transparencia*, en cumplimiento con los compromisos adquiridos por el país en el marco de transparencia del Acuerdo de París.

1.2.2. Proceso de elaboración y aprobación del inventario

La elaboración del presente inventario contó con la participación de diversos actores nacionales e internacionales liderados por el Departamento de Ciencia y Métrica de Cambio Climático de la Dirección de Cambio Climático del MARN, con el apoyo logístico y la gestión del PNUD Guatemala a través de los recursos financieros del Fondo Mundial para el Medio ambiente (GEF), y con la consulta y aprobación global del Consejo Nacional de Cambio Climático. La Figura 1.1 presenta un esquema general de la elaboración del inventario 1990-2018.

Figura 1.1.

Esquema general del proceso de elaboración y aprobación del inventario 1990-2018



Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

El levantamiento de información desde los proveedores de datos, la estimación de los GEI y la elaboración de los inventarios sectoriales y sus informes fue realizado por consultores nacionales contratados por PNUD y apoyados por ministerios sectoriales e instituciones gubernamentales, como el Ministerio de Energía y Minas (MEM), el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA) y su Consejo Nacional de Desarrollo Agropecuario (CONADEA), el Instituto Nacional de Bosques (INAB), y el Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP), y organizaciones del mundo privado, como la Cámara de Industria de Guatemala, la Cámara del Agro y Cementos Progreso.

Además, se contó con la contratación de un asesor internacional experto en inventarios para la supervisión técnica de todo el proceso, el desarrollo de los temas transversales del inventario, su compilación, y para la edición del *Informe del Inventario Nacional 2022*. Adicionalmente, se contrataron consultores internacionales que realizaron una revisión experta y ajustaron, cuando fue pertinente, las estimaciones sectoriales realizadas por los consultores nacionales.

En el desarrollo del proceso se presentaron brechas y obstáculos de gestión que alteraron la planificación inicial. Esto ratifica la importancia y necesidad de que Guatemala avance en la internalización de la elaboración de sus inventarios con miras a incrementar la eficiencia y eficacia del proceso y garantizar la elaboración de inventarios de calidad.

1.2.3. Archivo de la información

Como parte de las herramientas del SNIGT que están siendo desarrolladas por Guatemala, el Departamento de Ciencia y Métrica de Cambio Climático implementó un subsistema de información que consiste en la documentación y archivo de una serie de elementos (carpetas, documentos y libros de cálculo) para la gestión permanente del SNIGT con el objetivo principal de darle sostenibilidad a la preparación y presentación oportuna del inventario de Guatemala. En general, el subsistema de información actúa en dos áreas centrales:

- Como un archivo para la documentación de toda la información relacionada con los inventarios, especialmente los arreglos institucionales, actividades realizadas para el incremento de la calidad y el fortalecimiento de capacidades, y la sensibilización, y
- Como un espacio de gestión de las herramientas necesarias para estimar y presentar la información sobre los GEI y desarrollar los temas transversales del inventario.

El subsistema cuenta con una nomenclatura alfanumérica estandarizada para designar nombres únicos a cada elemento. La nomenclatura está estructurada en un prefijo que hace referencia al año de presentación del inventario, una raíz que hace referencia al contenido del elemento, y en un sufijo que hace referencia al alcance del archivo, el cual puede ser nacional o sectorial.

Por otra parte, la estructura implementada del subsistema gira en torno a cinco ejes de trabajo:

- Gestión del SNIGT: el eje se basa en la gestión permanente para mantener operativo el SNIGT. Entre otros, se incluirán el reservorio de arreglos legales, acuerdos de trabajo interinstitucionales, contratos, manuales de procedimientos, planes de trabajo, y reuniones de los equipos técnicos.
- Inventario de Guatemala: el eje se basa en los elementos necesarios para la actualización y reporte periódico y oportuno del inventario, asignando áreas de trabajo para cada equipo sectorial específico. Entre otros, se incluirán las herramientas necesarias para gestionar la información, herramientas de cálculo, hojas de resumen sectorial y nacional, las herramientas para los temas transversales y las plantillas para los informes.
- Subsistema de calidad: el eje se basa en establecer un subsistema para la garantía y control de la calidad y verificación del inventario. Entre otros, se incluirá el plan de calidad, el plan de mejora, un reservorio de los estudios o consultorías destinados a mejorar la calidad, y un reservorio para documentar y archivar los procesos de revisión por pares.
- Entrenamiento: el eje se basa en la documentación y archivo de los materiales, talleres y cooperaciones que tienen por objetivo el fomento de las capacidades de los equipos.
- Sensibilización: el eje se basa en la documentación y archivo de los materiales para la sensibilización y divulgación del inventario con sus actores pertinentes.

Para el proceso de elaboración del presente inventario, el subsistema se ha implementado como piloto, por lo tanto, no todas las herramientas esperadas se han elaborado aún, sin embargo, para

cada ciclo del inventario, el subsistema será actualizado y sus herramientas serán elaboradas de acuerdo con los requerimiento y lecciones aprendidas.

1.3. Descripción de las metodologías y fuentes de información

El inventario de Guatemala ha sido elaborado aplicando, por primera vez, las *Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero*¹ (en adelante *Directrices del IPCC de 2006*) para todos los sectores, en línea con las disposiciones de las MPD. Según estas directrices, el abordaje metodológico simple más común para la estimación de los GEI consiste en combinar la información sobre el alcance hasta el cual tiene lugar una actividad humana (datos de actividad), con los coeficientes que cuantifican las emisiones o absorciones por actividad unitaria (factores de emisión). Igualmente, las *Directrices del IPCC de 2006* contienen métodos de equilibrio de masa que son aplicables para el sector UTCUTS.

Además de los abordajes metodológicos, las directrices del IPCC incluyen métodos de Nivel los cuales representan un nivel de complejidad metodológica. En general, se presentan tres niveles. El Nivel 1 es el método básico (usualmente aplicando factores de emisión por defecto), el Nivel 2 es un método intermedio (usualmente aplicando factores de emisión o parámetros país específicos), y el Nivel 3 es el método avanzado más exigente en cuanto a la complejidad y a los requisitos de los datos (usualmente aplicado mediante modelos para tecnologías específicas). Los métodos de Niveles 2 y 3 tienden a generar estimaciones de mayor exactitud y que reflejan de mejor forma las circunstancias nacionales.

En el caso del inventario de Guatemala, los GEI de todos los sectores fueron estimados aplicando el método de Nivel 1, utilizando datos de actividad de las estadísticas nacionales y factores de emisión por defecto. Además, se aplicó el método de Nivel 2 para la *producción de cemento* del sector IPPU, y para algunas fuentes y sumideros de las *tierras forestales, tierras de cultivo y pastizales* del sector UTCUTS. En el caso particular del sector Agricultura, se utilizaron factores de emisión por defecto del *Refinamiento de 2019 a las Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero*² (en adelante *Refinamiento de 2019*) en algunas categorías. Todo lo anterior refleja un importante avance en la calidad de los inventarios del país. El Anexo 3 presenta el resumen de los métodos y factores de emisión aplicados para la serie temporal 1990-2018 por sector, categoría y gas.

Por su parte, la Tabla 1.1 presenta las principales fuentes de información para cada uno de los sectores del inventario de Guatemala.

Tabla 1.1.

Resumen de las principales fuentes de información por sector

Sector	Principal Fuente de información
Energía	<ul style="list-style-type: none"> Balance Energético del Ministerio de Energía y Minas (MEM) Estadística de comercialización de hidrocarburos del MEM
IPPU	<ul style="list-style-type: none"> Anuarios estadísticos mineros y reportes de consumo de hidrocarburos del MEM Encuesta nacional de condiciones de vida del Instituto Nacional de Estadística (INE) Estadísticas de comercio exterior del Banco de Guatemala Estadísticas de hidrofluorocarbonos del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN) Estadísticas de producción de acero de la Organización Mundial del Acero

¹ Disponible en <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/index.html>

² Disponible en <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/index.html>

Sector	Principal Fuente de información
	<ul style="list-style-type: none"> Estadísticas tributarias y de comercio exterior de la Superintendencia de Administración Tributaria
Agricultura	<ul style="list-style-type: none"> Asociación Guatemalteca del Arroz Asociación Nacional del Café Base de datos estadísticos corporativos de la Organización para la Agricultura y la Alimentación (FAOSTAT) Censos nacionales agropecuarios del INE Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático Registro de insumos agrícolas del Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación (MAGA)
UTCUTS	<ul style="list-style-type: none"> Estadísticas de incendios forestales reportados por el Sistema de Información General de Guatemala (SIFGUA) con base en CONAP, INAB, MARN y la Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres (CONRED) Estadísticas de la dinámica de la cobertura forestal reportado por el SIFGUA con base en el Grupo Interinstitucional de Monitoreo de Bosques y Uso de la Tierra (GIMBUT) Estadísticas de producción y comercio forestal de la FAOSTAT
Residuos	<ul style="list-style-type: none"> Asociación Nacional del Café Censos nacionales de población y vivienda del INE Encuesta nacional de condiciones de vida del INE Hoja de balance de alimentos del INE

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

Las herramientas utilizadas para el cálculo de los GEI en la mayoría de los sectores fueron las hojas de trabajo de las *Directrices del IPCC de 2006* adaptadas a las circunstancias nacionales y elaboradas sobre libros de cálculo de MS Excel. En el caso particular del sector Energía, se utilizó el Software del IPCC en su versión 2.69. Por otra parte, para la presentación de información del inventario se utilizó el formato común de reporte (FCR) de la Red Latinoamericana de Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero (RedINGEI).

1.4. Análisis de categorías principales

Según las *Directrices del IPCC de 2006* es una buena práctica que cada país identifique las categorías principales de una forma sistemática y objetiva. Una categoría principal es aquella que repercute significativamente sobre los inventarios de un país en términos del nivel, tendencias o incertidumbre de las emisiones y absorciones de GEI. Estas categorías deben ser la prioridad para enfocar el incremento de la calidad de los inventarios y dar mayor confianza en las estimaciones desarrolladas.

En cuanto a los métodos para la estimación de las categorías principales, el Método 1 evalúa la influencia que ejercen diversas categorías de fuentes y sumideros sobre el nivel (solo un año) y posiblemente la tendencia del inventario, según este método, las categorías principales son aquellas que, al sumarse juntas en orden de magnitud descendente, totalizan el 95 % de la suma del porcentaje individual de cada categoría. Por su parte, el Método 2 se basa en los resultados del análisis de incertidumbre, aportando un conocimiento extra de los motivos por los cuales determinadas categorías son principales sobre el nivel o la tendencia del inventario; las categorías principales, aplicando el Método 2, son aquellas que totalizan el 90 % de la suma del porcentaje individual de cada categoría, incluyendo su incertidumbre.

Guatemala realizó su análisis de categorías principales para los años 1990 y 2018, y para la tendencia 1990-2018, incluyendo y excluyendo al sector UTCUTS, y aplicando el Método 1 y el Método 2 (el cual incluye el análisis de incertidumbres) (Tabla 1.2). Adicionalmente, Guatemala evalúa y analiza el porcentaje en que cada categoría de fuente o sumidero de GEI cumple los criterios con respecto a los criterios potenciales. Esto con el objetivo de poder identificar aquellas categorías de mayor relevancia porcentual y priorizar los esfuerzos del país con miras a mejorar la calidad de sus futuros

inventarios. Es así como, en el presente inventario, son nueve las categorías que cumplen todos los criterios: el CO₂ del *transporte terrestre*; el CH₄ de la quema de biomasa *residencial*; el N₂O de los *fertilizantes inorgánicos*; el CO₂ de las *tierras forestales que permanecen como tales, pastizales convertidos en tierras forestales, tierras forestales convertidas en tierras de cultivo, y de tierras forestales convertidas en pastizales*; y el CH₄ de los *sitios de disposición de residuos gestionados y de los sitios de disposición de residuos no gestionados*.

El Anexo 1 presenta la estimación de las categorías principales por cada uno de los criterios evaluados.

Tabla 1.2.

Resumen del análisis de categorías principales para 1990, 2018 y de la tendencia 1990-2018

A	B	C	D											E					
			Código	Categorías de fuente y sumidero de GEI	GEI	1990				2018				Tendencia			Criterios		
						N1 CUT	N1 SUT	N2 CUT	N2 SUT	N1 CUT	N1 SUT	N2 CUT	N2 SUT	T1 CUT	T1 SUT	T2 CUT	T2 SUT	Cumple	Posibles
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Líquido	CO ₂	X	X			X	X				X	X			5	12	41.7%	
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Sólido	CO ₂					X	X	X	X	X	X	X	X	8	12	66.7%		
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Biomasa	N ₂ O								X		X		X	3	12	25.0%		
1.A.1.b.	Refinación del petróleo - Líquido	CO ₂	X	X		X		X			X	X		X	7	12	58.3%		
1.A.2.	Industrias manufactureras y de la construcción - Líquido	CO ₂	X	X		X	X	X		X	X	X			8	12	66.7%		
1.A.3.b.	Transporte terrestre	CO₂	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	12	12	100.0%		
1.A.3.b.	Transporte terrestre	N ₂ O				X		X	X	X		X	X	X	7	12	58.3%		
1.A.4.a.	Comercial / Institucional - Líquido	CO ₂		X								X			2	12	16.7%		
1.A.4.a.	Comercial / Institucional - Biomasa	CH ₄								X					1	12	8.3%		
1.A.4.b.	Residencial - Líquido	CO ₂	X	X			X	X			X	X			6	12	50.0%		
1.A.4.b.	Residencial - Biomasa	CH₄	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	12	12	100.0%		
1.A.4.b.	Residencial - Biomasa	N ₂ O	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	11	12	91.7%			
2.A.1.	Producción de cemento	CO ₂	X	X	X	X	X	X		X	X	X			9	12	75.0%		
2.A.2.	Producción de cal	CO ₂	X	X			X	X				X			5	12	41.7%		
2.F.1.	Refrigeración y aire acondicionado	HFC					X	X	X	X	X	X	X	8	12	66.7%			
3.A.1.a.	Vacas lecheras	CH ₄	X	X	X	X	X	X				X		X	8	12	66.7%		
3.A.1.b.	Otros vacunos	CH ₄	X	X	X	X	X	X	X	X		X		X	10	12	83.3%		
3.A.2.	Ovinos	CH ₄		X								X		X	3	12	25.0%		
3.A.4.e.	Equinos	CH ₄		X								X		X	3	12	25.0%		
3.B.1.b.	Otros vacunos	CH ₄		X								X			2	12	16.7%		
3.B.1.b.	Otros vacunos	N ₂ O				X						X		X	3	12	25.0%		
3.B.3.	Porcinos	N ₂ O				X									1	12	8.3%		
3.B.5.	Emisiones indirectas de N ₂ O	N ₂ O			X	X		X	X	X		X		X	7	12	58.3%		
3.C.2.	Alimentadas a lluvia	CH ₄				X						X		X	3	12	25.0%		
3.D.1.a.	Fertilizantes inorgánicos	N₂O	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	12	12	100.0%		
3.D.1.b.i.	Estiércol animal aplicado a los suelos	N ₂ O		X	X	X		X	X	X		X		X	8	12	66.7%		
3.D.1.c.	Orina y estiércol depositado por animales de pastoreo	N ₂ O		X	X	X		X	X	X		X		X	8	12	66.7%		

Anexo técnico del 1IBA de Guatemala: Informe del Inventario Nacional 2022

A Código	B Categorías de fuente y sumidero de GEI	C GEI	D											E				
			1990				2018				Tendencia			Criterios				
			N1 CUT	N1 SUT	N2 CUT	N2 SUT	N1 CUT	N1 SUT	N2 CUT	N2 SUT	T1 CUT	T1 SUT	T2 CUT	T2 SUT	Cumple	Posibles	% Cumple	
3.D.1.d.	Residuos de cosechas	N ₂ O		X	X	X	X	X	X	X	X			X		8	12	66.7%
3.D.2.a.	Deposición atmosférica	N ₂ O		X	X	X		X	X	X		X	X	X		9	12	75.0%
3.D.2.b.	Lixiviación y escurrimiento	N ₂ O	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X		11	12	91.7%
3.E.	Quema prescrita de sabanas	CH ₄	X	X	X	X		X			X	X	X	X		9	12	75.0%
3.E.	Quema prescrita de sabanas	N ₂ O	X	X	X	X		X			X	X	X	X		9	12	75.0%
3.F.	Quema de residuos agrícola en el campo	CH ₄		X	X	X		X		X		X		X		7	12	58.3%
4.A.1.	Tierras forestales que permanecen como tales	CO₂	X		X		X		X		X		X		6	6	100.0%	
4.A.1.	Tierras forestales que permanecen como tales	CH ₄	X		X		X									3	6	50.0%
4.A.2.a.	Tierras de cultivo convertidas en tierras forestales	CO ₂					X		X		X		X			4	6	66.7%
4.A.2.b.	Pastizales convertidos en tierras forestales	CO₂	X		X		X		X		X		X		6	6	100.0%	
4.B.2.a.	Tierras forestales convertidas en tierras de cultivo	CO₂	X		X		X		X		X		X		6	6	100.0%	
4.B.2.b.	Pastizales convertidos en tierras de cultivo	CO ₂	X		X						X		X			4	6	66.7%
4.C.2.a.	Tierras forestales convertidas en pastizales	CO₂	X		X		X		X		X		X		6	6	100.0%	
4.C.2.b.	Tierras de cultivo convertidas en pastizales	CO ₂									X					1	6	16.7%
4.F.2.a.	Tierras forestales convertidas en otras tierras	CO ₂	X				X				X					3	6	50.0%
5.A.1.	Sitios de disposición de residuos gestionados	CH₄	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	12	12	100.0%	
5.A.2.	Sitios de disposición de residuos no gestionados	CH₄	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	12	12	100.0%	
5.C.2.	Incineración abierta de residuos	CO ₂		X		X		X		X						4	12	33.3%
5.C.2.	Incineración abierta de residuos	CH ₄		X				X								2	12	16.7%
5.D.1.	Aguas residuales domésticas	N ₂ O		X			X	X			X					4	12	33.3%

Nota respecto a los criterios: N1 = evaluación de nivel aplicando el Método 1; N2 = evaluación de nivel aplicando el Método 2; T1 = evaluación de la tendencia aplicando el Método 1; T2 = evaluación de tendencia aplicando el Método 2; CUT = evaluación con UTCUTS; SUT = evaluación sin UTCUTS.

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

1.5. Descripción del plan de GCCV y su implementación

Según las *Directrices del IPCC de 2006*, es una buena práctica establecer y aplicar procedimientos de garantía y control de calidad, y verificación (GCCV) para el desarrollo de inventarios que puedan evaluarse fácilmente con respecto a la calidad (transparencia, coherencia, comparabilidad, exhaustividad y exactitud).

Las actividades de GCCV fueron parte integral del proceso del inventario. Los resultados de las actividades de GCCV produjeron la reevaluación de las estimaciones reportadas anteriormente por Guatemala en sus comunicaciones nacionales y, por consiguiente, mejoras en las estimaciones de las emisiones y absorciones que son parte de este reporte.

En cuanto al control de la calidad, el cual consiste en actividades técnicas rutinarias destinadas a evaluar y mantener la calidad del inventario a medida que se elabora, se aplicaron actividades generales y específicas señaladas en las *Directrices del IPCC de 2006*. Estas actividades fueron llevadas a cabo mientras los consultores realizaban las estimaciones de GEI de cada categoría y sector, así como por los consultores internacionales durante el proceso de ajuste, y también por el asesor internacional experto mediante el proceso de compilación sectorial y elaboración del *Informe del Inventario Nacional 2022*.

Respecto a la garantía de calidad, la cual consiste en procedimientos de revisión efectuados por personal que no participó directamente del proceso de elaboración del inventario, una vez elaborados los inventarios sectoriales por parte de los consultores nacionales, los consultores internacionales realizaron una revisión exhaustiva al trabajo desarrollado y ajustaron, cuando fue pertinente, las estimaciones realizadas. Además, el presente inventario fue sometido a revisión por parte del Consejo Nacional de Cambio Climático, quien otorga su aprobación oficial.

Por último, con lo que respecta a la verificación, la cual consiste en métodos externos al inventario que aplican datos independientes —entre lo que se incluyen las comparaciones con estimaciones del inventario efectuadas por otros organismos o por métodos alternativos—, las principales actividades fue la comparación entre el método de referencia y el método sectorial en el sector Energía, la comparación de las emisiones de CO₂ de la producción de cemento mediante la aplicación del método de Nivel 1 y el Nivel 2, comparación de las estimaciones de los sectores de Agricultura y UTCUTS con respecto a las estimaciones reportadas en FAOSTAT, y la comparación de las emisiones de *aguas residuales domésticas* del sector Residuos aplicando el consumo de proteína per cápita nacional con respecto a las emisiones reportadas por FAOSTAT.

Todas las actividades de GCCV implementadas en el presente inventario fueron documentadas y archivadas en el subsistema de información del SNIGT.

Además de lo descrito anteriormente, Guatemala está llevando a cabo el proceso de diseño y establecimiento de un subsistema de calidad, como parte esencial del SNIGT, para la mantención y el incremento de la calidad de los inventarios futuros. Los siguientes componentes formarán parte del subsistema de calidad del SNIGT: plan de GCCV, un registro de las actividades de GCCV implementadas con referencia a la documentación y los resultados asociados; y el plan de mejora que contenga mejoras potenciales, planificadas e implementadas.

1.6. Evaluación general de la incertidumbre

Según las *Directrices del IPCC de 2006*, la estimación de las incertidumbres constituye un elemento esencial para un inventario exhaustivo. La estimación y reporte de las incertidumbres permiten priorizar los esfuerzos para mejorar la exactitud de los inventarios en el futuro y definir los temas específicos en los que es necesario realizar acciones a fin de enriquecer los atributos del inventario y orientar las decisiones sobre la elección de la metodología.

El análisis de la incertidumbre del inventario 1990-2018 de Guatemala fue realizado utilizando el Método 1 de Propagación del Error, el cual sirve para estimar las incertidumbres en las categorías individuales (datos de actividad y factores de emisión) en todo el inventario, ya sea en la tendencia o en un año en particular.

A nivel nacional, la incertidumbre del inventario fue de $\pm 21.0\%$ en 2018, mientras que la incertidumbre de la tendencia 1990-2018 fue $\pm 32.2\%$. En general, la incertidumbre combinada del inventario está dominada por la utilización de factores de emisión por defecto, especialmente de aquellos relacionados con el CH_4 y N_2O . Esto presenta un importante desafío para el país con respecto a la necesidad de desarrollar factores de emisión país específico para representar de mejor forma las circunstancias nacionales y, por lo tanto, la reducción general de la incertidumbre.

En el sector Energía, la incertidumbre fue de $\pm 24.4\%$ en 2018, y $\pm 45.3\%$ para la tendencia 1990-2018. En general, la incertidumbre combinada está dominada por la utilización de factores de emisión por defecto. Las fuentes de emisión con mayor contribución a la varianza fueron las emisiones de metano, seguido de las emisiones de N_2O , de la quema de biomasa en la categoría *residencial*, y las emisiones de CO_2 del *transporte terrestre*.

En el sector IPPU, la incertidumbre fue de $\pm 31.5\%$ en 2018, y $\pm 109.0\%$ para la tendencia 1990-2018. En general, la incertidumbre combinada está dominada por la utilización de factores de emisión por defecto. Las fuentes de emisión con mayor contribución a la varianza fueron las emisiones de HFC de la categoría *refrigeración y aire acondicionado*, las emisiones de CO_2 de la *producción de cemento*, y las emisiones de CO_2 del *uso de lubricantes*.

En el sector Agricultura, la incertidumbre fue de $\pm 54.3\%$ en 2018, y $\pm 58.0\%$ para la tendencia 1990-2018. En general, la incertidumbre combinada está dominada por la utilización de factores de emisión por defecto. Las fuentes de emisión con mayor contribución a la varianza fueron las emisiones de CH_4 de la *fermentación entérica de otros vacunos*, las emisiones indirectas de N_2O de la *lixiviación y escurrimiento en los suelos agrícolas*, y las emisiones directas de N_2O de los *fertilizantes inorgánicos aplicados en los suelos agrícolas*.

En el sector UTCUTS, la incertidumbre fue de $\pm 36.9\%$ en 2018, y $\pm 45.9\%$ para la tendencia 1990-2018. En general, la incertidumbre combinada está dominada por los factores de emisión país específico utilizados. Las fuentes o sumideros con mayor contribución a la varianza fueron las emisiones de CO_2 de las *tierras forestales que permanecen como tales*, las emisiones de CO_2 de las *tierras forestales convertidas en pastizales*, y las absorciones de CO_2 de los *pastizales convertidos en tierras forestales*.

Finalmente, en el sector Residuos, la incertidumbre fue de $\pm 81.0\%$ en 2018, y $\pm 273.2\%$ para la tendencia 1990-2018. En general, la incertidumbre combinada está dominada por los datos de

actividad utilizados. Las fuentes de emisión con mayor contribución a la varianza fueron las emisiones de CH₄ de los *sitios de disposición de residuos gestionados*, las emisiones de CH₄ de los *sitios de disposición de residuos no gestionados*, y las emisiones de CO₂ de la *incineración abierta de residuos*.

El Anexo 2 presenta la estimación de la incertidumbre de 2018 y la tendencia de 1990-2018 del país.

1.7. Evaluación general de la exhaustividad

Según las *Directrices del IPCC de 2006*, un inventario es exhaustivo cuando se declaran las estimaciones para todas las categorías pertinentes de fuentes y sumideros, y en caso de que falte alguno de los elementos se debe documentar claramente su ausencia junto con la respectiva justificación de la exclusión.

El inventario de Guatemala incluye todo el territorio nacional e incluye emisiones de CO₂, CH₄, N₂O, HFC y absorciones de CO₂ para la serie 1990-2018. Las emisiones de SF₆ no fueron estimadas por falta de información, mientras que las emisiones de PFC y NF₃ no ocurren en el país. En cuanto a los gases precursores, se reportan emisiones de óxidos de nitrato (NO_x), monóxido de carbono (CO), compuestos orgánicos volátiles diferentes del metano (COVDM) y dióxido de azufre (SO₂).

Las fuentes o sumideros de GEI del inventario que no fueron estimadas, por la falta de información y datos de actividad, se encuentran en la Tabla 1.3. Es importante mencionar que en el presente inventario no se han excluido fuentes o sumideros de GEI debido a que sean consideradas insignificantes.

Tabla 1.3.

Fuentes y sumideros de GEI del inventario de Guatemala no estimados

GEI	Sector	Categorías de fuente y sumidero
CO ₂	Energía	1.A.1.c. Manufactura de combustibles sólidos y otras industrias de la energía
	Energía	1.A.5. Otros (especificar)
	Energía	1.B.2.b. Gas natural
	IPPU	2.C.5. Producción de plomo
	Agricultura	3.G. Encalado
	UTCUTS	Depósito de carbono de madera muerta, hojarasca y materia orgánica del suelo para todas las categorías de tierras
	UTCUTS	4.C.1. Pastizales que permanecen como tales
	UTCUTS	4.D.1. Humedales que permanecen como tales
	UTCUTS	4.E.1. Asentamientos que permanecen como tales
	UTCUTS	4.F.1. Otras tierras que permanecen como tales
	Residuos	5.C.1. Incineración de residuos
CH ₄	Energía	1.A.1.c. Manufactura de combustibles sólidos y otras industrias de la energía
	Energía	1.A.5. Otros (especificar)
	Energía	1.B.2.b. Gas natural
	Agricultura	3.A.4.b. Camélidos
	Agricultura	3.A.4.c. Ciervos
	Agricultura	3.B.4.b. Camélidos
	Agricultura	3.B.4.c. Ciervos
	Agricultura	3.F.3. Tubérculos y raíces
	UTCUTS	4.B.1. Cultivos que permanecen como tales – perturbaciones

Anexo técnico del IBA de Guatemala: Informe del Inventario Nacional 2022

GEI	Sector	Categorías de fuente y sumidero
	UTCUTS	4.C.1. Pastizales que permanecen como tales – perturbaciones
	Residuos	5.C.1. Incineración de residuos
	Residuos	5.B.2. Digestión anaeróbica en instalaciones de biogás
N ₂ O	Energía	1.A.1.c. Manufactura de combustibles sólidos y otras industrias de la energía
	Energía	1.A.5. Otros (especificar)
	Energía	1.B.2.a. Petróleo
	IPPU	2.G.3. N ₂ O de usos de productos
	Agricultura	3.B.4.b. Camélidos
	Agricultura	3.B.4.c. Ciervos
	Agricultura	3.D.1.e. Mineralización de la materia orgánica del suelo
	Agricultura	3.D.1.f. Cultivo de suelos orgánicos (histosoles)
	Agricultura	3.F.3. Tubérculos y raíces
	UTCUTS	4.B.1. Cultivos que permanecen como tales – perturbaciones
	UTCUTS	4.C.1. Pastizales que permanecen como tales – perturbaciones
	Residuos	5.C.1. Incineración de residuos
	Residuos	5.B.2. Digestión anaeróbica en instalaciones de biogás
	Residuos	5.D.2. Aguas residuales industriales
SF ₆	IPPU	2.G.1. Equipos eléctricos
	IPPU	2.G.2. SF ₆ y PFC de otros usos de productos

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

Con respecto a las categorías incluidas en otro lugar, la Tabla 1.4 presenta las asignaciones que ha hecho el país y la explicación correspondiente.

Tabla 1.4.

Fuentes y sumideros de GEI del inventario de Guatemala reportados como incluidos en otro lugar

GEI	Asignación según las Directrices del IPCC de 2006	Asignación según el país	Explicación o comentario
CO ₂	1.A.2.a. Hierro y acero	1.A.2. Industrias manufactureras y de la construcción	No se cuenta con datos desagregados por industria
	1.A.2.b. Metales no ferrosos	1.A.2. Industrias manufactureras y de la construcción	No se cuenta con datos desagregados por industria
	1.A.2.c. Sustancias químicas	1.A.2. Industrias manufactureras y de la construcción	No se cuenta con datos desagregados por industria
	1.A.2.d. Pulpa, papel e imprenta	1.A.2. Industrias manufactureras y de la construcción	No se cuenta con datos desagregados por industria
	1.A.2.e. Procesamiento de alimentos, bebidas y tabaco	1.A.2. Industrias manufactureras y de la construcción	No se cuenta con datos desagregados por industria
	1.A.2.f. Minerales no metálicos	1.A.2. Industrias manufactureras y de la construcción	No se cuenta con datos desagregados por industria
	1.A.3.c. Ferrocarriles	1.A.3.b. Transporte terrestre	No se cuenta con datos desagregados para este tipo de transporte
	1.A.3.d. Navegación marítima y fluvial	1.A.3.b. Transporte terrestre	No se cuenta con datos desagregados para este tipo de transporte
	1.A.3.e. Otro tipo de transporte	1.A.3.b. Transporte terrestre	No se cuenta con datos desagregados para este tipo de transporte
	1.A.4.c. Agricultura / Silvicultura / Pesca	1.A.2. Industrias manufactureras y de la construcción	No se cuenta con datos desagregados para esta fuente
	4.C.1. Pastizales que permanecen como tales — perturbaciones	4.A.1. Tierras forestales que permanecen como tales — perturbaciones	No se cuenta con datos de incendios desagregados por categoría de tierra

Anexo técnico del 1IBA de Guatemala: Informe del Inventario Nacional 2022

<i>GEI</i>	<i>Asignación según las Directrices del IPCC de 2006</i>	<i>Asignación según el país</i>	<i>Explicación o comentario</i>
	Navegación internacional	1.A.3.b. Transporte terrestre	No se cuenta con información desagregada
	Operaciones multilaterales	1.A.3.b. Transporte terrestre	No se cuenta con información desagregada
CH ₄	1.A.2.a. Hierro y acero	1.A.2. Industrias manufactureras y de la construcción	No se cuenta con datos desagregados por industria
	1.A.2.b. Metales no ferrosos	1.A.2. Industrias manufactureras y de la construcción	No se cuenta con datos desagregados por industria
	1.A.2.c. Sustancias químicas	1.A.2. Industrias manufactureras y de la construcción	No se cuenta con datos desagregados por industria
	1.A.2.d. Pulpa, papel e imprenta	1.A.2. Industrias manufactureras y de la construcción	No se cuenta con datos desagregados por industria
	1.A.2.e. Procesamiento de alimentos, bebidas y tabaco	1.A.2. Industrias manufactureras y de la construcción	No se cuenta con datos desagregados por industria
	1.A.2.f. Minerales no metálicos	1.A.2. Industrias manufactureras y de la construcción	No se cuenta con datos desagregados por industria
	1.A.3.c. Ferrocarriles	1.A.3.b. Transporte terrestre	No se cuenta con datos desagregados para este tipo de transporte
	1.A.3.d. Navegación marítima y fluvial	1.A.3.b. Transporte terrestre	No se cuenta con datos desagregados para este tipo de transporte
	1.A.3.e. Otro tipo de transporte	1.A.3.b. Transporte terrestre	No se cuenta con datos desagregados para este tipo de transporte
	1.A.4.c. Agricultura / Silvicultura / Pesca	1.A.2. Industrias manufactureras y de la construcción	No se cuenta con datos desagregados para esta fuente
	4.C.1. Pastizales que permanecen como tales — perturbaciones	3.E. Quema prescrita de sabanas	No se cuenta con datos de incendios desagregados por categoría de tierra
	Navegación internacional	1.A.3.b. Transporte terrestre	No se cuenta con información desagregada
	Operaciones multilaterales	1.A.3.b. Transporte terrestre	No se cuenta con información desagregada
N ₂ O	1.A.2.a. Hierro y acero	1.A.2. Industrias manufactureras y de la construcción	No se cuenta con datos desagregados por industria
	1.A.2.b. Metales no ferrosos	1.A.2. Industrias manufactureras y de la construcción	No se cuenta con datos desagregados por industria
	1.A.2.c. Sustancias químicas	1.A.2. Industrias manufactureras y de la construcción	No se cuenta con datos desagregados por industria
	1.A.2.d. Pulpa, papel e imprenta	1.A.2. Industrias manufactureras y de la construcción	No se cuenta con datos desagregados por industria
	1.A.2.e. Procesamiento de alimentos, bebidas y tabaco	1.A.2. Industrias manufactureras y de la construcción	No se cuenta con datos desagregados por industria
	1.A.2.f. Minerales no metálicos	1.A.2. Industrias manufactureras y de la construcción	No se cuenta con datos desagregados por industria
	1.A.3.c. Ferrocarriles	1.A.3.b. Transporte terrestre	No se cuenta con datos desagregados para este tipo de transporte
	1.A.3.d. Navegación marítima y fluvial	1.A.3.b. Transporte terrestre	No se cuenta con datos desagregados para este tipo de transporte
	1.A.3.e. Otro tipo de transporte	1.A.3.b. Transporte terrestre	No se cuenta con datos desagregados para este tipo de transporte
	1.A.4.c. Agricultura / Silvicultura / Pesca	1.A.2. Industrias manufactureras y de la construcción	No se cuenta con datos desagregados para esta fuente
	4.C.1. Pastizales que permanecen como tales — perturbaciones	3.E. Quema prescrita de sabanas	No se cuenta con datos de incendios desagregados por categoría de tierra
	Navegación internacional	1.A.3.b. Transporte terrestre	No se cuenta con información desagregada

GEI	Asignación según las Directrices del IPCC de 2006	Asignación según el país	Explicación o comentario
	Operaciones multilaterales	1.A.3.b. Transporte terrestre	No se cuenta con información desagregada
HFC	2.F.2. Agentes espumantes	2.F.1. Refrigeración y aire acondicionado	Falta de desagregación de HFC por aplicación
	2.F.3. Protección contra incendios	2.F.1. Refrigeración y aire acondicionado	Falta de desagregación de HFC por aplicación
	2.F.4. Aerosoles	2.F.1. Refrigeración y aire acondicionado	Falta de desagregación de HFC por aplicación
	2.F.5. Solventes	2.F.1. Refrigeración y aire acondicionado	Falta de desagregación de HFC por aplicación
	2.F.6. Otras aplicaciones	2.F.1. Refrigeración y aire acondicionado	Falta de desagregación de HFC por aplicación

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

1.8. Sistema de medición

Para el reporte conjunto de las emisiones y absorciones de los diferentes GEI se aplicaron los potenciales de calentamiento atmosférico (PCA) del *Cuarto Informe de Evaluación del IPCC (AR4)*³, de manera tal que las estimaciones pudieran ser expresadas en unidades de dióxido de carbono equivalente (CO₂ eq). La **Tabla 1.5** muestra los valores de PCA utilizados.

Tabla 1.5.

Potenciales de calentamiento atmosférico aplicados en el inventario 1990-2018

Nombre comercial o común	Fórmula química	Valor
Dióxido de carbono	CO ₂	1
Metano	CH ₄	25
Óxido nitroso	N ₂ O	298
HFC-23	CHF ₃	14,800
HFC-32	CH ₂ F ₂	675
HFC-125	CHF ₂ CF ₃	3,500
HFC-134a	CH ₂ FCF ₃	1,430
HFC-143a	CH ₃ CF ₃	4,470
HFC-152a	CH ₃ CHF ₂	124
HFC-227ea	CF ₃ CHF ₂ CF ₃	3,220
HFC-236fa	CF ₃ CH ₂ CF ₃	9,810
HFC-245fa	CH ₂ FCF ₂ CHF ₂	1,030
HFC-365mfc	CH ₃ CF ₂ CH ₂ CF ₃	794
HFC-43-10mee	CF ₃ CHF ₂ CF ₂ CF ₃	1,640

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en el AR4 del IPCC (IPCC, 2007).

³ Disponible en <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4-wg1-chapter2-1.pdf>

CAPÍTULO 2: TENDENCIA DE LAS EMISIONES Y ABSORCIONES NACIONALES

2.1. Descripción de las emisiones y absorciones de GEI de 2018

En 2018, las emisiones y absorciones de gases de efecto invernadero incluidas en el inventario de Guatemala, por tipo de GEI, fueron 50,101.9 kt CO₂; 333.1 kt CH₄; 9.8 kt N₂O; y 713.6 kt CO₂ eq de HFC (Tabla 2.1). Las emisiones SF₆ no fueron estimadas por falta de datos de actividad, mientras que las emisiones de PFC y NF₃ no ocurren en el país. Es relevante hacer notar que Guatemala es una fuente neta de GEI, lo que significa que en el país se emiten más GEI de los que son absorbidos desde la atmósfera. El Anexo 4 presenta el resumen de los inventarios presentados previamente por Guatemala en sus comunicaciones nacionales.

Tabla 2.1.

Resumen del inventario nacional de gases de efecto invernadero por sector, categoría y GEI para 2018

Código	Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero	CO ₂ (kt)	CH ₄ (kt)	N ₂ O (kt)	HFC (kt CO ₂ eq)	PFC (kt CO ₂ eq)	SF ₆ (kt CO ₂ eq)	NF ₃ (kt CO ₂ eq)
	Todas las emisiones y las absorciones nacionales	50,101.9	333.1	9.8	713.6	NO	NE, NO	NO
1.	Energía	18,100.9	91.2	1.9				
1.A.	Actividades de quema de combustible	18,100.9	91.2	1.9				
1.A.1.	Industrias de la energía	5,517.9	1.6	0.3				
1.A.2.	Industrias manufactureras y de la construcción	1,943.7	0.1	0.0				
1.A.3.	Transporte	9,683.2	2.5	0.5				
1.A.4.	Otros sectores	956.2	87.0	1.2				
1.A.5.	Otros (especificar)	NO	NO	NO				
1.B.	Emisiones fugitivas de combustibles	0.0	0.0	NO				
1.B.1.	Combustibles sólidos	NO	NO	NO				
1.B.2.	Petróleo y gas natural y otras emisiones de la producción de energía	0.0	0.0	NO				
1.C.	Transporte y almacenamiento de CO ₂	NO						
2.	Procesos industriales y uso de productos	1,279.1	NO	NE, NO	713.6	NO	NE, NO	NO
2.A.	Industria de los minerales	1,223.3						
2.B.	Industria química	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
2.C.	Industria de los metales	24.3	NO	NO	NO	NO	NO	NO
2.D.	Productos no energéticos de combustibles y uso de solventes	31.5	NO	NO				
2.E.	Industria electrónica				NO	NO	NO	NO
2.F.	Uso de productos sustitutos de las SAO				713.6	NO	NO	NO
2.G.	Manufactura y utilización de otros productos	NO	NO	NE	NO	NO	NE	NO
2.H.	Otros (especificar)	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
3.	Agricultura	37.3	183.3	6.5				
3.A.	Fermentación entérica		167.6					
3.B.	Gestión del estiércol		5.9	0.9				
3.C.	Cultivo del arroz		0.7					
3.D.	Suelos agrícolas			5.1				
3.E.	Quema prescrita de sabanas		3.7	0.3				
3.F.	Quema de residuos agrícola en el campo		5.2	0.1				
3.G.	Encalado	NE						

Anexo técnico del 1IBA de Guatemala: Informe del Inventario Nacional 2022

Código	Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero	CO ₂ (kt)	CH ₄ (kt)	N ₂ O (kt)	HFC (kt CO ₂ eq)	PFC (kt CO ₂ eq)	SF ₆ (kt CO ₂ eq)	NF ₃ (kt CO ₂ eq)
3.H.	Aplicación de urea	37.3						
3.I.	Otros fertilizantes que contienen carbono	NO						
3.J.	Otros (especificar)	NO	NO	NO				
4.	Uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura	30,513.1	8.6	0.3				
4.A.	Tierras forestales	16,036.8	8.6	0.3				
4.B.	Tierras de cultivo	3,475.3	IE	IE				
4.C.	Pastizales	10,396.0	IE	IE				
4.D.	Humedales	90.9	NE	NE				
4.E.	Asentamientos	167.6	NO	NO				
4.F.	Otras tierras	346.4	NO	NO				
4.G.	Productos de madera recolectada	NE						
4.H.	Otros (especificar)	NO	NO	NO				
5.	Residuos	171.5	50.0	1.1				
5.A.	Disposición de residuos sólidos	NA	36.2					
5.B.	Tratamiento biológico de residuos sólidos		1.8	0.1				
5.C.	Incineración y quema abierta de residuos	171.5	6.9	0.2				
5.D.	Tratamiento y descarga de aguas residuales		5.1	0.8				
5.E.	Otros (especificar)	NO	NO	NO				
	Elementos informativos							
	Tanque internacional	316.1	0.0	0.0				
	Aviación internacional	316.1	0.0	0.0				
	Navegación internacional	IE	IE	IE				
	Operaciones multilaterales	NO	NO	NO				
	Emisiones de CO ₂ de la biomasa	37,542.3						
	CO ₂ capturado	NO						
	Almacenamiento a largo plazo de C en sitios de disposición de residuos	77.3						
	N ₂ O indirecto			NE				
	CO ₂ indirecto	NE						

Nota 1: NA = no aplica; NE = no estimado; NO = no ocurre; IE = incluido en otro lugar; C = confidencial.

Nota 2: los GEI reportados como 0.0 corresponden a valores menores a 0.04 kt CO₂ eq.

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

2.2. Descripción de la tendencia de los GEI por sector

En 2018, el balance nacional entre emisiones y absorciones de GEI fue de 62,058.6 kt CO₂ eq —incluyendo al sector UTCUTS—, aumentando el balance tendiente a las emisiones netas en un 44.6 % desde 1990 e incrementándose en un 16.0 % desde 2005 (Tabla 2.2), último año incluido en el inventario presentado como parte de la *Segunda Comunicación Nacional de Guatemala* (MARN, 2015b). Es de notar que Guatemala es un emisor neto de GEI durante toda la serie temporal, emitiendo mayor cantidad de GEI que el CO₂ absorbido por los bosques del país (los que son contabilizados como parte de la categoría *tierras forestales*).

Con respecto a la participación de cada sector en el balance nacional, en términos absolutos, el sector UTCUTS fue el de mayor relevancia, con un 49.6 %, seguido del sector Energía con un 33.8 %, un 10.6 % del sector Agricultura, un 3.2 % del sector IPPU, y finalmente un 2.8 % del sector Residuos (Figura 2.1Figura 2.). Esto demuestra una vez más la relevancia significativa que tienen los bosques en el país y su deforestación o degradación, lo que genera que los bosques hayan sido una fuente de emisión y no un sumidero neto de absorciones de CO₂ durante toda la serie temporal.

Tabla 2.2.

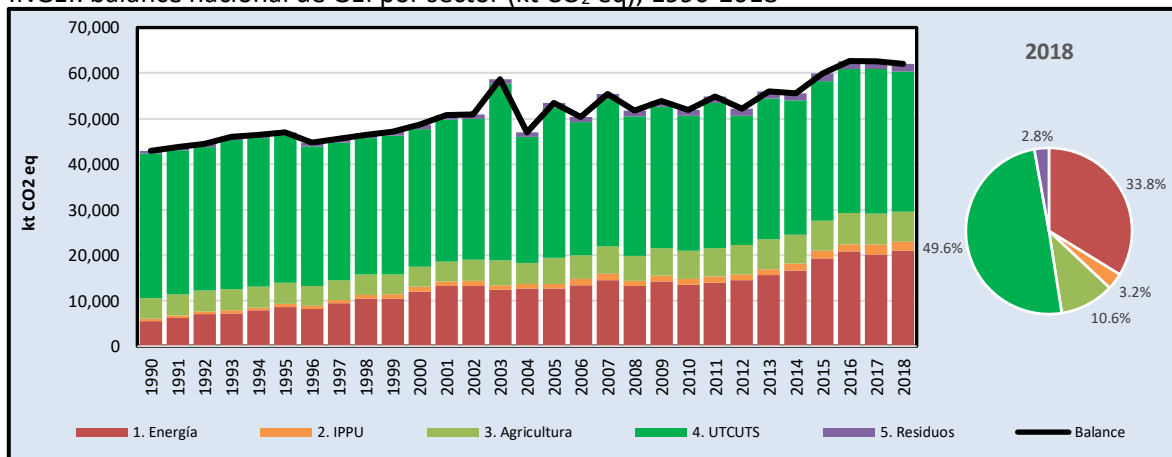
INGEI: balance nacional de GEI por sector (kt CO₂ eq)

Sector	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
1. Energía	5,540.3	8,586.3	12,026.4	12,662.6	13,579.5	19,346.2	20,778.6	20,170.6	20,958.1
2. IPPU	571.3	696.7	1,019.7	992.4	1,204.2	1,588.3	1,665.3	2,257.1	1,992.8
3. Agricultura	4,514.7	4,631.4	4,474.8	5,755.3	6,193.1	6,580.8	6,848.3	6,702.8	6,552.9
4. UTCUTS	31,661.0	32,297.6	30,172.1	33,003.8	29,600.1	30,754.3	31,638.1	31,721.8	30,804.0
5. Residuos	627.3	741.8	924.0	1,069.0	1,386.0	1,639.5	1,709.7	1,684.3	1,750.8
Balance	42,914.6	46,953.9	48,616.9	53,483.2	51,962.9	59,909.1	62,640.0	62,536.7	62,058.6

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

Figura 2.1.

INGEI: balance nacional de GEI por sector (kt CO₂ eq), 1990-2018



Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

En cuanto a las emisiones totales de GEI de 2018 —excluyendo al sector UTCUTS—, se registraron un total de 31,254.6 kt CO₂ eq, incrementándose en un 177,7 % desde 1990 y en un 52.6 % desde 2005 (Tabla 2.3). El sector Energía fue el sector de mayor impacto en las emisiones totales,

aportando 20.958,1 kt CO₂ eq (67,1 %), seguido del sector Agricultura con 6.552,9 kt CO₂ eq (21,0 %), del sector IPPU con 1,992.8 kt CO₂ eq (6,4 %) y, finalmente, el sector Residuos aportando con 1,750.8 kt CO₂ eq (5,6 %) (Figura 2.2). En el contexto de las emisiones totales, resalta el aumento de la importancia del sector Energía a través de la serie temporal, ya que su representación en 1990 era de 49,2 %, aumentando a 61,8 % en 2005 y, finalmente, representando el 67.1 % en 2018. A su vez, el sector Energía está dominado por las emisiones de GEI del consumo de combustibles fósiles en el transporte.

Tabla 2.3.

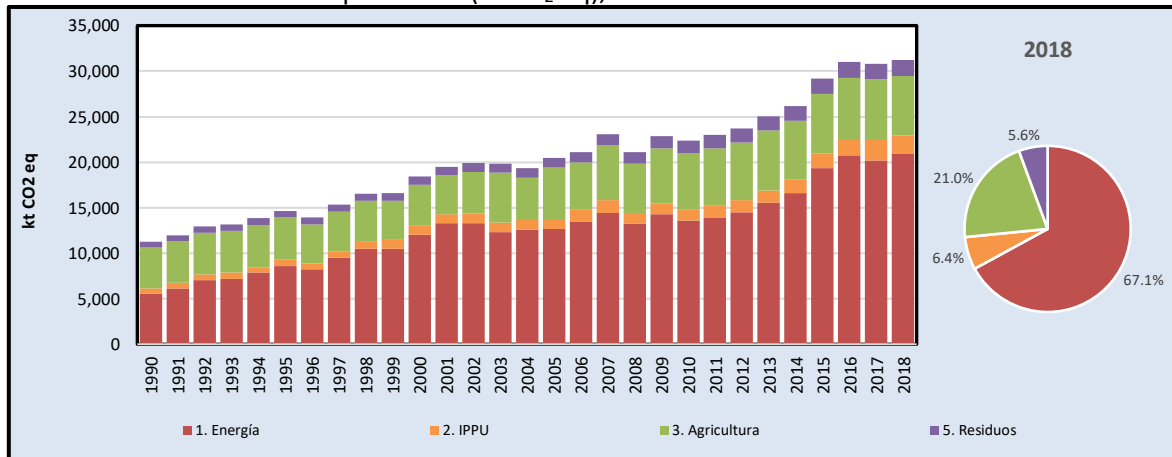
INGEI: total nacional de GEI por sector (kt CO₂ eq)

Sector	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
1. Energía	5,540.3	8,586.3	12,026.4	12,662.6	13,579.5	19,346.2	20,778.6	20,170.6	20,958.1
2. IPPU	571.3	696.7	1,019.7	992.4	1,204.2	1,588.3	1,665.3	2,257.1	1,992.8
3. Agricultura	4,514.7	4,631.4	4,474.8	5,755.3	6,193.1	6,580.8	6,848.3	6,702.8	6,552.9
5. Residuos	627.3	741.8	924.0	1,069.0	1,386.0	1,639.5	1,709.7	1,684.3	1,750.8
Total	11,253.6	14,656.3	18,444.8	20,479.4	22,362.7	29,154.8	31,001.9	30,814.9	31,254.6

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

Figura 2.2.

INGEI: total nacional de GEI por sector (kt CO₂ eq), 1990-2018



Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

2.3. Descripción de la tendencia por GEI

Con respecto a la tendencia de las emisiones del país por cada GEI, la Tabla 2.4 presenta un resumen de la serie temporal 1990-2018, incluyendo y excluyendo el impacto que generan las fuentes y sumideros del sector UTCUTS.

Tabla 2.4.

INGEI: balance y total nacional de GEI por GEI (kt CO₂ eq)

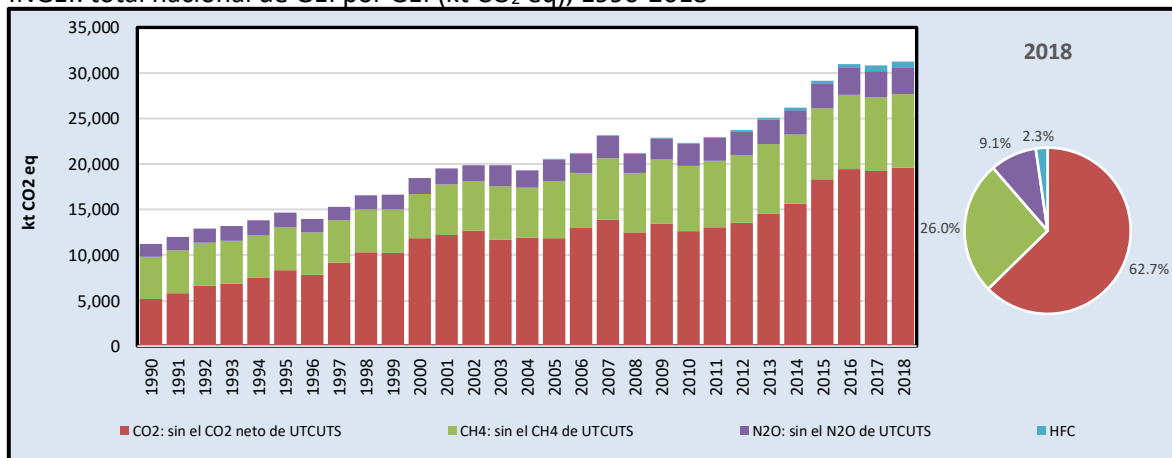
GEI	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
CO ₂ : sin el CO ₂ neto de UTCUTS	5,158.6	8,305.2	11,820.3	11,846.9	12,624.2	18,305.9	19,473.0	19,203.0	19,588.9
CO ₂ : con el CO ₂ neto de UTCUTS	36,528.7	40,311.9	41,701.4	44,002.9	42,044.7	48,807.3	50,745.1	50,530.2	50,101.9
CH ₄ : sin el CH ₄ de UTCUTS	4,671.3	4,709.9	4,895.9	6,234.0	7,204.4	7,798.4	8,125.0	8,089.3	8,112.9
CH ₄ : con el CH ₄ de UTCUTS	4,886.7	4,925.3	5,111.3	6,861.8	7,337.3	7,985.6	8,396.0	8,381.4	8,328.4
N ₂ O: sin el N ₂ O de UTCUTS	1,423.7	1,641.2	1,728.6	2,395.6	2,464.8	2,743.4	2,956.4	2,898.1	2,839.2
N ₂ O: con el N ₂ O de UTCUTS	1,499.2	1,716.7	1,804.2	2,615.7	2,511.4	2,809.0	3,051.4	3,000.5	2,914.7
HFC	NE	NE	NE	2.8	69.4	307.2	447.5	624.6	713.6
PFC	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
SF ₆	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO
NF ₃	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Total (sin UTCUTS)	11,253.6	14,656.3	18,444.8	20,479.4	22,362.7	29,154.8	31,001.9	30,814.9	31,254.6
Balance (con UTCUTS)	42,914.6	46,953.9	48,616.9	53,483.2	51,962.9	59,909.1	62,640.0	62,536.7	62,058.6

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

Como se aprecia en la Figura 2.3, las emisiones totales de GEI de 2018 —excluyendo al sector UTCUTS— estuvieron representadas por un 62.7 % de CO₂ (aumentando en un 279.7 % desde 1990 y en un 65.3 % desde 2005), seguido por el CH₄ con un 26.0 % (aumentando un 73.7 % desde 1990 y en un 30.1 % desde 2005), el N₂O con un 9.1 % (aumentando un 99.4 % desde 1990 y en un 18.5 % desde 2005) y, finalmente, el HFC con un aporte de 2.3 % (aumentando sobre un 2,000 % desde 2005, año en que se registra por primera vez). Las emisiones de CO₂ estuvieron dominadas por el consumo de combustible fósil en el sector Energía.

Figura 2.3.

INGEI: total nacional de GEI por GEI (kt CO₂ eq), 1990-2018

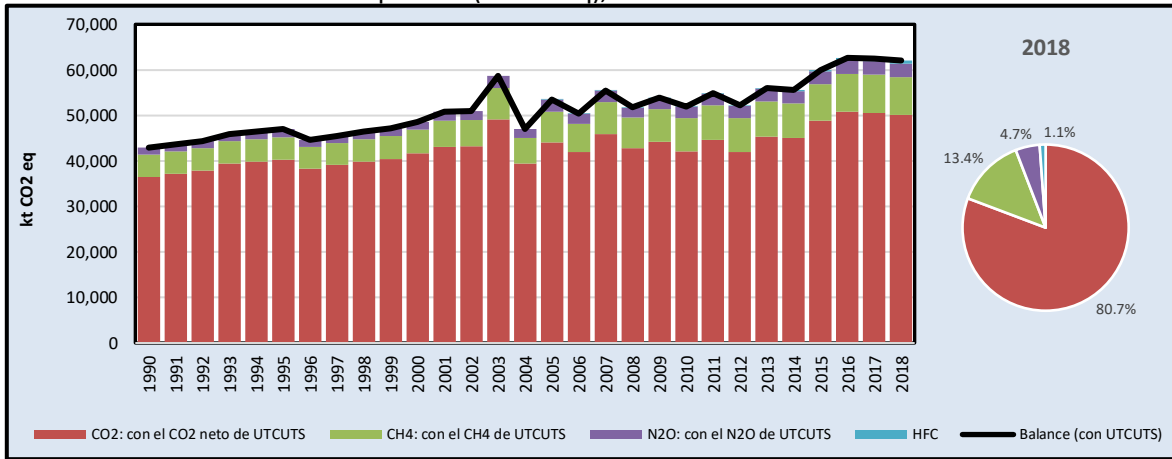


Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

Por otra parte, como se presenta en la Figura 2.4, el balance de GEI de 2018 —el cual incluye al sector UTCUTS— estuvo representado principalmente por un importante 80.7 % de CO₂ (aumentando en un 37.2 % desde 1990 y en un 13.9 % desde 2005), seguido por el CH₄ con un 13.4 % (aumentando un 70.4 % desde 1990 y en un 21.4 % desde 2005), el N₂O con un 4.7 % (aumentando un 94.4 % desde 1990 y en un 11.4 % desde 2005) y, finalmente, el HFC aporta un 1.1 %. Las emisiones de CO₂ estuvieron dominadas por las pérdidas de biomasa debido a la cosecha de madera, extracción de leña y los incendios forestales en los bosques del país.

Figura 2.4.

INGEI: balance nacional de GEI por GEI (kt CO₂ eq), 1990-2018



Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

CAPÍTULO 3: SECTOR ENERGÍA (FCR 1)

3.1. Panorama general del sector

3.1.1. Descripción del sector

Este sector incluye las emisiones de GEI que emanan de la combustión y las fugas de combustibles (IPCC, 2006). Las emisiones de este sector se agrupan en tres categorías: *actividades de quema de combustibles*, *emisiones fugitivas de combustibles*, y *transporte y almacenamiento de CO₂*.

En Guatemala se registran emisiones de GEI de las *actividades de quema de combustibles* y de las *emisiones fugitivas de combustibles*, mientras que la actividad de *transporte y almacenamiento de CO₂* no ocurre en el país.

3.1.2. Tendencia de los GEI del sector

En 2018, las emisiones por GEI del sector Energía fueron 18,100.9 kt CO₂, 91.2 kt CH₄ y 1.9 kt N₂O (Tabla 3.1). En general, destacan las subcategorías de *transporte terrestre e industria de la energía* como las mayores fuentes de emisiones de GEI del sector.

Tabla 3.1.

Sector Energía: emisiones por GEI, categoría y subcategoría para 2018

Código	Categorías de fuente de GEI	CO ₂ (kt)	CH ₄ (kt)	N ₂ O (kt)
1.	Energía	18,100.9	91.2	1.9
1.A.	Actividades de quema de combustible	18,100.9	91.2	1.9
1.A.1.	Industrias de la energía	5,517.9	1.6	0.3
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal	5,363.9	1.6	0.3
1.A.1.b.	Refinación del petróleo	154.0	0.0	0.0
1.A.1.c.	Manufactura de combustibles sólidos y otras industrias de la energía	NE	NE	NE
1.A.2.	Industrias manufactureras y de la construcción	1,943.7	0.1	0.0
1.A.2.a.	Hierro y acero	IE	IE	IE
1.A.2.b.	Metales no ferrosos	IE	IE	IE
1.A.2.c.	Sustancias químicas	IE	IE	IE
1.A.2.d.	Pulpa, papel e imprenta	IE	IE	IE
1.A.2.e.	Procesamiento de alimentos, bebidas y tabaco	IE	IE	IE
1.A.2.f.	Minerales no metálicos	IE	IE	IE
1.A.2.g.	Otros (especificar)	IE	IE	IE
1.A.3.	Transporte	9,683.2	2.5	0.5
1.A.3.a.	Aviación civil	4.0	0.0	0.0
1.A.3.b.	Transporte terrestre	9,679.2	2.5	0.5
1.A.3.c.	Ferrocarriles	IE	IE	IE
1.A.3.d.	Navegación marítima y fluvial	IE	IE	IE
1.A.3.e.	Otro tipo de transporte	IE	IE	IE
1.A.4.	Otros sectores	956.2	87.0	1.2
1.A.4.a.	Comercial / Institucional	48.0	2.6	0.0
1.A.4.b.	Residencial	908.2	84.4	1.1
1.A.4.c.	Agricultura / Silvicultura / Pesca	IE	IE	IE
1.A.5.	Otros (especificar)	NE	NE	NE
1.A.5.a.	Estacionaria	NE	NE	NE
1.A.5.b.	Móvil	NE	NE	NE
1.B.	Emisiones fugitivas de combustibles	0.0	0.0	NE, NO
1.B.1.	Combustibles sólidos	NO	NO	NO
1.B.1.a.	Minería y manejo del carbón	NO	NO	NO

Anexo técnico del IBA de Guatemala: Informe del Inventario Nacional 2022

Código	Categorías de fuente de GEI	CO ₂ (kt)	CH ₄ (kt)	N ₂ O (kt)
1.B.1.b.	Transformación de combustibles sólidos	NO	NO	NO
1.B.1.c.	Otros (especificar)	NO	NO	NO
1.B.2.	Petróleo y gas natural y otras emisiones de la producción de energía	0.0	0.0	NE, NO
1.B.2.a.	Petróleo	0.0	0.0	NE
1.B.2.b.	Gas natural	NE	NE	
1.B.2.c.	Venteo y quemado	NO	NO	NO
1.B.2.d.	Otros (especificar)	NO	NO	NO
1.C.	Transporte y almacenamiento de CO ₂	NO		
1.C.1.	Transporte de CO ₂	NO		
1.C.2.	Inyección y almacenamiento	NO		
1.C.3.	Otros	NO		
Elementos informativos				
	Tanque internacional	316.1	0.0	0.0
	Aviación internacional	316.1	0.0	0.0
	Navegación internacional	IE	IE	IE
	Operaciones multilaterales	IE	IE	IE
	Emisiones de CO ₂ de la biomasa	37,542.3		

Nota 1: NA = no aplica; NE = no estimado; NO = no ocurre; IE = incluido en otro lugar; C = confidencial.

Nota 2: los GEI reportados como 0.0 corresponden a valores menores a 0.04 kt CO₂ eq.

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

El sector Energía fue el segundo mayor emisor de GEI en el país, representando el 33.8 % del balance nacional en 2018 o el 67.1 % de las emisiones totales (excluyendo UTCUTS). En el mismo año, las emisiones de GEI del sector contabilizaron 20,958.1 kt CO₂ eq, incrementándose en un 278.3 % desde 1990 y en un 65.5 % desde 2005 (Tabla 3.2 y Figura 3.1), causado principalmente por el aumento sostenido del consumo de combustibles fósiles en el transporte terrestre y en la generación de electricidad.

Con respecto a la participación de cada categoría, prácticamente el cien por ciento de las emisiones de GEI se genera de las *actividades de quema de combustible*, mientras que a nivel de subcategorías, *transporte* es la más relevante representando un 47.2 % de las emisiones al 2018, seguido de la subcategoría *industrias de la energía* con un 26.9 %, *otros sectores* con 16.6 %, un 9.3 % de *industrias manufactureras y de la construcción* y, por último, la subcategoría *petróleo y gas natural y otras emisiones de la producción de energía* con menos de 0.1 % del total del sector.

Tabla 3.2.

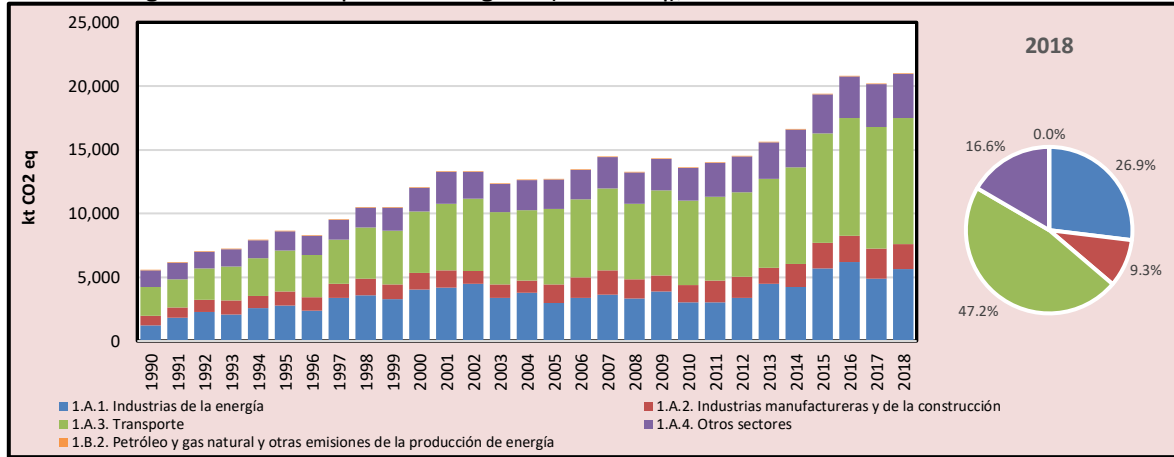
Sector Energía: total de GEI por subcategoría (kt CO₂eq)

Subcategoría	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
1.A.1. Industrias de la energía	1,213.7	2,779.7	4,055.7	2,965.3	3,046.7	5,684.5	6,210.7	4,908.7	5,642.2
1.A.2. Industrias manufactureras...	777.6	1,104.6	1,289.7	1,467.4	1,348.0	1,995.7	2,051.4	2,333.3	1,949.1
1.A.3. Transporte	2,248.2	3,222.8	4,835.7	5,926.3	6,638.2	8,593.5	9,238.1	9,538.4	9,889.0
1.A.4. Otros sectores	1,298.6	1,476.2	1,841.8	2,303.2	2,546.3	3,072.1	3,278.1	3,389.8	3,477.2
1.B.2. Petróleo y gas natural...	2.1	3.0	3.5	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.5
Total	5,540.3	8,586.3	12,026.4	12,662.6	13,579.5	19,346.2	20,778.6	20,170.6	20,958.1

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

Figura 3.1.

Sector Energía: total de GEI por subcategoría (kt CO₂ eq), 1990-2018



Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

Respecto a las emisiones por tipo de GEI, estas estuvieron representadas por un 86.4 % de CO₂, seguido por un 10.9 % de CH₄ y un 2.8 % de N₂O. (Tabla 3.3 y Figura 3.2). La mayor presencia de CO₂ en las emisiones de GEI del sector se deben principalmente a la quema de combustibles fósiles, por sobre la quema de biomasa.

Tabla 3.3.

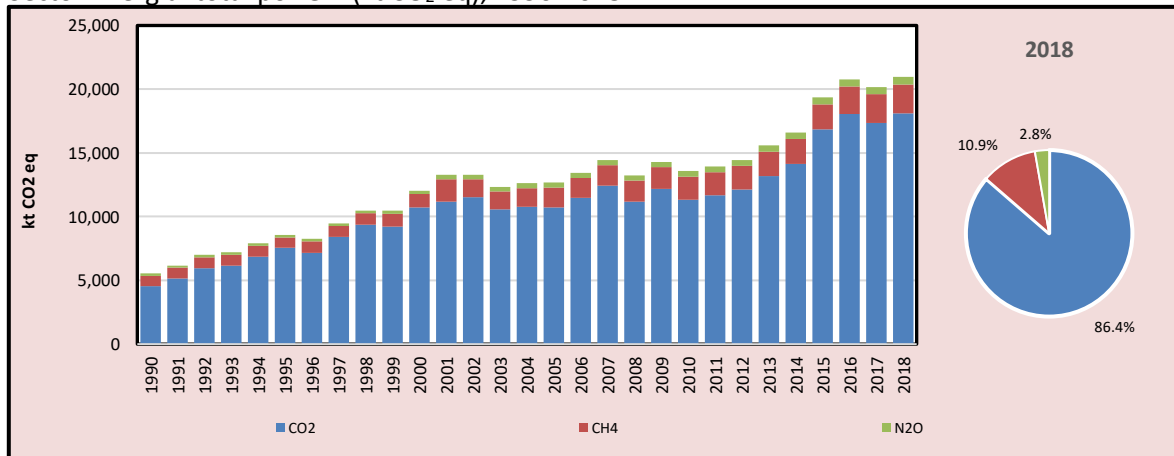
Sector Energía: total por GEI (kt CO₂ eq)

GEI	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
CO ₂	4,526.7	7,539.8	10,722.2	10,746.5	11,340.2	16,841.7	18,059.0	17,368.0	18,100.9
CH ₄	837.3	848.1	1,043.4	1,551.6	1,775.0	1,987.1	2,136.2	2,237.2	2,280.4
N ₂ O	176.4	198.5	260.9	364.5	464.3	517.4	583.3	565.4	576.8
Total	5,540.3	8,586.3	12,026.4	12,662.6	13,579.5	19,346.2	20,778.6	20,170.6	20,958.1

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

Figura 3.2.

Sector Energía: total por GEI (kt CO₂ eq), 1990-2018



Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

3.1.3. Aspectos metodológicos del sector

Para la estimación de todas las categorías de fuente de GEI del sector Energía se aplicó el método de Nivel 1 y los factores de emisión por defecto del Volumen 2 de las *Directrices del IPCC de 2006*⁴.

Las principales fuentes de datos de actividad y valores paramétricos utilizados para el inventario del sector fueron el Balance Energético (BE) y el Balance Petrolero⁵, ambos elaborados por el Ministerio de Energía y Minas (MEM). Estos balances, a su vez, se alimentan de bases de datos provenientes del sector eléctrico como la Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE), el Administrador del Mercado Mayorista (AMM) y agentes del subsector eléctrico; así como información de organismos e instituciones encargadas del registro y fiscalización de materiales o energéticos, como lo es la Superintendencia de Administración Tributaria (SAT).

Finalmente, para el cálculo de los GEI del sector se utilizó el Software del IPCC en su versión 2.69, basado en las hojas de trabajo de las *Directrices del IPCC de 2006*.

3.2. Actividades de quema de combustibles (FCR 1.A)

3.2.1. Descripción y tendencia de los GEI de la categoría

En esta categoría se incluyen las emisiones de GEI de la oxidación intencional de materiales dentro de un aparato diseñado para calentar y proporciona calor a un proceso como calor o trabajo mecánico, o bien para aplicaciones fuera del aparato. En esta categoría se considera la combustión tanto en fuentes fijas como en fuentes móviles. Esta categoría se subdivide en cuatro subcategorías: *industrias de la energía, industrias manufactureras y de la construcción, transporte y otros sectores*.

En Guatemala, la categoría *actividades de quema de combustibles* está compuesta principalmente por la quema de combustibles fósiles y biomasa para la generación eléctrica, industrias, transporte (aéreo, terrestre, marítimo y fluvial), comercial, público y residencial.

La categoría *actividades de quema de combustibles* representaron prácticamente el cien por ciento de las emisiones totales de GEI del sector, mientras que, a nivel nacional, representa un significativo 67.2 % (excluyendo UTCUTS). Las emisiones de la categoría contabilizaron 20,957.5 kt CO₂ eq, incrementándose en un 278.4 % desde 1990 y en un 65.5 % desde 2005 (Tabla 3.4 y Figura 3.3). Los principales impulsores de esta categoría son la dinámica de crecimiento de la población (CEPAL, 2001) y su impacto en el consumo de combustibles para *residencial* y el crecimiento sostenido del parque automotriz, el que ha aumentado en 224.5 % desde 2005 (SAT, 2022). Un tercer impulsor es la generación eléctrica a partir de fuentes fósiles que han tenido un importante aumento respecto los primeros años de la serie.

Con respecto a la participación de cada subcategoría, *transporte* es la más relevante representando un 47.2 % de la categoría, seguida de *industrias de la energía* con el 26.9 %, *otros sectores* con el 16.6 % y, finalmente, *industria manufacturera y de la construcción* con el 9.3 %.

⁴ Disponibles en <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/vol2.html>

⁵ Las estadísticas de comercialización de hidrocarburos son denominadas Balance Petrolero (MEM, 2022)

Tabla 3.4.

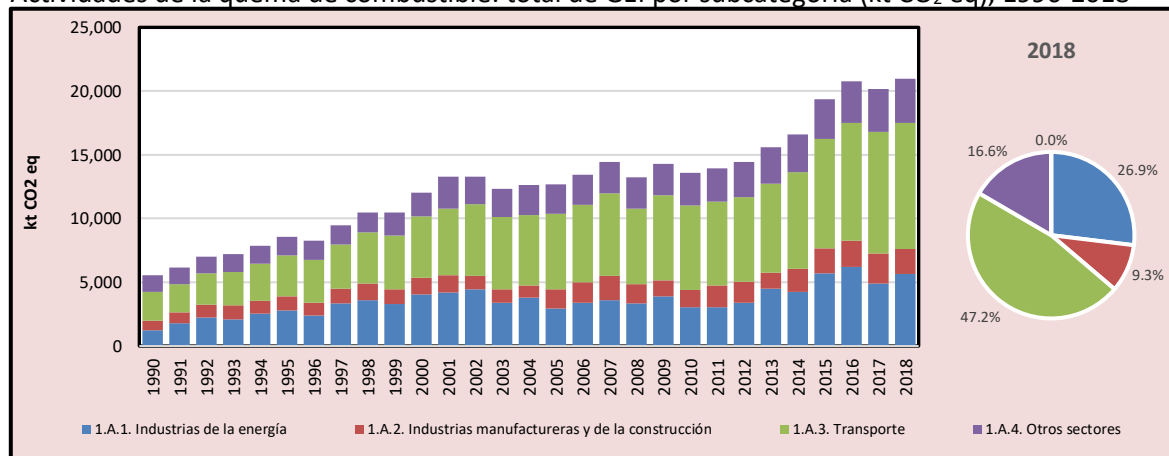
Actividades de la quema de combustible: total de GEI por subcategoría (kt CO₂ eq)

Subcategoría	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
1.A.1. Industrias de la energía	1,213.7	2,779.7	4,055.7	2,965.3	3,046.7	5,684.5	6,210.7	4,908.7	5,642.2
1.A.2. Industrias manufactureras...	777.6	1,104.6	1,289.7	1,467.4	1,348.0	1,995.7	2,051.4	2,333.3	1,949.1
1.A.3. Transporte	2,248.2	3,222.8	4,835.7	5,926.3	6,638.2	8,593.5	9,238.1	9,538.4	9,889.0
1.A.4. Otros sectores	1,298.6	1,476.2	1,841.8	2,303.2	2,546.3	3,072.1	3,278.1	3,389.8	3,477.2
Total	5,538.2	8,583.4	12,022.9	12,662.3	13,579.2	19,345.9	20,778.3	20,170.3	20,957.5

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

Figura 3.3.

Actividades de la quema de combustible: total de GEI por subcategoría (kt CO₂ eq), 1990-2018



Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

3.2.2. Aspectos metodológicos de la categoría

Para la estimación de GEI de la categoría y todas sus subcategorías se aplicó el método de Nivel 1 de las *Directrices del IPCC de 2006* (Ecuación 2.1, Capítulo 2, Volumen 2). En general, los métodos para las fuentes consideradas en la categoría *actividades de quema de combustibles* se basan principalmente en la cantidad de combustible consumido para la quema y el contenido de carbono de este. Durante el proceso de combustión, la mayor parte del carbono se emite de inmediato como CO₂, sin embargo, parte del carbono contenido en los combustibles se libera como CO, CH₄ o COVDM.

El método de Nivel 1 se aplica utilizando el método sectorial que consiste en una estimación *bottom-up* basada en la disponibilidad de datos de consumo de combustible quemado por fuente y el factor de emisión asociado a cada combustible y a cada GEI, en este caso, CO₂, CH₄ y N₂O.

3.2.2.1. Datos de actividad de la categoría

En el caso de Guatemala, el MEM realiza anualmente estadísticas nacionales sobre el uso y utilización de la energía. Así mismo, el MEM publica el Balance Energético y el Balance Petrolero de forma anual, describiendo la cadena de uso final del combustible. Ambos balances son la principal fuente de datos de actividad para el inventario del sector Energía.

El Balance Energético es la contabilización del flujo de energía entre las diferentes etapas y actividades de la cadena energética y sus relaciones de equilibrio, por las cuales la energía se

produce, se intercambia con el exterior, se transforma y se consume por los distintos sectores caracterizados en un país determinado; todas las fuentes de energía se miden en una misma unidad dimensional equivalente. El Balance Energético es preparado y publicado anualmente y considera la oferta y demanda de combustibles en todo el territorio nacional, incluyendo combustibles fósiles y biomasa. Se presenta en sus componentes definidos como energía primaria, y energía secundaria; la suma de ambas componentes representa el resultado del balance energético total.

La energía primaria es la definición de distintas fuentes de energía obtenidas a través de la naturaleza en forma directa. Las energías hidráulica, solar, eólica, y los energéticos como la leña, el bagazo de caña; asimismo, los energéticos obtenidos después de un proceso de extracción de petróleo, carbón mineral o la geoenergía, son clasificados como fuentes de energía primaria. Las fuentes de energía primaria, a excepción del petróleo y la leña, pasan por procesos de transformación para ser convertidas en energía eléctrica. El petróleo se transforma en energéticos combustibles para actividades de generación de energía eléctrica, transporte, industria, residencial, comercio y servicios. La leña es el único energético primario que no requiere de procesos de transformación para llegar a un uso final, el sector residencial es el principal consumidor de este energético en el país.

En cuanto a la energía secundaria, se denominan a los diferentes productos que provienen de los centros de transformación y cuyo destino son los diversos sectores del consumo o centros de transformación; entre ellos está la electricidad, el gas licuado de petróleo, las gasolinas, el kerosene, el diésel oíl, el fuel oíl, el coque de petróleo y los no energéticos. A nivel nacional los de mayor consumo son el diésel oíl y las gasolinas.

Para efectos del inventario, el primer paso para la gestión de los datos es la homologación de las denominaciones de combustibles del Balance Energético con las denominaciones de los combustibles del Cuadro 1.2, Cap. 1, Vol. 2 de las *Directrices del IPCC de 2006* (Tabla 3.5).

Tabla 3.5.

Homologación de los combustibles del Balance Energético y las *Directrices del IPCC de 2006*

<i>Balance Energético</i>	<i>Directrices del IPCC de 2006</i>
Coque de petróleo	Coque de petróleo
Bunker	Fuelóleo residual
Biogás	Gas de vertedero
Diésel	Gas/Diésel oíl
GLP	Gases licuados de petróleo
Aviación civil	Gasolina para la aviación
Gasolina	Gasolina para motores
Leña	Madera/desechos de madera
Nafta	Nafta
Orimulsión	Orimulsión
Bagazo de caña	Otra biomasa sólida primaria
Carbón mineral	Otro carbón bituminoso
Keroseno	Otro queroseno
Petróleo	Petróleo crudo
Turbo jet	Queroseno para motor a reacción

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en las *Directrices del IPCC de 2006* y Balance Energético y el Balance de Petróleo del MEM.

Para la estimación de los GEI, se requiere el consumo de combustible quemado en Terajulio (TJ) a partir de las estadísticas de utilización de la energía nacionales. Por lo tanto, los datos de consumo

de combustible en unidades de masa o de volumen deben ser convertidos al contenido de energía de estos combustibles.

En este sentido, el Balance Energético pública sus resultados con base en el poder calorífico inferior y en unidades energéticas de kilo barril equivalente de petróleo (kBEP). Para convertir los datos a TJ se considera el valor de 5.81 de acuerdo con el *Manual Estadística Energética* (OLADE, 2017).

El detalle de los datos de actividad de consumo de combustibles quemado se encuentra en las secciones correspondientes a cada subcategoría.

3.2.2.2. Factores de emisión de la categoría

Se aplicaron los factores de emisión por defecto para CO₂ del Cuadro 1.4, Cap. 1, Vol. 2 de las *Directrices del IPCC de 2006* (Tabla 3.6), ya que no se disponen de información sobre el contenido de carbono de los combustibles utilizados por el país, información necesaria para la estimación de factores de emisión país específico de CO₂.

Tabla 3.6.

Actividades de quema de combustible: factores de emisión utilizados (kg CO₂/TJ)

<i>Combustibles del Balance Energético</i>	<i>Valor por defecto</i>
Coque de petróleo	97,500
Fuelóleo residual	77,400
Gas de vertedero	54,600
Gas/Diésel oil	74,100
Gases licuados de petróleo	63,100
Gasolina para la aviación	70,000
Gasolina para motores	69,300
Madera/desechos de madera	112,000
Nafta	73,300
Orimulsión	77,000
Otra biomasa sólida primaria	100,000
Otro carbón bituminoso *	98,300
Otro queroseno	71,900
Petróleo crudo	73,300
Queroseno para motor a reacción	71,500

* Según el dictamen de expertos del MEM, las propiedades del otro carbón bituminoso se asemejan a las de la antracita, por lo que se aplica el factor de emisión por defecto para la estimación del CO₂.

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en las *Directrices del IPCC de 2006*.

Los factores de emisión por defecto aplicados para CH₄ y N₂O se detallan en las respectivas subcategorías, diferenciando entre fuentes estacionarias y móviles.

3.2.3. Comparación entre el método sectorial y el método de referencia

3.2.3.1. Descripción y tendencia del CO₂ de la comparación entre métodos

La comparación entre el método sectorial y el método de referencia tiene la finalidad de estimar las emisiones de CO₂ del país procedentes de la quema de combustible y comparar los resultados de estas dos estimaciones independientes para indicar los posibles problemas con los datos de actividad, los valores calóricos netos, el contenido de carbono, el cálculo de carbono excluido, etc. El método sectorial estima el consumo de combustible a partir de las estadísticas de utilización de la energía, mientras que el método de referencia es un método de arriba hacia abajo que utiliza los

datos de provisión de energía del país para calcular las emisiones de CO₂ procedentes de la quema de combustibles fósiles principalmente (IPCC, 2006).

La diferencia porcentual del método sectorial con respecto al método de referencia para 1990 a 2018 se presentan en la Tabla 3.7 y Figura 3.4, donde se observa que la tendencia de emisiones de CO₂ presenta diferencias significativas entre ambos métodos para la mayoría de los años. El promedio de los absolutos de esta variación porcentual fue de 11.8 %, con un máximo absoluto de 52.8 % en el 2004 y un mínimo absoluto de 1.2 % en 2010. Los valores por debajo del 5 % son considerados como diferencias aceptables según las *Directrices del IPCC de 2006*. Si bien la fuente de los datos de actividad para ambos métodos corresponde al Balance Energético de Guatemala, las diferencias se producen por las variaciones de stock reportadas para los combustibles secundarios. En particular, estas diferencias se deben al consumo para la refinación que tiene fines energéticos y de transformación. Por ello, las principales diferencias se producen en los primeros años de la serie en donde la actividad de refinación es relevante. En los años posteriores, la actividad de refinación va en disminución y por ello disminuye la diferencia entre los métodos.

Tabla 3.7.

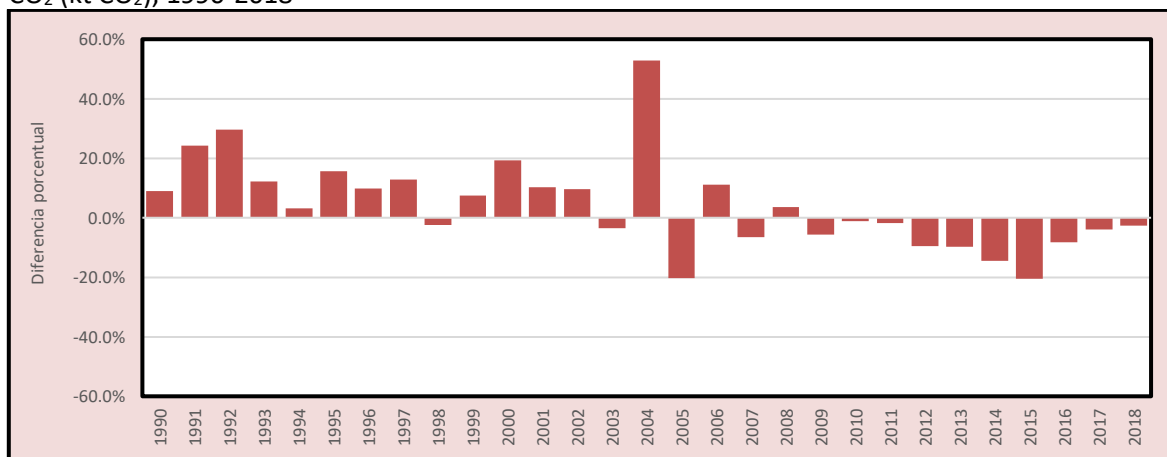
Comparación entre el método sectorial y el método de referencia: diferencias entre emisiones de CO₂ por método (kt CO₂)

Método	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
Método sectorial	4,526.7	7,539.8	10,722.2	10,746.5	11,340.2	16,841.7	18,059.0	17,368.0	18,100.9
Método de referencia	4,150.5	6,520.0	8,991.0	13,493.3	11,480.8	21,204.0	19,690.6	18,080.2	18,596.3
Diferencia	376.1	1,019.8	1,731.1	-2,746.7	-140.6	-4,362.4	-1,631.6	-712.2	-495.4
Diferencia porcentual	9.1%	15.6%	19.3%	-20.4%	-1.2%	-20.6%	-8.3%	-3.9%	-2.7%

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

Figura 3.4.

Comparación entre el método sectorial y el método de referencia: diferencias entre emisiones de CO₂ (kt CO₂), 1990-2018



Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

3.2.3.2. Aspectos metodológicos del método de referencia

Para la estimación de las emisiones de CO₂ del método de referencia se aplicaron las metodologías incluidas en el Capítulo 6, Volumen 2 de las *Directrices del IPCC de 2006*. El método de referencia ofrece una metodología para producir una estimación de primer orden de las emisiones nacionales de GEI basadas en la energía provista a un país. El método de referencia requiere de estadísticas

acerca de la producción de combustibles, del comercio externo, así como las modificaciones que sufren las existencias de los primeros. También requiere de una cantidad limitada de datos sobre el consumo de combustibles utilizados para fines no energéticos.

Los datos de actividad fueron obtenidos de los Balances Energéticos y Balances Petroleros que publica el MEM de forma anual. En dichos balances se reporta la cantidad de combustible quemado para cada segmento de utilización de la energía en la economía nacional, así como la producción, importación, exportación y existencias. La Tabla 3.8 presenta el consumo aparente de combustibles utilizado para la estimación de emisiones de CO₂ del método de referencia.

Tabla 3.8.

Comparación entre el método sectorial y el método de referencia: consumo aparente de combustibles (TJ), 1990-2018

Año	Petróleo crudo	Orimulsión	Gasolina para motores	Queroseno para motor a reacción	Otro queroseno	Gas/Diésel oil	Fuelóleo residual	Gases licuados de petróleo	Coque de petróleo	Otro carbón bituminoso
1990	24,999.8	0.0	10,696.8	-1,441.2	1,179.7	17,428.4	574.4	4,105.0	0.0	0.0
1991	32,257.3	0.0	7,838.4	-1,502.4	1,029.4	15,573.3	-1,412.0	3,564.1	0.0	0.0
1992	26,552.5	0.0	10,893.9	-1,585.9	1,897.5	22,877.3	-765.8	3,937.7	0.0	0.0
1993	34,251.9	0.0	11,879.6	-1,663.8	1,953.1	17,916.8	6,222.4	5,427.9	0.0	0.0
1994	42,974.8	0.0	15,303.4	-1,869.6	2,114.5	20,522.1	7,173.7	5,657.5	0.0	0.0
1995	35,153.3	0.0	16,325.3	-2,209.1	3,077.1	22,569.0	8,711.4	6,373.4	0.0	0.0
1996	33,920.4	0.0	18,187.6	-2,047.7	2,498.4	22,330.6	9,064.4	6,494.0	0.0	0.0
1997	39,474.0	0.0	19,603.9	-2,081.1	2,893.5	22,289.9	13,761.1	6,743.1	0.0	0.0
1998	46,626.8	0.0	25,917.1	-2,209.1	3,238.5	29,111.2	21,838.2	7,595.2	0.0	0.0
1999	43,364.4	0.0	23,639.8	-2,120.0	2,275.8	27,459.7	15,280.8	7,556.3	0.0	439.3
2000	39,001.2	0.0	21,718.3	-2,131.7	2,555.7	28,695.4	17,340.7	8,421.2	0.0	6,305.6
2001	36,464.4	0.0	29,104.0	-1,933.6	2,540.1	33,633.4	16,010.9	7,966.8	0.0	12,408.9
2002	25,486.7	0.0	31,121.9	-1,643.3	1,951.1	38,336.5	26,590.7	9,202.6	0.0	10,713.0
2003	4,889.4	0.0	35,120.8	-1,696.4	3,767.0	46,793.4	33,064.7	9,545.8	0.0	14,497.5
2004	1,063.4	12,105.3	37,009.6	-1,851.5	4,153.4	46,347.7	-21,467.7	10,437.3	0.0	9,195.4
2005	5,799.7	21,899.9	35,060.9	-2,866.2	3,196.1	55,268.6	27,524.2	15,174.1	6,327.1	11,945.8
2006	450.8	742.4	38,517.4	-2,862.7	3,366.0	48,042.1	30,168.1	11,516.7	6,488.6	3,178.0
2007	5,910.9	0.0	43,964.5	-3,217.6	4,259.3	55,767.0	37,354.7	10,691.8	7,060.2	14,103.5
2008	2,172.0	0.0	34,600.3	-3,161.9	3,752.7	42,080.5	33,484.4	11,151.8	4,231.2	14,706.6
2009	4,577.8	0.0	46,050.8	-2,684.7	3,173.0	62,653.8	35,640.8	9,698.6	2,531.9	11,618.4
2010	4,553.8	0.0	43,833.9	-2,658.6	3,186.5	48,093.7	23,971.0	11,219.8	1,474.4	19,050.5
2011	2,055.2	0.0	40,001.3	-2,399.4	3,328.5	50,708.1	25,691.0	10,628.6	6,691.7	19,134.2
2012	3,874.1	0.0	40,476.2	-1,695.9	3,147.9	56,361.3	23,316.0	11,616.4	6,729.7	30,450.7
2013	2,093.7	0.0	42,198.5	-2,152.2	5,246.7	52,986.8	19,696.3	14,165.6	6,121.1	46,449.8
2014	6,055.6	0.0	51,693.3	-1,757.5	7,785.4	59,070.0	17,993.9	11,563.7	6,746.7	52,024.9
2015	2,869.3	0.0	57,099.0	-2,542.9	11,450.5	68,471.4	21,304.5	16,237.6	5,446.4	85,841.5
2016	4,251.7	0.0	62,374.3	-2,621.7	3,194.3	71,232.4	20,950.3	18,141.4	6,474.9	67,037.6
2017	3,739.8	0.0	69,611.2	-4,113.5	4,034.9	68,778.5	11,218.8	19,471.3	9,128.5	51,856.3
2018	6,967.7	0.0	70,121.9	-4,421.4	2,497.0	64,390.5	8,714.0	16,743.8	17,877.0	54,118.8

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en el Balance Energético y el Balance de Petróleo del MEM.

En cuanto a los contenidos de carbono de los combustibles, se utilizaron los valores por defecto incluidos en el Cuadro 1.3, Capítulo 1, Volumen 2, *Directrices del IPCC de 2006*.

3.2.4. Combustibles del transporte internacional

3.2.4.1. Descripción y tendencia de los GEI del transporte internacional

Para los fines de los inventarios, se establece una distinción entre el combustible del transporte de la aviación y navegación nacional del transporte internacional. El consumo de combustibles del transporte que tiene lugar a nivel nacional se reporta como parte de las emisiones del país y el consumo de combustibles del transporte internacional se reporta como *elemento informativo*. Las

Directrices del IPCC de 2006 establecen que la división entre rutas internacionales y nacionales debe determinarse con base a los puertos de salida y de llegada, y no por la bandera o nacionalidad de la aeronave o el barco.

En el contexto de Guatemala, se cuantificaron y reportaron como *elementos informativos* solamente las emisiones de la *aviación internacional* dado que no se cuenta con la información desagregada para la *navegación internacional*, la que se incluye en la categoría *transporte terrestre*. Se reconoce que esta acción genera una potencial sobreestimación de emisiones de GEI en el sector Energía.

En 2018, las emisiones de GEI de la *aviación internacional* contabilizaron 318.8 kt CO₂ eq, incrementándose en 206.8 % desde 1990 y en un 54.3 % desde 2005 (Tabla 3.9 y Figura 3.5), las variaciones de la tendencia se deben a las crisis económicas internacionales y a los cambios de las dinámicas del transporte internacional.

Tabla 3.9.

Combustible del transporte internacional: total de GEI de la aviación y navegación internacional (kt CO₂ eq)

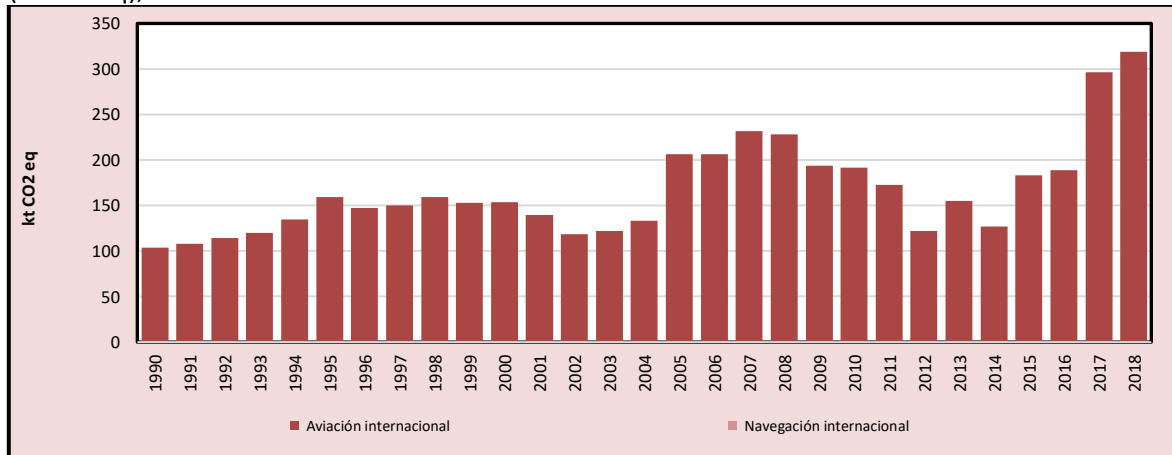
Subcategoría	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
Aviación internacional	103.9	159.3	153.7	206.7	191.7	183.4	189.0	296.6	318.8
Navegación internacional	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE
TOTAL	103.9	159.3	153.7	206.7	191.7	183.4	189.0	296.6	318.8

Nota: IE = incluido en otro lugar.

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

Figura 3.5.

Combustible del transporte internacional: total de GEI de la aviación y navegación internacional (kt CO₂ eq), 1990-2018



Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

3.2.4.2. Aspectos metodológicos del transporte internacional

Para la estimación de las emisiones de GEI del *transporte internacional* se aplicó el método de Nivel 1 de las *Directrices del IPCC de 2006*.

Con respecto al consumo de combustible para aviación internacional, se considera que todo el queroseno para motor a reacción (denominado como turbo jet en el Balance Energético del MEM)

es consumido para transporte aéreo internacional, considerando como internacional a los vuelos cuyos países de salida son distintos a los países de destino, de acuerdo con el criterio de las *Directrices del IPCC de 2006*. Los datos de actividad del consumo de queroseno para motor a reacción se incluyen en la Tabla 3.10.

Tabla 3.10.

Combustible del transporte internacional: consumo de combustibles (TJ), 1990-2018

Año	Queroseno para motor a reacción	Año	Queroseno para motor a reacción	Año	Queroseno para motor a reacción
1990	1,441.2	2000	2,131.7	2010	2,658.6
1991	1,502.4	2001	1,933.6	2011	2,399.4
1992	1,585.9	2002	1,643.3	2012	1,695.9
1993	1,663.8	2003	1,696.4	2013	2,152.2
1994	1,869.6	2004	1,851.5	2014	1,757.5
1995	2,209.1	2005	2,866.2	2015	2,542.9
1996	2,047.7	2006	2,862.7	2016	2,621.7
1997	2,081.1	2007	3,217.6	2017	4,113.5
1998	2,209.1	2008	3,161.9	2018	4,421.4
1999	2,120.0	2009	2,684.7		

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en el Balance Energético del MEM.

Respecto a los factores de emisión de cada GEI, se utilizaron los siguientes valores por defecto de los Cuadros 3.5.2 y 3.5.3, Cap. 3, Vol. 2 de las *Directrices del IPCC de 2006* (Tabla 3.11).

Tabla 3.11.

Transporte internacional: factores de emisión utilizados en aviación internacional (kg/TJ)

Combustible	Valor para CO ₂	Valor para CH ₄	Valor para N ₂ O
Queroseno para motor a reacción	71,500	0.5	2.0

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en las *Directrices del IPCC de 2006*.

3.2.5. Emisiones de CO₂ de la biomasa usada con fines energéticos

3.2.5.1. Descripción y tendencia del CO₂ de la biomasa usada con fines energéticos

Las emisiones de CO₂ procedentes de la biomasa usada con fines energéticos se reportan como parte de los *elementos informativos* y se excluyen de las emisiones totales del país (al igual que las emisiones del *combustible del transporte internacional*). Sin embargo, las emisiones de CH₄ y N₂O se estiman e incluyen dentro del sector Energía (IPCC, 2006).

En el caso de Guatemala, se consideran los combustibles de leña (madera/desechos de madera), bagazo de caña (otra biomasa sólida primaria) y biogás (gas de vertedero) que con consumidos en diversas subcategorías del sector.

En 2018, las emisiones de CO₂ de la *biomasa* usada con fines energéticos contabilizaron 37,542.3 kt CO₂ eq, incrementándose en un 189.8 % desde 1990 y en un 52.1 % desde 2005 (Tabla 3.12 y Figura 3.6) debido al aumento de consumo de leña a nivel residencial, principal consumidor de biomasa a nivel nacional (representando el 82 % del consumo de biomasa en términos energéticos a nivel nacional) y, con menor influencia, el consumo de bagazo de caña para generación eléctrica.

Tabla 3.12.

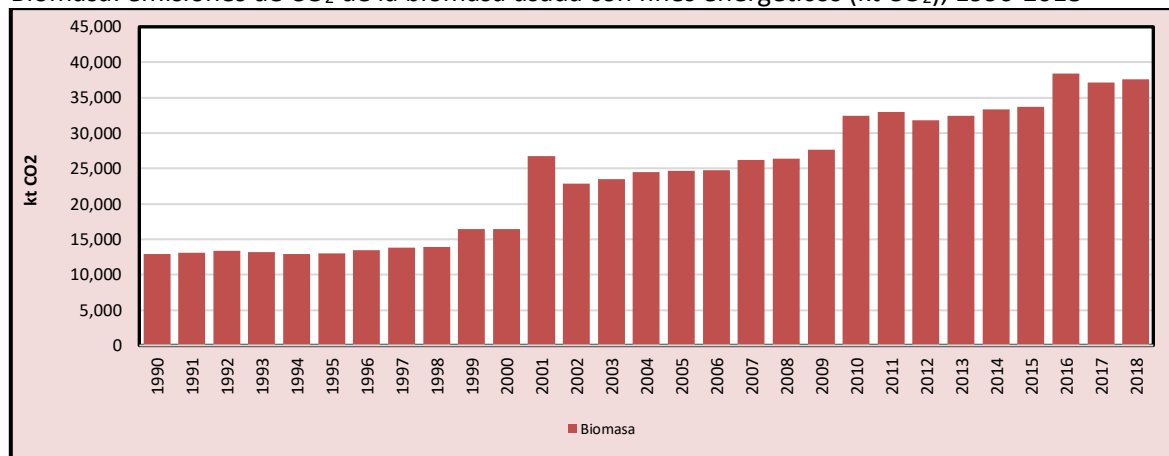
Biomasa: emisiones de CO₂ de la biomasa usada con fines energéticos (kt CO₂)

Categoría	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
Biomasa	12,956.7	13,009.1	16,467.0	24,675.5	32,461.3	33,718.3	38,429.8	37,156.7	37,542.3

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

Figura 3.6.

Biomasa: emisiones de CO₂ de la biomasa usada con fines energéticos (kt CO₂), 1990-2018



Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

3.2.5.2. Aspectos metodológicos de la biomasa usada con fines energéticos

Para la estimación de las emisiones de CO₂ se aplicó el método de Nivel 1 de las *Directrices del IPCC de 2006*, utilizando datos de actividad del Balance Energético del MEM (Tabla 3.13) y los factores de emisión por defecto para madera/desechos de madera, otra biomasa sólida primaria y gas de vertedero, previamente presentados en la Tabla 3.6.

Tabla 3.13.

Biomasa: consumo de biomasa (TJ), 1990-2018

Año	Madera/desechos de madera	Otra biomasa sólida primaria	Gas de vertedero
1990	110,601.8	5,692.7	0.0
1991	110,872.9	6,600.9	0.0
1992	113,147.3	7,279.1	0.0
1993	110,918.1	7,358.1	0.0
1994	108,673.8	7,715.8	0.0
1995	110,466.2	8,899.1	0.0
1996	112,258.6	8,855.0	0.0
1997	114,066.1	10,507.5	0.0
1998	114,126.3	10,990.1	0.0
1999	134,656.1	13,889.9	0.0
2000	134,656.1	13,855.0	0.0
2001	223,433.7	17,235.7	0.0
2002	176,083.7	31,543.3	0.0
2003	183,493.6	29,658.5	0.0
2004	191,535.8	30,290.7	0.0
2005	199,411.3	23,414.6	0.0
2006	200,224.8	23,173.3	0.0
2007	207,349.6	29,533.7	0.0
2008	212,710.9	25,460.6	0.0
2009	218,072.2	32,373.5	0.0
2010	223,433.4	74,367.5	0.0

Año	Madera/desechos de madera	Otra biomasa sólida primaria	Gas de vertedero
2011	229,987.3	72,326.7	0.0
2012	235,656.7	53,904.5	0.0
2013	243,495.9	51,757.5	21.5
2014	248,320.5	55,643.6	126.4
2015	251,545.1	55,342.9	200.9
2016	267,867.4	84,183.6	189.1
2017	284,138.6	53,167.6	300.1
2018	289,757.9	50,655.9	436.2

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en el Balance Energético del MEM.

3.2.6. Materias primas y uso no energético de los combustibles

Para numerosas aplicaciones, principalmente en procesos industriales mayores, los hidrocarburos fósiles se utilizan como fuentes de energía y además para la alimentación de procesos, lubricantes, solventes, entre otros usos (IPCC, 2006). De ahí la importancia de distinguir las entregas o distribuciones de combustible de las estadísticas de quema del combustible. Esta distinción evita el doble cómputo de emisiones con sectores como IPPU y Residuos.

El Balance Energético de Guatemala incluye información sobre uso no energético de derivados del petróleo. Para la fuente *refinerías* se incluye y distingue este dato a partir de 2000, como consumo de no energético. Para los años previos esta información solo es incluidas para efectos de importación y exportación.

3.2.7. Industrias de la energía (FCR 1.A.1)

3.2.7.1. Descripción y tendencia de los GEI de la subcategoría

La 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 (IPCC, 2006).

En Guatemala, esta categoría se dedica específicamente a la producción de energía eléctrica a partir de fuentes primarias y secundarias de energía y, en muy menor medida, a la refinación de combustibles.

La subcategoría *industrias de la energía* representó el 26.9 % de las emisiones de GEI del sector Energía en 2018. En el mismo año, las emisiones de la subcategoría contabilizaron 5,642.2 kt CO₂ eq, incrementándose en un 364.9 % desde 1990 y en un 90.3 % desde 2005 (Tabla 3.14 y Figura 3.7). El aumento en las emisiones se debe principalmente en el aumento del consumo de carbón mineral para la generación de electricidad. Las variaciones interanuales se deben a la disminución de la actividad de refinería el 2004 y a los cambios en los diversos combustibles consumidos para generación y las distintas intensidades de emisión de estos.

Dentro de la subcategoría en sí, la *producción de electricidad y calor como actividad principal* domina las emisiones con un 97.3 %, mientras que la *refinación del petróleo* aporta el restante 2.7 %.

Tabla 3.14.

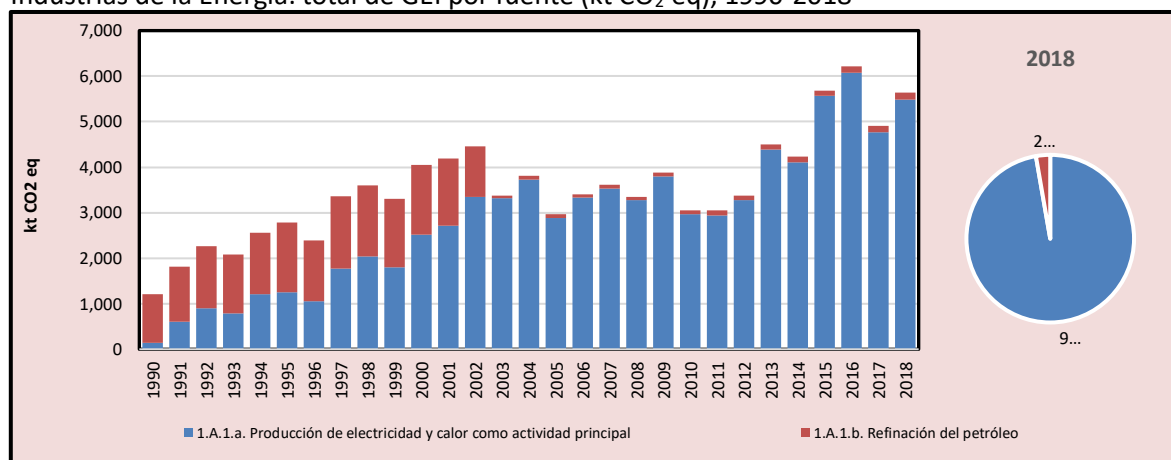
Industrias de la energía: total de GEI por fuente (kt CO₂ eq)

Fuente	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
1.A.1.a. Producción de electricidad...	139.8	1,245.6	2,521.1	2,882.2	2,972.7	5,562.4	6,078.4	4,762.4	5,487.7
1.A.1.b. Refinación del petróleo	1,073.9	1,534.1	1,534.7	83.1	74.0	122.1	132.3	146.3	154.5
Total	1,213.7	2,779.7	4,055.7	2,965.3	3,046.7	5,684.5	6,210.7	4,908.7	5,642.2

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

Figura 3.7.

Industrias de la Energía: total de GEI por fuente (kt CO₂ eq), 1990-2018



Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

3.2.7.2. Aspectos metodológicos de la subcategoría

Para la estimación de emisiones de GEI de la subcategoría se aplicó el método de Nivel 1, utilizando las estadísticas del Balance Energético y Balance Petrolero, ambos elaborados por el MEM, y los factores de emisión por defecto de las *Directrices del IPCC de 2006*. Más información en la Sección 3.2.2.

3.2.7.2.1. Datos de actividad de la subcategoría

Los datos de la cantidad de combustible utilizado para la generación de electricidad son solicitados por el MEM a los agentes generadores del sistema quienes reportan anualmente las condiciones y cantidades de combustible quemado para la venta en el sistema eléctrico nacional y el consumo propio. El dato es comparable con la información presentada por el Administrador del Mercado Mayorista (Energía Neta). El detalle de los datos de actividad utilizados, por tipo de combustible, se presentan en la Tabla 3.15 y la Tabla 3.16.

Tabla 3.15.

Industrias de la energía: consumo de combustibles de la producción de electricidad y calor como actividad principal (TJ), 1990-2018

Año	Otro carbón bituminoso	Diésel	Fuelóleo residual	Gas de vertedero	Madera/desechos de madera	Otra biomasa sólida primaria	Orimulsión
1990	0.0	825.8	867.5	0.0	0.0	5,692.7	0.0
1991	0.0	4,221.9	3,553.9	0.0	0.0	6,600.9	0.0
1992	0.0	8,903.2	2,907.8	0.0	0.0	7,279.1	0.0
1993	0.0	3,006.5	7,149.8	0.0	0.0	7,358.1	0.0

Anexo técnico del IBA de Guatemala: Informe del Inventario Nacional 2022

Año	Otro carbón bituminoso	Diésel	Fuelóleo residual	Gas de vertedero	Madera/desechos de madera	Otra biomasa sólida primaria	Orimulsión
1994	0.0	5,018.6	10,518.2	0.0	0.0	7,715.8	0.0
1995	0.0	6,391.0	9,698.6	0.0	0.0	8,899.1	0.0
1996	0.0	2,645.9	10,925.1	0.0	0.0	8,855.0	0.0
1997	0.0	4,280.0	18,392.0	0.0	0.0	10,507.5	0.0
1998	0.0	5,018.6	21,150.2	0.0	0.0	10,990.1	0.0
1999	439.3	2,488.9	19,893.7	0.0	0.0	13,889.9	0.0
2000	6,305.6	5,786.2	18,558.3	0.0	0.0	13,855.0	0.0
2001	10,435.1	887.6	20,472.3	0.0	0.0	17,235.7	0.0
2002	11,424.7	1,401.2	26,376.8	0.0	0.0	31,543.3	0.0
2003	10,724.7	721.1	27,741.9	0.0	0.0	29,658.5	0.0
2004	12,467.5	369.5	20,565.2	0.0	0.0	30,290.7	10,505.1
2005	11,982.2	199.0	19,802.7	0.0	0.0	23,414.6	1,303.7
2006	12,556.1	113.5	23,089.0	0.0	0.0	23,173.3	3,119.7
2007	13,115.1	199.5	27,809.9	0.0	0.0	29,533.7	0.0
2008	13,230.7	192.4	24,511.6	0.0	0.0	25,460.6	0.0
2009	8,621.1	621.0	36,530.2	0.0	0.0	32,373.5	0.0
2010	14,400.2	64.8	18,042.5	0.0	0.0	74,367.5	0.0
2011	14,381.2	328.1	17,499.0	0.0	0.0	72,326.7	0.0
2012	19,259.8	151.6	16,191.6	0.0	337.9	53,904.5	0.0
2013	29,021.4	93.5	18,164.2	21.5	1,765.0	51,757.5	0.0
2014	31,386.1	66.9	11,395.3	126.4	1,493.6	55,643.6	0.0
2015	44,992.6	133.1	12,889.6	200.9	44.2	55,342.9	0.0
2016	52,845.5	77.1	8,878.4	189.1	14.0	84,183.6	0.0
2017	43,854.0	82.4	4,139.9	300.1	6.1	53,167.6	0.0
2018	51,780.4	60.0	3,481.6	436.2	2.8	50,655.9	0.0

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en el Balance Energético del MEM.

Tabla 3.16.

Industrias de la energía: consumo de combustibles de la refinación del petróleo (TJ), 1990-2018

Año	Nafta	Otro queroseno	Diésel
1990	4,544.3	1,819.6	8,182.1
1991	4,300.5	1,897.5	10,141.8
1992	4,969.7	1,741.7	11,636.3
1993	5,249.8	1,563.6	10,607.0
1994	5,384.7	1,730.5	11,270.0
1995	6,173.2	1,569.2	13,002.9
1996	5,867.1	1,380.0	10,769.9
1997	6,059.1	1,580.3	13,898.5
1998	5,462.5	1,402.2	14,230.0
1999	6,136.9	1,891.9	12,357.4
2000	6,594.4	1,824.0	12,346.4
2001	6,526.2	1,504.8	11,889.4
2002	4,828.6	1,178.6	9,150.8
2003	8.5	45.6	575.7
2004	20.4	26.6	1,034.2
2005	26.6	9.9	1,081.5
2006	26.0	28.7	959.6
2007	13.4	40.9	1,091.4
2008	2.8	28.5	947.0
2009	3.1	43.1	1,053.0
2010	2.4	17.8	975.7
2011	4.1	25.5	1,383.4
2012	0.0	39.1	1,324.3
2013	0.9	15.8	1,496.8
2014	0.0	19.3	1,749.3
2015	0.0	1.0	1,641.5
2016	0.0	0.0	1,779.5
2017	0.0	0.0	1,967.7

Año	Nafta	Otro queroseno	Diésel
2018	0.0	0.0	2,077.9

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en el Balance Energético del MEM.

Es importante mencionar que los datos de autoprodutores fueron incluidos en la *producción de electricidad y calor como actividad principal* y no se reportan en la industria respectiva dentro de la subcategoría *industrias manufactureras y de la construcción*, como indican las *Directrices del IPCC de 2006*.

3.2.7.2.2. Factores de emisión de la subcategoría

Los factores de emisión por defecto para CO₂ se presentan en la Tabla 3.6, mientras que para los otros GEI se utilizaron los factores de emisión por defecto del Cuadro 2.2, Cap. 2, Vol. 2 de las *Directrices del IPCC 2006*, los cuales se incluyen en la tabla siguiente.

Tabla 3.17.

Industrias de la energía: factores de emisión utilizados (kg/TJ)

Combustible	Valor para CH ₄	Valor para N ₂ O
Diésel	3	0.6
Fuelóleo residual	3	0.6
Gas de vertedero	1	0.1
Madera/desechos de madera	30	4
Nafta	3	0.6
Orimulsión	3	0.6
Otra biomasa sólida primaria	30	4
Otro carbón bituminoso	1	1.5
Otro queroseno	3	0.6

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en las *Directrices del IPCC de 2006*.

3.2.7.3. Incertidumbre y coherencia de la serie temporal de la subcategoría

Con respecto a los datos de actividad, el Balance Energético de Guatemala no cuenta con una estadística sobre la exactitud e incertidumbre de los datos. Dado esto, se consideró una incertidumbre del 3 %, de acuerdo con el dictamen experto del MEM.

Con respecto a los factores de emisión, dado el uso de factores de emisión por defecto de las *Directrices del IPCC de 2006*, se utilizaron sus valores de incertidumbre por defecto.

Los valores de incertidumbre utilizados y la incertidumbre combinada se presentan en la Tabla 3.18. Se puede apreciar que las mayores incertidumbres combinadas están asociadas al uso de los factores de emisión por defecto de CH₄ y N₂O, especialmente en la biomasa.

Tabla 3.18.

Industrias de la energía: valores de incertidumbre utilizados e incertidumbre combinada

Categorías de fuente de GEI	GEI	Incertidumbre de los DA	Incertidumbre del FE	Incertidumbre combinada
Producción de electricidad y calor como actividad principal - Líquido	CO ₂	3.0%	7.0%	7.6%
Producción de electricidad y calor como actividad principal - Líquido	CH ₄	3.0%	233.0%	233.0%
Producción de electricidad y calor como actividad principal - Líquido	N ₂ O	3.0%	233.0%	233.0%
Producción de electricidad y calor como actividad principal - Sólido	CO ₂	3.0%	7.0%	7.6%
Producción de electricidad y calor como actividad principal - Sólido	CH ₄	3.0%	200.0%	200.0%
Producción de electricidad y calor como actividad principal - Sólido	N ₂ O	3.0%	233.0%	233.0%
Producción de electricidad y calor como actividad principal - Biomasa	CH ₄	3.0%	233.0%	233.0%
Producción de electricidad y calor como actividad principal - Biomasa	N ₂ O	3.0%	275.0%	275.0%

Categorías de fuente de GEI	GEI	Incertidumbre de los DA	Incertidumbre del FE	Incertidumbre combinada
Refinación del petróleo - Líquido	CO ₂	3.0%	7.0%	7.6%
Refinación del petróleo - Líquido	CH ₄	3.0%	233.0%	233.0%
Refinación del petróleo - Líquido	N ₂ O	3.0%	233.0%	233.0%

Nota: con fines conservadores y de reporte, cuando el rango de incertidumbre fue asimétrico, se aplicó el valor más distante de la media. Los valores asimétricos pueden consultarse en el Anexo 2.

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en las *Directrices del IPCC 2006*.

Para mantener la coherencia de la serie de tiempo 1990-2018, se usaron los mismos factores de emisión y la misma fuente de datos de actividad, tanto estadísticos como paramétricos.

3.2.7.4. Actividades de GCCV de la subcategoría

Las actividades de GCCV aplicadas a la subcategoría fueron las siguientes:

- Los balances energéticos 2005-2015 fueron actualizados por el MEM en 2015. Esto incluyó la revisión de la metodología y distribución porcentual de los totales para cada subsector de consumo energético.
- Los valores presentados por las centrales productoras de energía eléctrica son comparables con los informes de despacho energético del AMM basado en su potencial energético.
- Los factores de emisión, conversión y constantes fueron compilados y centralizados en una sola hoja de trabajo, vinculada al resto de las hojas de trabajo. Permitiendo una rápida revisión y actualización.
- Utilización del Software del IPCC para la generación de tablas anuales para la estimación de emisiones, permitiendo eliminar considerablemente los posibles errores de digitación.

3.2.7.5. Nuevos cálculos de la subcategoría

Para la subcategoría se realizaron nuevos cálculos debido a cambios metodológicos, ya que en el actual inventario se aplicó las *Directrices del IPCC de 2006*, mientras que los inventarios anteriores fueron realizados mediante la aplicación de las *Directrices Revisadas del IPCC de 1996*. Además, la fuente principal de datos de actividad, el Balance Energético, ha sido ajustado con el tiempo.

Los nuevos cálculos realizados tuvieron significativas implicancias en los GEI reportados en el presente inventario en comparación con los inventarios anteriores. Es importante mencionar que, con fines comparativos, se utilizaron los PCA del AR4 para reportar el inventario de la 2CN. Como se presenta en la Tabla 3.19, para 1994 y 2000 se presentan importantes diferencias de -43.6 % y 61.4 % respectivamente. Por su parte, el 2005 tiene una menor diferencia de 7.1 %.

Tabla 3.19.

Industrias de la energía: comparación entre los totales anuales de los inventarios (kt CO₂ eq)

INGEI	1994	2000	2005
INGEI - 2CN	4,548.1	2,512.5	2,769.1
INGEI - 1IBA	2,563.8	4,055.7	2,965.3
Diferencia	-1,984.3	1,543.2	196.3
Diferencia porcentual	-43.6%	61.4%	7.1%

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en la 2CN de Guatemala.

3.2.7.6. Plan de mejora de la subcategoría

Para esta subcategoría se contemplan las siguientes mejoras:

- Revisar la estandarización de la información de los despachos energéticos para para las centrales eléctricas que operan fuera del Sistema Nacional Interconectado.
- Separar los consumos de autoprodutores para ser asignado a la industria correspondiente.

Estas mejoras planificadas dependerán en gran medida de las prioridades y el apoyo nacional e internacional que reciba el país.

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

3.2.8.1. Descripción y tendencia de los GEI 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* (IPCC, 2006).

En el caso de Guatemala, no se cuenta con información desagregada por tipo de industria, por lo tanto, todas las emisiones de GEI se presentan agregadas.

La subcategoría *industrias manufactureras y de la construcción* representó el 9.3 % de las emisiones de GEI del sector Energía en 2018. En el mismo año, las emisiones de la subcategoría contabilizaron 1,949.1 kt CO₂ eq, incrementándose en un 150.7 % desde 1990 y en un 32.8 % desde 2005 (Tabla 3.20 y Figura 3.8). La tendencia al aumento de las emisiones se debe al crecimiento de las industrias del país, las que a su vez se ven afectadas por las crisis económicas como lo evidencias el 2008-2009 y 2013. En 2017, las emisiones aumentan por el incremento en el consumo de coque de petróleo.

Tabla 3.20.

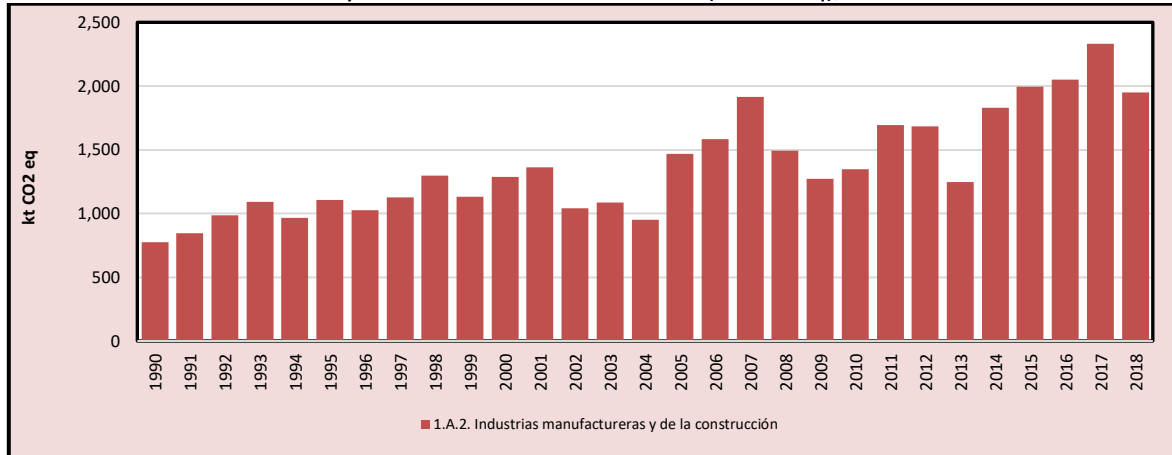
Industria de la manufactura y la construcción: total de GEI (kt CO₂ eq)

Subcategoría	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
1.A.2. Industrias manufactureras...	777.6	1,104.6	1,289.7	1,467.4	1,348.0	1,995.7	2,051.4	2,333.3	1,949.1

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

Figura 3.8.

Industria de la manufactura y la construcción: total de GEI (kt CO₂ eq), 1990-2018



Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

3.2.8.2. Aspectos metodológicos de la subcategoría

Para la estimación de emisiones de GEI de la subcategoría se aplicó el método de Nivel 1, utilizando las estadísticas del Balance Energético y Balance Petrolero, ambos elaborados por el MEM, y los factores de emisión por defecto de las *Directrices del IPCC de 2006*. Más información en la Sección 3.2.2.

3.2.8.2.1. Datos de actividad de la subcategoría

Los datos de cantidad de combustible utilizado para las industrias son solicitados por el MEM a los agentes respectivos que reportan anualmente las condiciones y cantidades de combustible quemado para el consumo propio. El detalle de los datos de actividad utilizados, por tipo de combustible, se presenta en la Tabla 3.21.

Tabla 3.21.

Industria de la manufactura y la construcción: consumo de combustibles (TJ), 1990-2018

Año	GLP	Gasolina para motores	Otro queroseno	Diésel	Fuelóleo residual	Coque de petróleo	Madera/desechos de madera
1990	599.2	0.0	166.9	2,744.8	6,689.1	0.0	2,138.8
1991	657.6	0.0	172.5	2,756.4	7,478.8	0.0	2,229.2
1992	595.3	0.0	183.6	2,989.0	9,142.1	0.0	2,319.6
1993	797.6	0.0	194.8	3,134.4	10,195.2	0.0	2,274.4
1994	801.5	0.0	200.3	3,343.8	8,340.4	0.0	2,229.2
1995	871.6	0.0	239.3	3,576.4	9,812.2	0.0	2,259.3
1996	898.8	0.0	222.6	3,646.2	8,729.3	0.0	2,289.5
1997	906.6	0.0	222.6	3,861.3	9,824.2	0.0	2,319.6
1998	984.4	0.0	239.3	4,268.4	11,511.4	0.0	2,334.6
1999	455.2	0.0	256.0	4,698.7	9,429.3	0.0	2,635.9
2000	459.1	0.0	257.1	4,933.1	11,206.3	0.0	2,635.9
2001	1,750.6	672.5	241.7	3,306.1	12,125.1	0.0	0.0
2002	1,890.7	716.6	205.4	3,628.0	7,560.6	0.0	0.0
2003	2,075.5	690.4	212.0	3,734.4	7,926.9	0.0	0.0
2004	2,140.2	696.4	231.4	3,567.8	6,231.2	0.0	0.0
2005	2,101.2	723.7	61.0	3,929.8	5,640.9	5,623.4	0.0
2006	2,167.8	755.7	55.8	4,015.2	6,640.3	5,886.4	0.0

Año	GLP	Gasolina para motores	Otro queroseno	Diésel	Fuelóleo residual	Coque de petróleo	Madera/desechos de madera
2007	2,315.5	794.1	94.5	4,263.5	10,349.2	6,005.4	0.0
2008	2,268.6	776.1	81.5	3,726.8	6,684.9	5,031.2	0.0
2009	2,103.5	860.4	73.9	4,235.3	2,675.9	5,636.4	0.0
2010	2,187.7	845.8	80.7	4,263.8	4,371.5	4,999.6	0.0
2011	2,343.9	823.3	90.0	4,270.1	7,996.4	5,575.2	0.0
2012	2,512.6	833.1	197.8	4,280.5	8,556.5	4,807.6	0.0
2013	2,622.0	881.1	129.7	4,522.5	1,331.1	5,833.2	0.0
2014	2,729.1	968.7	207.0	4,840.1	7,469.6	6,497.7	0.0
2015	3,180.9	1,170.8	133.7	5,217.3	9,446.3	5,956.7	0.0
2016	3,401.2	1,280.0	146.8	5,523.7	9,672.0	5,884.3	0.0
2017	3,579.0	1,342.9	4.6	5,618.7	7,525.8	10,346.4	0.0
2018	3,732.2	1,406.8	3.0	5,767.3	6,938.5	6,626.3	0.0

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en el Balance Energético del MEM.

Es importante mencionar que los datos de autoprodutores fueron incluidos en la componente *producción de electricidad y calor como actividad principal* y no se reportan en esta subcategoría industria respectiva dentro de la subcategoría *industrias manufactureras y de la construcción*, como indican las *Directrices del IPCC de 2006*.

3.2.8.2.2. Factores de emisión de la subcategoría

Los factores de emisión por defecto para CO₂ se presentan en la Tabla 3.6, mientras que para los otros GEI se utilizaron los factores de emisión por defecto del Cuadro 2.3, Cap. 2, Vol. 2 de las *Directrices del IPCC 2006*, los cuales se incluyen en la tabla siguiente.

Tabla 3.22.

Industrias manufactureras y de la construcción: factores de emisión utilizados (kg/TJ)

Combustible	Valor para CH ₄	Valor para N ₂ O
Coque de petróleo	3	0.6
Diésel	3	0.6
Fuelóleo residual	3	0.6
Gases licuados de petróleo	1	0.1
Gasolina para motores	3	0.6
Madera/desechos de madera	30	4
Otro queroseno	3	0.6

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en las *Directrices del IPCC 2006*.

3.2.8.3. Incertidumbre y coherencia de la serie temporal de la subcategoría

Con respecto a los datos de actividad, el Balance Energético de Guatemala no cuenta con una estadística sobre la exactitud e incertidumbre de los datos. Dado esto, se consideró una incertidumbre del 5 %, de acuerdo con el dictamen experto del MEM.

Con respecto a los factores de emisión, dado el uso de factores de emisión por defecto de las *Directrices del IPCC de 2006*, se utilizaron sus valores de incertidumbre por defecto.

Los valores de incertidumbre utilizados y la incertidumbre combinada se presentan en la Tabla 3.23. Se puede apreciar que las mayores incertidumbres combinadas están asociadas al uso de los factores de emisión por defecto de CH₄ y N₂O, especialmente de la biomasa.

Tabla 3.23.

Industrias manufactureras y de la construcción: valores de incertidumbre utilizados e incertidumbre combinada

Categorías de fuente de GEI	GEI	Incertidumbre de los DA	Incertidumbre del FE	Incertidumbre combinada
Industrias manufactureras y de la construcción - Líquido	CO ₂	5.0%	7.0%	8.6%
Industrias manufactureras y de la construcción - Líquido	CH ₄	5.0%	233.0%	233.1%
Industrias manufactureras y de la construcción - Líquido	N ₂ O	5.0%	233.0%	233.1%
Industrias manufactureras y de la construcción - Biomasa	CH ₄	5.0%	233.0%	233.1%
Industrias manufactureras y de la construcción - Biomasa	N ₂ O	5.0%	275.0%	275.0%

Nota: con fines conservadores y de reporte, cuando el rango de incertidumbre fue asimétrico, se aplicó el valor más distante de la media. Los valores asimétricos pueden consultarse en el Anexo 2.

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en las *Directrices del IPCC 2006*.

Para mantener la coherencia de la serie temporal 1990-2018 se usaron los mismos factores de emisión y la misma fuente de datos de actividad, tanto estadísticos como paramétricos.

3.2.8.4. Actividades de GCCV de la subcategoría

Las actividades de GCCV aplicadas a la subcategoría fueron las siguientes:

- Los balances energéticos 2005-2015 fueron actualizados por el MEM en 2015. Esto incluyó la revisión de la metodología y distribución porcentual de los totales para cada subsector de consumo energético.
- Los factores de emisión, conversión y constantes fueron compilados y centralizados en una sola hoja de trabajo, vinculada al resto de las hojas de trabajo. Permitiendo una rápida revisión y actualización.
- Utilización del Software del IPCC para la generación de tablas anuales para la estimación de emisiones, permitiendo eliminar considerablemente los posibles errores de digitación.

3.2.8.5. Nuevos cálculos de la subcategoría

Para la subcategoría se realizaron nuevos cálculos debido a cambios metodológicos, ya que en el actual inventario se aplicó las *Directrices del IPCC de 2006*, mientras que los inventarios anteriores fueron realizados mediante la aplicación de las *Directrices Revisadas del IPCC de 1996*. Además, la fuente principal de datos de actividad, el Balance Energético, ha sido ajustado con el tiempo.

Los nuevos cálculos realizados tuvieron significativas implicancias en los GEI reportados en el presente inventario en comparación con los inventarios anteriores. Es importante mencionar que, con fines comparativos, se utilizaron los PCA del AR4 para reportar el inventario de la 2CN. Como se presenta en la

Tabla 3.24, se presenta una significativa diferencia de -16.2 % para 2005, mientras que para 1994 y 2000, las diferencias son muy poco significativas.

Tabla 3.24.

Industrias manufactureras y de la construcción: comparación entre los totales anuales de los inventarios (kt CO₂ eq)

INGEI	1994	2000	2005
INGEI - 2CN	972.5	1,332.3	1,751.5
INGEI - 1IBA	965.7	1,289.7	1,467.4
Diferencia	-6.8	-42.6	-284.1
Diferencia porcentual	-0.7%	-3.2%	-16.2%

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN con base en la 2CN de Guatemala.

3.2.8.6. Plan de mejora de la subcategoría

Para esta subcategoría se contemplan las siguientes mejoras:

- Revisar la información de autoprodutores para su inclusión en esta subcategoría.
- Revisar otras estadísticas nacionales que permitan separar las industrias por tipo para toda la serie temporal.

Estas mejoras planificadas dependerán en gran medida de las prioridades y el apoyo nacional e internacional que reciba el país.

3.2.9. Transporte (FCR 1.A.3)

3.2.9.1. Descripción y tendencia de los GEI 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.

En Guatemala se incluye la *aviación civil* y el *transporte terrestre*. Respecto a este último, y debido a la falta de desagregación de los datos, también incluye *ferrocarriles* y *navegación marítima y fluvial*. Además, es importante señalar que la *navegación internacional* (la cual debería ser reportada como *elemento informativo*) no pudo ser desagregada de la información de *navegación marítima y fluvial*, por lo que también se incluye dentro de *transporte terrestre*.

La subcategoría *transporte* representó el 47.2 % de las emisiones de GEI del sector Energía en 2018, siendo la subcategoría más relevante del sector. En el mismo año, las emisiones de la subcategoría contabilizaron 9,889.0 kt CO₂ eq, incrementándose en un 339.9 % desde 1990 y en un 66.9 % desde 2005 (Tabla 3.25 y Figura 3.9). La tendencia al aumento de las emisiones se debe al crecimiento sostenido del parque automotriz, el que ha aumentado en 224.5 % desde 2005 (SAT, 2022).

El *transporte terrestre* aporta prácticamente el 100 % de las emisiones de la subcategoría, sin embargo, se debe tomar en consideración que las emisiones de GEI se encuentran sobrestimadas debido a que, por un lado, incluye las emisiones de GEI del combustible consumido por la

navegación internacional y, por otro lado, incluye las emisiones de ferrocarriles y navegación marítima y fluvial.

Tabla 3.25.

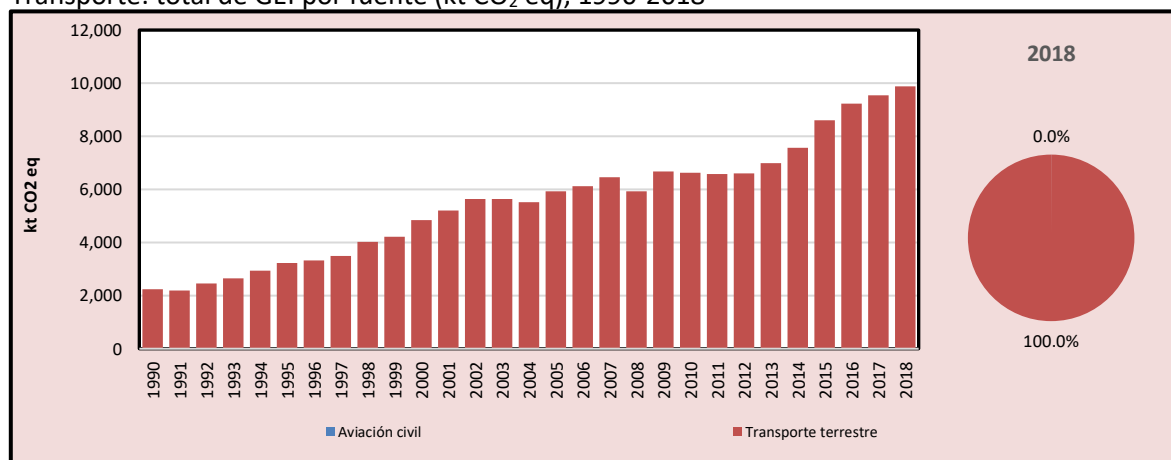
Transporte: total de GEI por fuente (kt CO₂ eq)

Fuente	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
1.A.3.a. Aviación civil	2.8	4.4	6.5	5.8	5.0	4.8	4.5	4.2	4.0
1.A.3.b. Transporte terrestre	2,245.5	3,218.5	4,829.2	5,920.5	6,633.2	8,588.7	9,233.6	9,534.2	9,885.0
Total	2,248.2	3,222.8	4,835.7	5,926.3	6,638.2	8,593.5	9,238.1	9,538.4	9,889.0

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

Figura 3.9.

Transporte: total de GEI por fuente (kt CO₂ eq), 1990-2018



Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

3.2.9.2. Aspectos metodológicos de la subcategoría

Para la estimación de emisiones de GEI de la subcategoría se aplicó el método de Nivel 1, utilizando las estadísticas del Balance Energético y Balance Petrolero, ambos elaborados por el MEM, y los factores de emisión por defecto de las *Directrices del IPCC de 2006*. Tal como se mencionó anteriormente, las emisiones de GEI de *ferrocarriles, navegación marítima y fluvial y navegación internacional* también se incluyen dentro de *transporte terrestre*, lo que genera una sobrestimación de emisiones. Más información en la Sección 3.2.2.

3.2.9.2.1. Datos de actividad de la subcategoría

Los datos de la cantidad de combustible utilizado para *transporte* son solicitados por el MEM a los agentes distribuidores, quienes reportan anualmente las condiciones y cantidades de combustible para la venta. El detalle de los datos de actividad utilizados, por subcategoría y tipo de combustible, se presentan en la Tabla 3.26.

Tabla 3.26.

Transporte: consumo de combustibles de la aviación civil y el transporte terrestre (TJ), 1990-2018

Año	Aviación civil		Transporte terrestre	
	Gasolina para la aviación	GLP	Gasolina para motores	Diésel
1990	39.0	23.3	13,671.8	16,881.7
1991	36.6	23.3	12,823.4	16,974.8

Anexo técnico del IBA de Guatemala: Informe del Inventario Nacional 2022

Año	Aviación civil	Transporte terrestre		
	Gasolina para la aviación	GLP	Gasolina para motores	Diésel
1992	42.8	19.5	15,011.5	18,405.3
1993	47.7	27.2	16,708.2	19,300.9
1994	54.9	31.1	19,253.2	20,847.7
1995	61.7	35.0	21,622.4	22,284.1
1996	64.5	35.0	22,620.7	22,720.2
1997	66.9	35.0	23,443.2	24,075.2
1998	80.7	38.9	28,274.6	26,622.3
1999	85.2	638.1	29,857.5	27,122.4
2000	92.2	643.2	32,335.3	33,031.3
2001	87.4	87.5	32,788.5	38,020.1
2002	88.0	94.5	34,938.3	41,721.9
2003	83.0	103.8	33,661.5	42,945.4
2004	84.7	107.0	33,950.5	41,029.5
2005	82.3	105.1	35,285.0	45,192.4
2006	97.9	108.4	36,841.7	46,174.5
2007	84.9	115.8	38,717.0	49,030.3
2008	79.3	113.4	37,836.8	42,857.9
2009	76.1	105.2	41,947.1	48,706.2
2010	71.1	109.4	41,235.4	49,033.5
2011	71.7	117.2	40,137.3	49,106.5
2012	73.2	125.6	40,616.7	49,225.8
2013	71.8	131.1	42,955.2	52,008.5
2014	56.5	136.5	47,226.6	55,661.5
2015	68.3	159.0	57,075.8	59,999.1
2016	63.9	170.1	62,403.2	63,522.7
2017	59.7	178.9	65,466.1	64,615.1
2018	56.6	186.6	68,583.7	66,323.7

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en el Balance Energético del MEM.

Respecto a la información del consumo de combustibles de la *aviación civil*, la gasolina de aviación está incluida dentro de gasolina para transporte en el Balance Energético. Para su desagregación, se consideró la información del Balance Petrolero disponible a partir de 2000, el cual desagrega los combustibles de transporte en más categorías. Para utilizar este valor, se consideró la relación (como porcentaje) entre la gasolina de aviación y la gasolina total reportada en el Balance Petrolero. Esta relación es aplicada al Balance Energético y es descontada del total de gasolina de transporte. Para la serie de tiempo 1990-1999, se asume que la gasolina de aviación corresponde al 0.28 % de la gasolina reportada en el Balance Energético, relación correspondiente 2000 (Tabla 3.27). Así mismo, de acuerdo con el dictamen experto del MEM, se considera que la aviación nacional solo consume gasolina de aviación, mientras que el consumo de queroseno para motor a reacción es asignado a *aviación internacional*.

Tabla 3.27.

Transporte: consumo de gasolina de transporte y gasolina de aviación reportados en el Balance Petrolero (Tcal), 2000-2018

Año	Gasolinas	Gasolina de aviación	Total gasolinas	% Gasolina Aviación
2000	5,883,404	16,784	5,900,188.2	0.28%
2001	6,493,636	17,304	6,510,940.0	0.27%
2002	6,919,414	17,428	6,936,842.0	0.25%
2003	6,666,548	16,440	6,682,987.6	0.25%
2004	6,723,780	16,777	6,740,557.4	0.25%
2005	6,992,083	16,318	7,008,401.2	0.23%
2006	7,296,342	19,379	7,315,721.0	0.26%
2007	7,667,825	16,809	7,684,633.8	0.22%
2008	7,493,527	15,700	7,509,226.8	0.21%
2009	8,307,633	15,062	8,322,695.1	0.18%

Anexo técnico del IBA de Guatemala: Informe del Inventario Nacional 2022

Año	Gasolinas	Gasolina de aviación	Total gasolinas	% Gasolina Aviación
2010	8,166,689	14,077	8,180,765.7	0.17%
2011	7,949,196	14,202	7,963,398.3	0.18%
2012	8,044,147	14,495	8,058,642.0	0.18%
2013	8,507,323	14,218	8,521,541.3	0.17%
2014	9,353,374	11,180	9,364,553.9	0.12%
2015	11,304,058	13,531	11,317,589.0	0.12%
2016	12,359,209	12,652	12,371,860.6	0.10%
2017	12,965,877	11,830	12,977,706.9	0.09%
2018	13,583,372	11,220	13,594,591.4	0.08%

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en las estadísticas de comercialización de hidrocarburos del MEM.

3.2.9.2.2. Factores de emisión de la subcategoría

Los factores de emisión por defecto para CO₂ se presentan en la Tabla 3.6, mientras que para los otros GEI se utilizaron los factores de emisión por defecto de los Cuadros 3.2.2 y 3.6.5, Cap. 3, Vol. 2 de las *Directrices del IPCC 2006*, los cuales se incluyen en la tabla siguiente.

Tabla 3.28.

Transporte: factores de emisión utilizados (kg/TJ)

Combustible	Valor para CH₄	Valor para N₂O
Diésel	33	3.2
Gases licuados de petróleo	62	0.2
Gasolina para la aviación	0.5	2
Gasolina para motores	3.9	3.9
Queroseno para motor a reacción	0.5	2

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN con base en las *Directrices del IPCC 2006*.

3.2.9.3. Incertidumbre y coherencia de la serie temporal de la subcategoría

Con respecto a los datos de actividad, el Balance Energético de Guatemala no cuenta con una estadística sobre la exactitud e incertidumbre de los datos. Dado esto, se consideró una incertidumbre del 5 %, de acuerdo con el dictamen experto del MEM.

Con respecto a los factores de emisión, dado el uso de factores de emisión por defecto de las *Directrices del IPCC de 2006*, se utilizaron sus valores de incertidumbre por defecto.

Los valores de incertidumbre utilizados y la incertidumbre combinada se presentan en la Tabla 3.29. Se puede apreciar que las mayores incertidumbres combinadas están asociadas al uso de los factores de emisión por defecto de CH₄ y N₂O del *transporte terrestre*.

Tabla 3.29.

Transporte: valores de incertidumbre utilizados e incertidumbre combinada

Categorías de fuente de GEI	GEI	Incertidumbre de los DA	Incertidumbre del FE	Incertidumbre combinada
Aviación civil	CO ₂	5.0%	7.0%	8.6%
Aviación civil	CH ₄	5.0%	100.0%	100.1%
Aviación civil	N ₂ O	5.0%	150.0%	150.1%
Transporte terrestre	CO ₂	5.0%	7.0%	8.6%
Transporte terrestre	CH ₄	5.0%	230.0%	230.1%
Transporte terrestre	N ₂ O	5.0%	240.0%	240.1%

Nota: con fines conservadores y de reporte, cuando el rango de incertidumbre fue asimétrico, se aplicó el valor más distante de la media. Los valores asimétricos pueden consultarse en el Anexo 2.

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en las *Directrices del IPCC 2006*.

Para mantener la coherencia 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. Si bien se tomaron datos del Balance Petrolero para desagregar el consumo de gasolina reportado en el Balance Energético, solo se tomaron de manera porcentual, de modo de mantener la coherencia con el total de los datos del Balance Energético.

3.2.9.4. Actividades de GCCV de la subcategoría

Las actividades de GCCV aplicadas a la subcategoría fueron las siguientes:

- Los balances energéticos 2005-2015 fueron actualizados por el MEM en 2015. Esto incluyó la revisión de la metodología y distribución porcentual de los totales para cada subsector de consumo energético.
- El balance petrolero del MEM recopila toda la información de los combustibles despachados para el transporte a través de la Dirección General de Hidrocarburos y los datos son corroborados con las bases de datos de la SAT.
- Los factores de emisión, conversión y constantes fueron compilados y centralizados en una sola hoja de trabajo, vinculada al resto de las hojas de trabajo. Permitiendo una rápida revisión y actualización.
- Utilización del Software del IPCC para la generación de tablas anuales para la estimación de emisiones, permitiendo eliminar considerablemente los posibles errores de digitación.

3.2.9.5. Nuevos cálculos de la subcategoría

Para la subcategoría se realizaron nuevos cálculos debido a cambios metodológicos, ya que en el actual inventario se aplicó las *Directrices del IPCC de 2006*, mientras que los inventarios anteriores fueron realizados mediante la aplicación de las *Directrices Revisadas del IPCC de 1996*. También se realizaron ajustes para la desagregación de *aviación internacional*. Además, la fuente principal de datos de actividad, el Balance Energético, ha sido ajustado con el tiempo.

Los nuevos cálculos realizados tuvieron implicancias en los GEI reportados en el presente inventario en comparación con los inventarios anteriores. Es importante mencionar que, con fines comparativos, se utilizaron los PCA del AR4 para reportar el inventario de la 2CN. Como se presenta en la Tabla 3.30, se presenta una diferencia de 7.1 % para 2005, mientras que para 1994 y 2000, las diferencias son menos significativas.

Tabla 3.30.

Transporte: comparación entre los totales anuales de los inventarios (kt CO₂ eq)

INGEI	1994	2000	2005
INGEI - 2CN	3,131.9	4,515.8	6,016.0
INGEI - 1IBA	2,945.5	4,835.7	5,926.3
Diferencia	-186.5	319.9	-89.7
Diferencia porcentual	-6.0%	7.1%	-1.5%

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en la 2CN de Guatemala.

3.2.9.6. Plan de mejora de la subcategoría

Para esta subcategoría se revisarán las estadísticas nacionales, como las generadas por el SAT, para la posible desagregación del parque vehicular y otros medios de transporte. Estas mejoras planificadas dependerán en gran medida de las prioridades y el apoyo nacional e internacional que reciba el país.

3.2.10. Otros sectores (FCR 1.A.4)

3.2.10.1. Descripción y tendencia de los GEI de la subcategoría

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

En Guatemala solo se consideraron las emisiones de *comercial/institucional* y *residencial*.

La subcategoría *otros sectores* representó el 16.6 % de las emisiones de GEI del sector Energía en 2018. En el mismo año, las emisiones de la subcategoría contabilizaron 3,477.2 kt CO₂ eq, incrementándose en un 167.8 % desde 1990 y en un 51.0 % desde 2005 (Tabla 3.31 y Figura 3.10). La tendencia al aumento de las emisiones se debe al crecimiento de la población y el consumo de combustibles relacionado. El máximo local de emisiones del 2001 se debe a un aumento del consumo de leña residencial.

Residencial aporta el 96.4 % de las emisiones de la subcategoría, dominado principalmente por el consumo de leña, mientras que el restante 3.6 % es aportado por *comercial/institucional*.

Tabla 3.31.

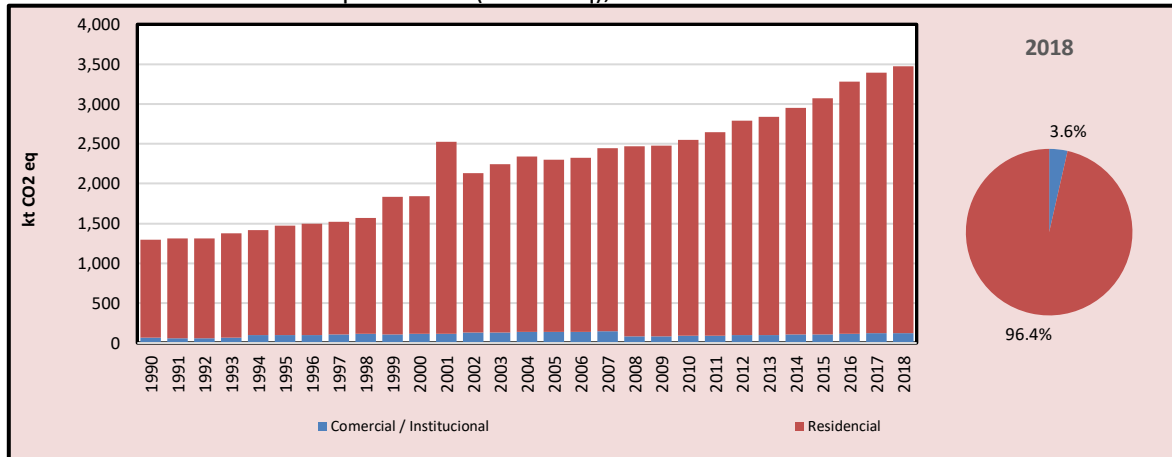
Otros sectores: total de GEI por fuente (kt CO₂ eq)

Fuente	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
1.A.4.a. Comercial / Institucional	67.4	98.7	114.3	138.7	88.8	109.3	117.2	120.2	123.8
1.A.4.b. Residencial	1,231.2	1,377.6	1,727.5	2,164.6	2,457.5	2,962.8	3,160.9	3,269.5	3,353.4
Total	1,298.6	1,476.2	1,841.8	2,303.2	2,546.3	3,072.1	3,278.1	3,389.8	3,477.2

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

Figura 3.10.

Otros sectores: total de GEI por fuente (kt CO₂ eq), 1990-2018



Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

3.2.10.2. Aspectos metodológicos de la subcategoría

Para la estimación de emisiones se utiliza el método de Nivel 1 utilizando las estadísticas de energía nacionales Balance Energético y Balance Petrolero y los factores de emisión por defecto establecidas en las *Directrices del IPCC 2006*. La componente *agricultura/silvicultura/pesca* se incluye en la componente *transporte terrestre*. Más información en la Sección 3.2.2.

3.2.10.2.1. Datos de actividad de la subcategoría

Los datos de la cantidad de combustible utilizado para *otros sectores* son solicitados por el MEM a los agentes distribuidores quienes reportan anualmente las condiciones y cantidades de combustible quemado para la venta. El detalle de los datos de actividad utilizados, por subcategoría y tipo de combustible, se presentan en la Tabla 3.32 siguiente.

Tabla 3.32.

Otros sectores: consumo de combustibles de comercial/institucional y residencial (TJ), 1990-2018

Año	Comercial / Institucional				Residencial		
	GLP	Gasolina para motores	Otro queroseno	Madera/desechos de madera	GLP	Otro queroseno	Madera/desechos de madera
1990	626.4	357.9	39.0	0.0	3,097.2	1,279.8	108,462.9
1991	533.1	300.9	33.4	0.0	3,369.6	1,335.5	108,643.7
1992	482.5	352.8	33.4	0.0	3,046.6	1,407.8	110,827.7
1993	645.9	394.3	33.4	0.0	4,089.4	1,474.6	108,643.7
1994	957.2	487.6	44.5	0.0	4,354.0	1,602.6	106,444.6
1995	961.1	503.2	39.0	0.0	4,739.2	1,897.5	108,206.9
1996	992.2	529.1	39.0	0.0	4,887.1	1,769.5	109,969.2
1997	1,003.9	555.1	39.0	0.0	4,933.8	1,791.7	111,746.5
1998	1,089.5	669.2	44.5	0.0	5,354.0	1,897.5	111,791.7
1999	1,003.9	612.1	44.5	0.0	7,027.1	1,814.0	132,020.2
2000	1,011.7	662.5	56.8	0.0	7,082.7	1,824.0	132,020.2
2001	175.1	168.1	80.6	9,727.6	6,739.9	1,772.5	213,706.0
2002	189.1	182.7	68.5	11,296.8	7,279.3	1,506.4	164,786.9
2003	207.5	172.9	70.7	11,911.5	7,990.5	1,555.0	171,582.1

Anexo técnico del IBA de Guatemala: Informe del Inventario Nacional 2022

Año	Comercial / Institucional				Residencial		
	GLP	Gasolina para motores	Otro queroseno	Madera/desechos de madera	GLP	Otro queroseno	Madera/desechos de madera
2004	214.0	174.1	77.1	12,844.4	8,239.7	1,697.2	178,691.5
2005	210.1	180.9	20.3	12,805.8	8,089.8	426.8	186,605.5
2006	216.8	188.9	18.6	13,076.1	8,346.0	390.9	187,148.7
2007	231.5	198.5	31.5	13,541.4	8,914.5	661.5	193,808.3
2008	226.9	194.0	27.2	6,381.3	8,734.1	570.4	206,329.6
2009	210.3	215.1	24.6	6,542.2	8,098.3	517.6	211,530.0
2010	218.8	211.5	26.9	6,703.0	8,422.6	565.2	216,730.4
2011	234.4	205.8	30.0	6,899.6	9,024.1	629.9	223,087.7
2012	251.3	208.3	65.9	7,059.6	9,673.7	1,384.4	228,259.2
2013	262.2	220.3	43.2	7,251.9	10,094.7	907.7	234,479.0
2014	272.9	242.2	69.0	7,404.8	10,506.9	1,448.7	239,422.1
2015	318.1	292.7	44.6	7,545.0	12,246.5	935.7	243,955.9
2016	340.1	320.0	48.9	8,035.6	13,094.4	1,027.4	259,817.8
2017	357.9	335.7	1.5	8,524.0	13,779.0	32.2	275,608.5
2018	373.2	351.7	1.0	8,692.6	14,368.9	20.7	281,062.5

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en el Balance Energético del MEM.

3.2.10.2. Factores de emisión de la subcategoría

Los factores de emisión por defecto para CO₂ se presentan en la Tabla 3.6, mientras que para los otros GEI se utilizaron los factores de emisión por defecto de los Cuadros 2.4 y 2.5, Cap. 2, Vol. 2 de las *Directrices del IPCC 2006*, los cuales se incluyen en la Tabla 3.33 siguiente.

Tabla 3.33.

Otros sectores: factores de emisión utilizados (kg/TJ)

Combustible	Valor para CH ₄	Valor para N ₂ O
Gases licuados de petróleo	5	0.1
Gasolina para motores	10	0.6
Otro queroseno	10	0.6

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en las *Directrices del IPCC de 2006*.

3.2.10.3. Incertidumbre y coherencia de la serie temporal de la subcategoría

Con respecto a los datos de actividad, el Balance Energético de Guatemala no cuenta con una estadística sobre la exactitud e incertidumbre de los datos. Dado esto, se consideró una incertidumbre del 15 %, de acuerdo con el dictamen experto del MEM.

Con respecto a los factores de emisión, dado el uso de factores de emisión por defecto de las *Directrices del IPCC de 2006*, se utilizaron sus valores de incertidumbre por defecto.

Los valores de incertidumbre utilizados y la incertidumbre combinada se presentan en la Tabla 3.34. Se puede apreciar que las mayores incertidumbres combinadas están asociadas al uso de los factores de emisión por defecto de N₂O del uso de la *biomasa* como combustible.

Tabla 3.34.

Otros sectores: valores de incertidumbre utilizados e incertidumbre combinada

Categorías de fuente de GEI	GEI	Incertidumbre de los DA	Incertidumbre del FE	Incertidumbre combinada
Comercial / Institucional - Líquido	CO ₂	15.0%	7.0%	16.6%
Comercial / Institucional - Líquido	CH ₄	15.0%	233.0%	233.5%
Comercial / Institucional - Líquido	N ₂ O	15.0%	233.0%	233.5%
Comercial / Institucional - Biomasa	CH ₄	15.0%	233.0%	233.5%
Comercial / Institucional - Biomasa	N ₂ O	15.0%	275.0%	275.4%
Residencial - Líquido	CO ₂	15.0%	7.0%	16.6%
Residencial - Líquido	CH ₄	15.0%	233.0%	233.5%
Residencial - Líquido	N ₂ O	15.0%	233.0%	233.5%
Residencial - Biomasa	CH ₄	15.0%	233.0%	233.5%
Residencial - Biomasa	N ₂ O	15.0%	275.0%	275.4%

Nota: con fines conservadores y de reporte, cuando el rango de incertidumbre fue asimétrico, se aplicó el valor más distante de la media. Los valores asimétricos pueden consultarse en el Anexo 2.

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en las *Directrices del IPCC 2006*.

Para mantener la coherencia de la serie temporal 1990-2018 se usaron los mismos factores de emisión y la misma fuente de datos de actividad, tanto estadísticos como paramétricos.

3.2.10.4. Actividades de GCCV de la subcategoría

Las actividades de GCCV aplicadas a la subcategoría fueron las siguientes:

- Los balances energéticos 2005-2015 fueron actualizados por el MEM en 2015. Esto incluyó la revisión de la metodología y distribución porcentual de los totales para cada subsector de consumo energético.
- Los factores de emisión, conversión y constantes fueron compilados y centralizados en una sola hoja de trabajo, vinculada al resto de las hojas de trabajo. Permitiendo una rápida revisión y actualización.
- Utilización del Software del IPCC para la generación de tablas anuales para la estimación de emisiones, permitiendo eliminar considerablemente los posibles errores de digitación.

3.2.10.5. Nuevos cálculos de la subcategoría

Para la subcategoría se realizaron nuevos cálculos debido a cambios metodológicos, ya que en el actual inventario se aplicó las *Directrices del IPCC de 2006*, mientras que los inventarios anteriores fueron realizados mediante la aplicación de las *Directrices Revisadas del IPCC de 1996*. Además, la fuente principal de datos de actividad, el Balance Energético, ha sido ajustado con el tiempo.

Los nuevos cálculos realizados tuvieron significativas implicancias en los GEI reportados en el presente inventario en comparación con los inventarios anteriores. Es importante mencionar que, con fines comparativos, se utilizaron los PCA del AR4 para reportar el inventario de la 2CN. Como se presenta en la Tabla 3.35, para 1994 y 2000 se presentan diferencias de -16.7 % y -17.0 % respectivamente. Por su parte, el 2005 tiene una diferencia de 28.2 %.

Tabla 3.35.

Otros sectores: comparación entre los totales anuales de los inventarios (kt CO₂ eq)

INGEI	1994	2000	2005
INGEI - 2CN	1,698.5	2,217.9	1,796.5
INGEI - 1IBA	1,414.3	1,841.8	2,303.2
Diferencia	-284.2	-376.1	506.8
Diferencia porcentual	-16.7%	-17.0%	28.2%

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en la 2CN de Guatemala.

3.2.10.6. Plan de mejora de la subcategoría

Para esta subcategoría se contemplan las siguientes mejoras:

- Revisar la estandarización en la recopilación de información proveniente de los hogares que utilizan otros materiales y combustibles para la cocción de alimentos a nivel residencial.
- Revisar las estadísticas nacionales como las generadas por el SAT para la posible desagregación del parque y otros medios de transporte, de modo de desagregar los datos necesarios para *agricultura/silvicultura/pesca*.

Estas mejoras planificadas dependerán en gran medida de las prioridades y el apoyo nacional e internacional que reciba el país.

3.3. Emisiones fugitivas de combustibles (FCR 1.B)

3.3.1. Descripción y tendencia de los GEI de la categoría

En la categoría *emisiones fugitivas* se incluyen todas las emisiones intencionales y no intencionales emanadas de la extracción, el procesamiento, almacenamiento y transporte de combustibles al punto de uso final. Abarca todas las emisiones por venteo, quema en antorcha y toda otra fuente fugitiva vinculada a la exploración, producción, transmisión, concentración y refinación de petróleo crudo y la distribución de productos de petróleo crudo.

En Guatemala, estas emisiones provienen exclusivamente de la producción y refinación de petróleo. En el presente inventario no se cuenta con datos para la quema de antorcha, transporte y distribución de productos de petróleo.

La categoría *emisiones fugitivas de combustibles* representó menos de un 0.1 % de las emisiones de GEI del sector Energía en 2018. En el mismo año, las emisiones de la categoría contabilizaron 0.5 kt CO₂ eq, disminuyendo en un 74.1 % desde 1990 y en aumentando un 60.5 % desde 2005 (Tabla 3.36 y Figura 3.11). La tendencia a la disminución se debe a la baja de la actividad de las refinerías de petróleo.

Tabla 3.36.

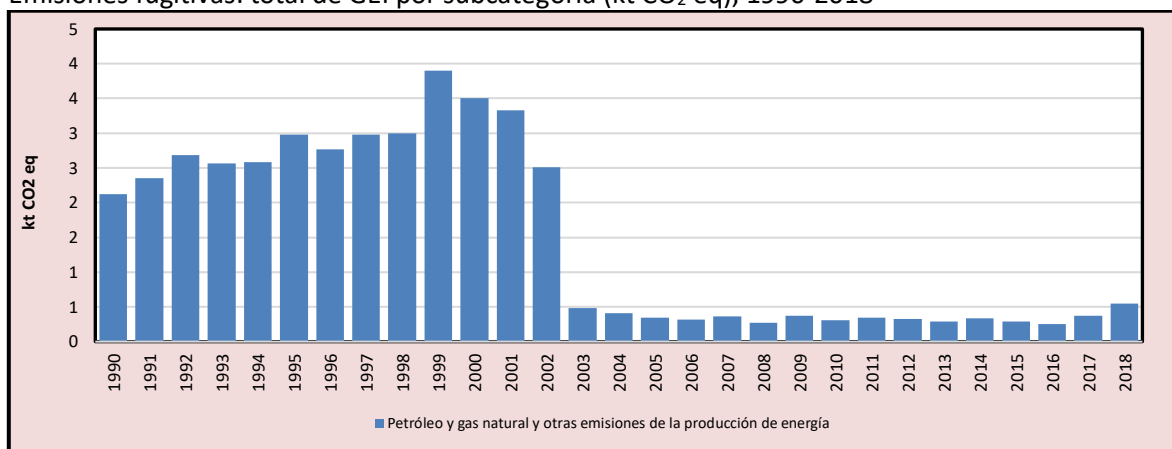
Emisiones fugitivas: total de GEI por subcategoría (kt CO₂ eq)

Subcategoría	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
1.B.2. Petróleo y gas natural y otras emisiones...	2.1	3.0	3.5	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.5

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

Figura 3.11.

Emisiones fugitivas: total de GEI por subcategoría (kt CO₂ eq), 1990-2018



Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

3.3.2. Aspectos metodológicos de la categoría

Para la estimación de emisiones se utiliza el método de Nivel 1 utilizando las estadísticas de energía nacionales Balance Energético y Balance Petrolero del MEM y los factores de emisión por defecto establecidas en el Capítulo 4, Volumen 2 de las *Directrices del IPCC 2006*. Se describe con mayor detalle en la sección correspondiente a la subcategoría *petróleo y gas natural*.

3.3.3. Combustibles sólidos (FCR 1.B.1)

De acuerdo con la estadística nacional esta subcategoría no ocurre en el país.

3.3.4. Petróleo y gas natural (FCR 1.B.2)

3.3.4.1. Descripción y tendencia de los GEI 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.

La subcategoría *petróleo y gas natural* es la única fuente considerada dentro de la categoría *emisiones fugitivas*. En 2018, las emisiones de la categoría contabilizaron 0.5 kt CO₂ eq, disminuyendo en un 74.1 % desde 1990 y aumentando un 60.5 % desde 2005 (Tabla 3.36 y Figura 3.11). La tendencia a la disminución se debe a la baja de la actividad de las refinerías de petróleo.

3.3.4.2. Aspectos metodológicos de la subcategoría

Para la estimación de emisiones se utiliza el método de Nivel 1 de las *Directrices del IPCC de 2006* (Ecuación 4.2.1, Cap. 4, Vol. 2). El método de Nivel 1 se basa en los datos de actividad asociados a las distintas etapas de producción y refinación y los factores de emisión por GEI respectivos.

3.3.4.2.1. Datos de actividad de la subcategoría

Los datos de la cantidad de petróleo considerado para las actividades de producción y refinación de petróleo se establecen en el Balance Energético del MEM. Estos valores son reportados en TJ, por lo tanto, deben ser convertidos a m³. Para ello se utilizaron los valores de la Tabla 30 del *Manual Estadística Energética* de OLADE. Los datos de actividad se presentan en la Tabla 3.37 siguiente.

Tabla 3.37.

Petróleo y gas natural: datos de actividad (1000 m³), 1990-2018

Año	Producción	Refinación
1990	1,340	3,850
1991	1,260	4,279
1992	906	4,904
1993	2,342	4,651
1994	2,450	4,669
1995	3,180	5,377
1996	4,959	4,937
1997	6,643	5,282
1998	8,664	5,269
1999	7,921	6,944
2000	7,050	6,245
2001	7,108	5,914
2002	8,318	4,379
2003	8,339	659
2004	6,821	562
2005	6,214	459
2006	5,443	436
2007	5,158	533
2008	4,765	369
2009	4,557	564
2010	4,030	460
2011	3,690	531
2012	3,581	498
2013	3,367	444
2014	3,501	529
2015	3,385	436
2016	3,035	381
2017	3,251	593
2018	3,107	923

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en el Balance Energético del MEM.

3.3.4.2.2. Factores de emisión de la subcategoría

Se utilizaron los factores de emisión de CO₂ y CH₄ por defecto proporcionadas por los Cuadros 4.2.4 y 4.2.5, Cap. 4, Vol. 2 de las *Directrices del IPCC de 2006* y se consideró que Guatemala tiene una economía en desarrollo y que las actividades se desarrollan de manera costera (*offshore*). Para el caso del CH₄ de la refinación, se consideró el valor para país desarrollado, ante la ausencia de valores más representativos (Tabla 3.38).

Tabla 3.38.

Petróleo y gas natural: factores de emisión utilizado (Gg por 10³ m³ de petróleo)

Proceso	Valor para CO ₂	Valor para CH ₄
Producción	0.000000043	0.000000056
Refinación		0.0000218

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN con base en las *Directrices del IPCC 2006*.

3.3.4.3. Incertidumbre y coherencia de la serie temporal de la subcategoría

Con respecto a los datos de actividad, el BE de Guatemala no cuenta con una estadística sobre la exactitud e incertidumbre de los datos. Dado esto, se consideró un error del 3 %, de acuerdo con el dictamen experto del MEM.

Con respecto a los factores de emisión, dado el uso de factores de emisión por defecto de las *Directrices del IPCC de 2006*, se utilizaron sus valores de incertidumbre por defecto (Cuadro 4.2.5, Vol. 2, Cap. 4).

Los valores de incertidumbre utilizados y la incertidumbre combinada se presentan en la Tabla 3.39. Se puede apreciar que las mayores incertidumbres están asociadas al uso de los factores de emisión por defecto de CO₂ y CH₄.

Tabla 3.39.

Petróleo y gas natural: valores de incertidumbre utilizados e incertidumbre combinada

Categorías de fuente de GEI	GEI	Incertidumbre de los DA	Incertidumbre del FE	Incertidumbre combinada
Petróleo	CO ₂	3.0%	75.0%	75.1%
Petróleo	CH ₄	3.0%	75.0%	75.1%

Nota: con fines conservadores y de reporte, cuando el rango de incertidumbre fue asimétrico, se aplicó el valor más distante de la media. Los valores asimétricos pueden consultarse en el Anexo 2.

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en las *Directrices del IPCC 2006*.

Para mantener la coherencia de la serie temporal 1990-2018 se usaron los mismos factores de emisión y la misma fuente de datos de actividad, tanto estadísticos como paramétricos.

3.3.4.4. Actividades de GCCV de la subcategoría

Las actividades de GCCV aplicadas a la subcategoría fueron las siguientes:

- Los balances energéticos 2005-2015 fueron actualizados por el Ministerio de Energía y Minas en el año 2015. Esto incluyó la revisión de la metodología y distribución porcentual de los totales para cada subsector de consumo energético.
- Los factores de emisión, conversión y constantes fueron compilados y centralizados en una sola hoja de trabajo, vinculada al resto de las hojas de trabajo. Permitiendo una rápida revisión y actualización.
- Utilización del Software del IPCC para la generación de tablas anuales para la estimación de emisiones, permitiendo eliminar considerablemente los posibles errores de digitación.

3.3.4.5. Nuevos cálculos de la subcategoría

Para la subcategoría se realizaron cambios metodológicos ya que se utilizaron las *Directrices del IPCC de 2006*, respecto al proceso anterior que se basó en las *Directrices del IPCC 1996*.

En la Tabla 3.40 se muestra la comparación entre el inventario anterior presentado en la 2CN que incluía los años 1994, 2000 y 2005; y el inventario actual del 1IBA, serie 1990-2018. Para la

comparación se consideraron los valores en unidad de masa de GEI de los valores reportados en la 2CN y los PCA del AR4, en coherencia con los utilizados en esta actualización. Respecto a las diferencias, estas son mayores en el último año de la serie, lo que puede deberse a los ajustes del BE.

Tabla 3.40.

Petróleo y gas natural: comparación entre los totales anuales de los inventarios (kt CO₂ eq)

INGEI	1994	2000	2005
INGEI - 2CN	2.9	6.5	2.7
INGEI - 1IBA	2.6	3.5	0.3
Diferencia	-0.3	-3.0	-2.4
Diferencia porcentual	-11.8%	-45.8%	-87.3%

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en la 2CN de Guatemala.

3.3.4.6. Plan de mejora de la subcategoría

No se han planificado mejoras para esta subcategoría.

3.4. Transporte y almacenamiento de CO₂ (FCR 1.C)

Esta categoría no ocurre en el país.

CAPÍTULO 4: SECTOR PROCESOS INDUSTRIALES Y USO DE PRODUCTOS (FCR 2)

4.1. Panorama general del sector

4.1.1. Descripción del sector

Este sector incluye las emisiones de GEI provocadas por los procesos industriales, por el uso de GEI en los productos y por los usos no energéticos del carbono contenido en los combustibles fósiles. Las principales fuentes de emisión son las descargas provenientes de los procesos industriales que transforman materias por medios químicos o físicos (IPCC, 2006).

En Guatemala se registran emisiones de GEI en las categorías de *industria de los minerales, industria de los metales, productos no energéticos de combustibles y uso de solventes, y uso de productos sustitutos de las sustancias que agotan la capa de ozono* (SAO). Las categorías que no ocurren en el país son la *industria química* y la *industria electrónica*, mientras que la categoría *manufactura y utilización de otros productos* no fue estimada debido a la falta de datos de actividad.

4.1.2. Tendencia de los GEI del sector

En 2018, las emisiones por GEI del sector IPPU fueron 1,279.1 kt CO₂ (Tabla 4.1) y 713.6 kt CO₂ eq de HFC (Tabla 4.2). En general, destaca la categorías de *industria de los minerales* como la mayor fuente de emisiones de GEI del sector.

Tabla 4.1.

Sector IPPU: emisiones por GEI, categoría y subcategoría para 2018

Código	Categorías de fuente de GEI	CO ₂ (kt)	CH ₄ (kt)	N ₂ O (kt)
2.	Procesos industriales y uso de productos	1,279.1	NA, NO	NA, NE, NO
2.A.	Industria de los minerales	1,223.3		
2.A.1.	Producción de cemento	990.2		
2.A.2.	Producción de cal	185.0		
2.A.3.	Producción de vidrio	13.2		
2.A.4.	Otros usos de carbonatos en los procesos	35.0		
2.A.5.	Otros (especificar)	NO		
2.B.	Industria química	NO	NO	NO
2.B.1.	Producción de amoníaco	NO	NO	NO
2.B.2.	Producción de ácido nítrico			NO
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	
2.B.6.	Producción de dióxido de titanio	NO		
2.B.7.	Producción de ceniza de sosa	NO		
2.B.8.	Producción petroquímica y de negro de humo	NO	NO	
2.B.9.	Producción fluorquímica			
2.B.10.	Otros (especificar)	NO	NO	NO
2.C.	Industria de los metales	24.3	NA, NO	NO
2.C.1.	Producción de hierro y acero	24.0	NA	
2.C.2.	Producción de ferrosaleaciones	0.3	NA	
2.C.3.	Producción de aluminio	NO		
2.C.4.	Producción de magnesio	NO		
2.C.5.	Producción de plomo	NE		

Anexo técnico del IBA de Guatemala: Informe del Inventario Nacional 2022

Código	Categorías de fuente de GEI	CO ₂ (kt)	CH ₄ (kt)	N ₂ O (kt)
2.C.6.	Producción de cinc	NO		
2.C.7.	Otros (especificar)	NO	NO	NO
2.D.	Productos no energéticos de combustibles y uso de solventes	31.5	NA, NO	NA, NO
2.D.1.	Uso de lubricantes	26.1	NA	NA
2.D.2.	Uso de la cera de parafina	5.4	NA	NA
2.D.3.	Otros (especificar)	NO	NO	NO
2.E.	Industria electrónica			
2.E.1.	Circuitos integrados o semiconductores			
2.E.2.	Pantalla plana tipo TFT			
2.E.3.	Células fotovoltaicas			
2.E.4.	Fluidos de transferencia térmica			
2.E.5.	Otros (especificar)			
2.F.	Uso de productos sustitutos de las SAO			
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			
2.F.6.	Otras aplicaciones			
2.G.	Manufactura y utilización de otros productos	NO	NO	NE, NO
2.G.1.	Equipos eléctricos			
2.G.2.	SF ₆ y PFC de otros usos de productos			
2.G.3.	N ₂ O de usos de productos			NE
2.G.4.	Otros	NO	NO	NO
2.H.	Otros (especificar)	NO	NO	NO

Nota 1: NA = no aplica; NE = no estimado; NO = no ocurre; IE = incluido en otro lugar; C = confidencial.

Nota 2: los GEI reportados como 0.0 corresponden a valores menores a 0.04 kt CO₂ eq.

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

Tabla 4.2.

Sector IPPU: emisiones por gases fluorados, categoría y subcategoría para 2018

Código	Categorías de fuente de gases de efecto invernadero	HFC (kt CO ₂ eq)	PFC (kt CO ₂ eq)	SF ₆ (kt CO ₂ eq)	NF ₃ (kt CO ₂ eq)
2.	Procesos industriales y uso de productos	713.6	NO	NE, NO	NO
2.A.	Industria de los minerales				
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				
2.A.5.	Otros (especificar)				
2.B.	Industria química	NO	NO	NO	NO
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				
2.B.9.	Producción fluoroquímica	NO	NO	NO	NO
2.B.10.	Otros (especificar)				
2.C.	Industria de los metales	NO	NO	NO	NO
2.C.1.	Producción de hierro y acero				
2.C.2.	Producción de ferroaleaciones				
2.C.3.	Producción de aluminio		NO	NO	
2.C.4.	Producción de magnesio	NO	NO	NO	
2.C.5.	Producción de plomo				
2.C.6.	Producción de cinc				
2.C.7.	Otros (especificar)	NO	NO	NO	NO
2.D.	Productos no energéticos de combustibles y uso de solventes				

Anexo técnico del IIBA de Guatemala: Informe del Inventario Nacional 2022

Código	Categorías de fuente de gases de efecto invernadero	HFC (kt CO ₂ eq)	PFC (kt CO ₂ eq)	SF ₆ (kt CO ₂ eq)	NF ₃ (kt CO ₂ eq)
2.D.1.	Uso de lubricantes				
2.D.2.	Uso de la cera de parafina				
2.D.3.	Otros (solventes)				
2.E.	Industria electrónica	NO	NO	NO	NO
2.E.1.	Circuitos integrados o semiconductores	NO	NO	NO	NO
2.E.2.	Pantalla plana tipo TFT	NO	NO	NO	NO
2.E.3.	Células fotovoltaicas	NO	NO	NO	NO
2.E.4.	Fluidos de transferencia térmica	NO	NO	NO	NO
2.E.5.	Otros (especificar)	NO	NO	NO	NO
2.F.	Uso de productos sustitutos de las SAO	713.6	NO	NO	NO
2.F.1.	Refrigeración y aire acondicionado	713.6	NO	NO	NO
2.F.2.	Agentes espumantes	IE	NO	NO	NO
2.F.3.	Protección contra incendios	IE	NO	NO	NO
2.F.4.	Aerosoles	IE	NO	NO	NO
2.F.5.	Solventes	IE	NO	NO	NO
2.F.6.	Otras aplicaciones	IE	NO	NO	NO
2.G.	Manufactura y utilización de otros productos	NO	NO	NE, NO	NO
2.G.1.	Equipos eléctricos	NO	NO	NE	NO
2.G.2.	SF ₆ y PFC de otros usos de productos		NO	NE	
2.G.3.	N ₂ O de usos de productos				
2.G.4.	Otros	NO	NO	NO	NO
2.H.	Otros (bebidas y alimentos)	NO	NO	NO	NO

Nota 1: T1 = Nivel 1; T2 = Nivel 2; IE = Incluida en otro lugar; NA = No aplica; NE = No estimada; NO = No ocurre

Nota 2: Las emisiones reportadas como 0.0 corresponden a valores menores a 0.1 kt CO₂ eq

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

El sector IPPU representó un 3.2 % del balance nacional en 2018 o el 6.4 % de las emisiones totales (excluyendo UTCUTS). En ese mismo año, sus emisiones alcanzaron 1,992.8 kt CO₂ eq, incrementándose en un importante 248.8 % desde 1990 y en un 100.8 % desde 2005 (Tabla 4.3 y Figura 4.1). La tendencia observada indica un aumento sostenido debido al aumento de la actividad de la *industria de los minerales* y a la introducción y aumento significativo del consumo de HFC, a partir de 2005, especialmente para uso en refrigeración y aire acondicionado.

Con respecto a la participación de cada categoría que forma parte del sector, un 61.4 % corresponde a *industria de los minerales*, un 35.8 % a *uso de productos sustitutos de las SAO*, un 1.6 % a *productos no energéticos de combustibles y uso de solventes* y, finalmente, un 1.2 % corresponde a *industria de los metales*. Esto demuestra la importancia que tiene la industria de los minerales, en particular la *producción de cemento*, en las emisiones total del sector.

Tabla 4.3.

Sector IPPU: total de GEI por categoría (kt CO₂ eq)

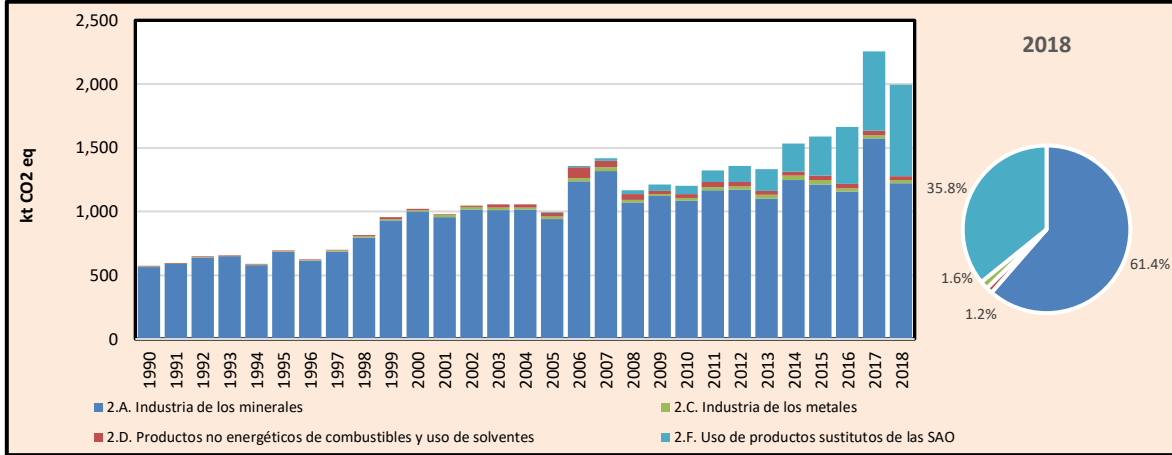
Categoría	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
2.A. Industria de los minerales	565.8	687.1	1,000.3	942.0	1,084.1	1,212.2	1,158.2	1,575.7	1,223.3
2.C. Industria de los metales	1.8	4.8	13.3	16.6	21.9	32.5	25.3	23.8	24.3
2.D. Productos no energéticos de...	3.7	4.8	6.0	31.0	28.7	36.4	34.2	33.1	31.5
2.F. Uso de productos sustitutos de las SAO	NO	NO	NO	2.8	69.4	307.2	447.5	624.6	713.6
Total	571.3	696.7	1,019.7	992.4	1,204.2	1,588.3	1,665.3	2,257.1	1,992.8

IE = Incluida en otro lugar; NA = No aplica; NE = No estimada; NO = No ocurre

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

Figura 4.1.

Sector IPPU: total de GEI por categoría (kt CO₂ eq), 1990-2018



Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

Respecto a las emisiones por tipo de GEI, estas estuvieron representadas por un 64.2 % de CO₂ y un 35.8 % de HFC (Tabla 4.4 y Figura 4.2).

Tabla 4.4.

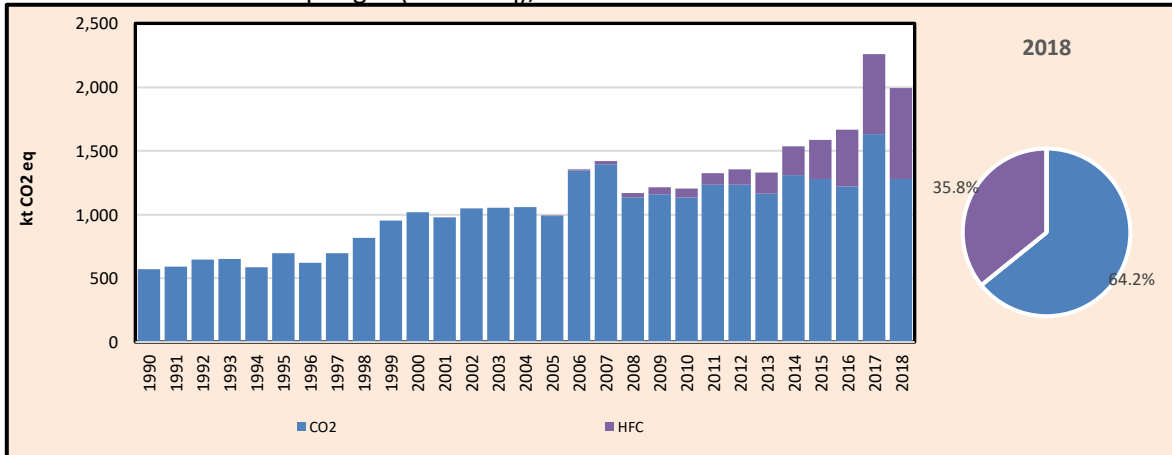
Sector IPPU: total de GEI por gas (kt CO₂ eq)

Categoría	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
CO ₂	571.3	696.7	1,019.7	989.6	1,134.8	1,281.1	1,217.8	1,632.6	1,279.1
CH ₄	NA, NO	NA, NO	NA, NO	NA, NO	NA, NO	NA, NO	NA, NO	NA, NO	NA, NO
N ₂ O	NA, NE, NO	NA, NE, NO	NA, NE, NO	NA, NE, NO	NA, NE, NO	NA, NE, NO	NA, NE, NO	NA, NE, NO	NA, NE, NO
HFC	NO	NO	NO	2.8	69.4	307.2	447.5	624.6	713.6
PFC	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
SF ₆	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO	NE, NO
NF ₃	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Total	571.3	696.7	1,019.7	992.4	1,204.2	1,588.3	1,665.3	2,257.1	1,992.8

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

Figura 4.2.

Sector IPPU: total de GEI por gas (kt CO₂ eq), 1990-2018



Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

4.1.3. Aspectos metodológicos del sector

Para la estimación de las emisiones de GEI del sector IPPU se aplicaron los métodos de Nivel 1 y Nivel 2 del Volumen 3 de las *Directrices del IPCC de 2006*⁶. El método Nivel 2 se aplicó para las emisiones de CO₂ de la categoría *producción de cemento*. Las restantes categorías y subcategorías fueron estimadas con método de Nivel 1, incluyendo factores de emisión por defecto. Esto se debe principalmente a que no se cuenta con información directa de los procesos, por lo que estos han sido estimados a partir de fuentes secundarias.

Los datos de actividad utilizados en estas categorías se estimaron a partir de estadísticas tributarias y estadísticas de comercio exterior generadas por la Superintendencia de Administración Tributaria, estadísticas de comercio exterior del Banco de Guatemala, anuarios estadísticos mineros y reportes de consumo de hidrocarburos del MEM, compilaciones de dependencias del MARN, y estadísticas nacionales reportadas por el Instituto Nacional de Estadística (INE). Asimismo, ante la ausencia de datos locales sobre producción de hierro y acero, o estadísticas que permitieran su estimación, se obtuvieron estadísticas de bases de datos globales para la industria de los metales. En algunos casos se utilizaron estadísticas reportadas en informes de los inventarios de GEI presentados en el marco de la 1CN y 2CN.

En gran parte de las categorías y subcategorías, para la estimación de los datos de actividad se utilizó la fórmula de consumo aparente, ya sea para estimar la producción o consumo de algún producto, según el valor requerido para la estimación de emisiones. Dicha fórmula plantea que el consumo equivale a la suma de la producción y las importaciones menos las exportaciones, y en algunos casos se incorpora un ajuste para la variación de inventarios (U.S. Energy Information Administration, 2006). En los casos en que se requiere de valores de producción y se cuenta con valores de consumo, se asumió que el producto o insumo consumido fue producido en el mismo año en que se consumió. Asimismo, cuando se requiere valores de consumo y se cuenta con datos de importación, se asumió que el producto fue consumido en el mismo año en que fue importado.

Todos los cálculos del sector se realizaron a través de hojas de trabajo propias del país elaboradas con base en las *Directrices del IPCC de 2006*.

4.2. Industria de los minerales (FCR 2.A)

4.2.1. Descripción y tendencia de los GEI de la categoría

En la industria de los minerales se reportan las emisiones de CO₂ provenientes de la transformación química o física de rocas carbonatadas. Cuando se calinan los minerales se libera CO₂ obteniéndose óxidos metálicos, según la materia prima utilizada en los procesos. En el caso de una transformación química se puede considerar la liberación CO₂ inducida por un ácido, obteniendo también una sal y agua (IPCC, 2006). Esta categoría, se subdivide en: *producción de cemento, producción de cal, producción de vidrio, otros usos de los carbonatos en los procesos y otros* (IPCC, 2006).

En Guatemala se identificaron las siguientes actividades: *producción de cemento, producción de cal, producción de vidrio; otros usos de carbonatos en los procesos*.

⁶ Disponible en <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/vol3.html>

En 2018 se generaron 1,223.3 kt CO₂ eq en la *industria de los minerales*, representando 61.4 % de las emisiones del sector IPPU. Desde 1990, las emisiones de esta categoría han mostrado una tendencia creciente, la cual se observa en todas sus subcategorías incrementándose 116.2 % desde 1990 y 29.9 % desde 2005. Sin embargo, en 2018 se presentó una reducción de emisiones que se debe a la reducción de emisiones en la *producción de cemento* y fundamentalmente a la disminución del nivel de actividad en la *producción de cal* (Tabla 4.5 y Figura 4.3).

En cuanto la participación de las subcategorías, la *producción de cemento* representó el 80.9 % de la categoría, la *producción de cal* representó un 15.1 %, los *otros usos de los carbonatos en los procesos* representaron el 2.9 %, mientras que el 1.1 % fue aportado por la *producción de vidrio*.

Tabla 4.5.

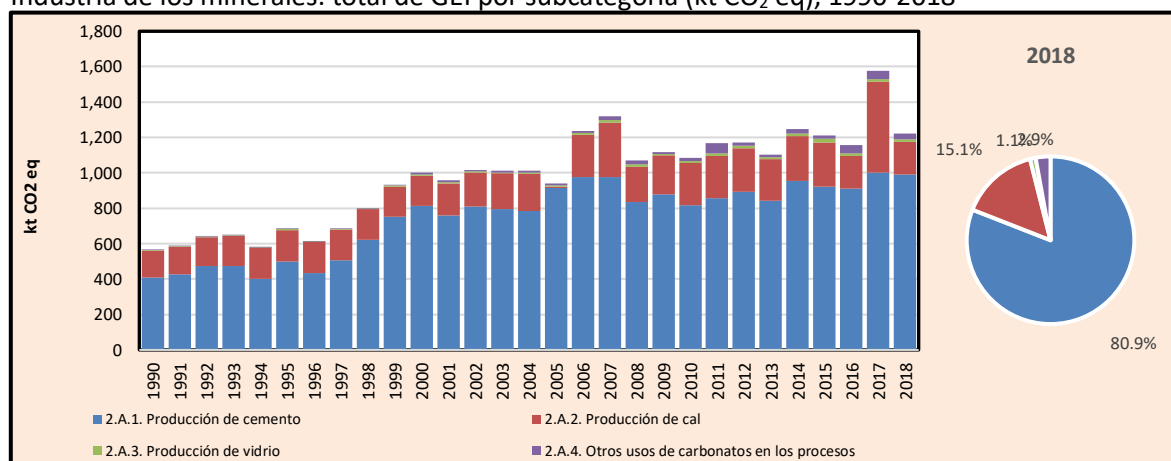
Industria de los minerales: total de GEI por subcategoría (kt CO₂ eq)

Subcategoría	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
2.A.1. Producción de cemento	410.5	500.5	812.3	914.3	818.3	923.6	910.6	1,002.0	990.2
2.A.2. Producción de cal	149.3	175.3	172.5	7.4	238.1	248.6	183.3	511.7	185.0
2.A.3. Producción de vidrio	3.5	6.5	5.6	6.2	11.8	19.4	17.0	16.3	13.2
2.A.4. Otros usos de carbonatos en...	2.5	4.7	9.9	14.1	16.0	20.7	47.2	45.7	35.0
Total	565.8	687.1	1,000.3	942.0	1,084.1	1,212.2	1,158.2	1,575.7	1,223.3

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

Figura 4.3.

Industria de los minerales: total de GEI por subcategoría (kt CO₂ eq), 1990-2018



Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

4.2.2. Aspectos metodológicos de la categoría

Para la estimación de las emisiones de GEI de la categoría se aplicó el método Nivel 1 y Nivel 2 de acuerdo con el Capítulo 2, Volumen 3 de las *Directrices del IPCC de 2006*. El método de Nivel 2 se aplicó para estimar las emisiones de CO₂ de la *producción de cemento* a partir de datos actividad a nivel nacional de clínker y utilizando factores de emisión por defecto de *Directrices del IPCC de 2006*. Las restantes subcategorías fueron estimadas con método de Nivel 1.

4.2.3. Producción de cemento (FCR 2.A.1)

4.2.3.1. Descripción y tendencia de los GEI de la subcategoría

Las emisiones en la *producción de cemento* se generan en la producción de clínker. En este proceso se calcina la piedra caliza, compuesta principalmente por carbonato de calcio (CaCO_3), obteniéndose cal (CaO) y liberándose el CO_2 . La cal reacciona con óxidos de silicio, hierro y aluminio para formar los minerales del clínker. El cemento puede fabricarse a partir de clínker importado, en este caso la planta se considera libre de emisiones en el proceso industrial (IPCC, 2006).

En Guatemala se produce cemento a partir de clínker producido en el país y de clínker importado.

En 2018 se generaron 990.2 kt CO_2 eq como resultado de la *producción de cemento*, las cuales representan el 80.9 % de las emisiones de la *industria de los minerales*. Desde 1990, las emisiones en esta subcategoría han mostrado una tendencia global creciente, vinculada a la producción de clínker la cual es propiciada también por la demanda de cemento en el país. Las emisiones aumentaron en un 116.2 % desde 1990 y en un 29.9 % desde 2005 (Tabla 4.5 y Figura 4.3).

4.2.3.2. Aspectos metodológicos de la subcategoría

Para la estimación de emisiones de la subcategoría se aplicó el método de Nivel 2 de las *Directrices del IPCC de 2006* (Ecuación 2.2, Cap. 2, Vol. 3), basado en los datos de actividad de la producción nacional de clínker.

4.2.3.2.1. Datos de actividad de la subcategoría

Para el período 1990-2007 se utilizaron los datos de actividad de clínker compilados en el marco de la formulación de los inventarios de GEI de 1994 y 2005 (2CN). Para el resto de la serie 2008-2018 se obtuvieron los datos de producción nacional de clínker de las empresas productoras nacionales (Tabla 4.6).

Tabla 4.6.

Producción de cemento: producción nacional de clínker (t), 1990-2018

Año	Toneladas	Año	Toneladas	Año	Toneladas
1990	789,123.0	2000	1,561,597.2	2010	1,573,000.0
1991	818,918.0	2001	1,461,257.1	2011	1,644,488.5
1992	912,812.0	2002	1,560,114.3	2012	1,715,977.0
1993	912,805.0	2003	1,531,930.1	2013	1,619,926.0
1994	774,420.8	2004	1,510,124.0	2014	1,835,375.0
1995	962,043.3	2005	1,757,542.0	2015	1,775,406.0
1996	837,115.7	2006	1,873,569.0	2016	1,750,563.0
1997	972,671.0	2007	1,873,494.0	2017	1,926,095.4
1998	1,194,986.0	2008	1,603,494.0	2018	1,903,413.0
1999	1,443,010.0	2009	1,689,534.0		

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica, DCC-MARN, con base en empresas del sector cementero.

4.2.3.2.2. Factores de emisión de la subcategoría

Ante la falta de información nacional, se asume que el clínker contiene un 65 % de CaO , que este proviene en un 100 % del CaCO_3 y que se alcanza un 100 % de calcinación en el horno de acuerdo

con los valores por defecto propuestos en las *Directrices del IPCC de 2006* (Sección 2.2.1.2, Cap. 2; Vol. 3). El factor corrector del CKD (CF_{CKD}) también fue tomado por defecto en base a las *Directrices del IPCC de 2006*, resultando en un factor de emisión de 0.52 t CO₂/t clínker.

4.2.3.3. Incertidumbre y coherencia de la serie temporal de la subcategoría

Con respecto a los datos de actividad, se considera la incertidumbre por la aproximación a los datos de producción nacional de clínker, combinados mediante propagación de error con la incertidumbre de estadísticas de comercio exterior de forma conservadora (dado que los valores de clínker fueron proporcionados de forma agregada y se desconoce cómo fueron compilados y pueden contener deducciones de clínker importado), según las incertidumbres por defecto propuestas en el Cuadro 2.3, Cap. 2, Vol. 3 de las *Directrices del IPCC de 2006*.

Con respecto a los factores de emisión, se combinaron mediante propagación de error las incertidumbres por defecto (Cuadro 2.3, Cap. 2, Vol. 3) de: la suposición de 65 % de contenido de CaO en clínker, la suposición del 100 % de CaO proviene de carbonatos, suposición de calcinación al 100% y la utilización de CKD por defecto.

Los valores de incertidumbre utilizados y la incertidumbre combinada se presentan en la Tabla 4.7. Se puede apreciar que la incertidumbre combinada está asociada al uso de factores de emisión por defecto de CO₂.

Tabla 4.7.

Producción de cemento: valores de incertidumbre utilizados e incertidumbre combinada

Categorías de fuente de GEI	GEI	Incertidumbre de los DA	Incertidumbre del FE	Incertidumbre combinada
Producción de cemento	CO ₂	14.1%	30.1%	33.2%

Nota: con fines conservadores y de reporte, cuando el rango de incertidumbre fue asimétrico, se aplicó el valor más distante de la media. Los valores asimétricos pueden consultarse en el Anexo 2.

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en las *Directrices del IPCC 2006*.

Para mantener la coherencia de la serie 1990-2018, se usaron los mismos factores de emisión y parámetros. Con respecto a los datos de actividad, para la serie 2008-2018 se obtuvieron datos compilados de las empresas productoras y para 1990-2007 se tomaron los valores compilados en inventarios anteriores en el marco de la estimación de emisiones para la 1CN y 2CN. En estos se detalla que los datos fueron proporcionados por los productores de cemento y no se cuenta con más información al respecto.

4.2.3.4. Actividades de GCCV de la subcategoría

Las actividades de GCCV aplicadas a la subcategoría fueron las siguientes:

- Verificación que las unidades de emisiones y parámetros se registraron correctamente y que los factores de conversión se utilizaron de manera apropiada.
- Verificación que el movimiento de datos de inventario entre los pasos de procesamiento fue el correcto.
- Verificación de los cambios metodológicos y de datos que resultan en nuevos cálculos.

- Verificación de la tendencia y coherencia de la serie temporal y análisis de la exhaustividad.

4.2.3.5. Nuevos cálculos de la subcategoría

Se presentan los nuevos cálculos en la Sección 4.2.7 de la categoría *industria de los minerales*, sin distinción por subcategoría, ya que no se dispone de las emisiones desagregadas en la 2CN.

4.2.3.6. Plan de mejora de la subcategoría

Para esta subcategoría se contemplan las siguientes mejoras:

- Establecer acuerdos institucionales con las plantas productoras de cemento, con la finalidad de obtener de forma anual los datos de actividad específicos (producción de cemento, producción de clínker, carbonatos y materias primas que ingresan al proceso de calcinación; contenido de CaO en clínker y CKD).
- Corroborar las fuentes de los datos de actividad de 1990-2007 y realizar los esfuerzos necesarios (en caso de que sea pertinente) para asegurar la coherencia de la serie temporal.
- Obtener datos de producción de cemento para toda la serie temporal, de modo de poder realizar la comparación entre estimación de emisiones con Nivel 1 y Nivel 2.

Estas mejoras planificadas dependerán en gran medida de las prioridades y el apoyo nacional e internacional que reciba el país.

4.2.4. Producción de cal (FCR 2.A.2)

4.2.4.1. Descripción y tendencia de los GEI 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 al calentar la piedra caliza para descomponer los carbonatos. Se realiza generalmente en hornos de caña u hornos rotatorios a altas temperaturas y en el proceso se libera CO₂ (IPCC,2006).

En Guatemala se produce cal a partir de piedra caliza y dolomita.

En 2018 se generaron 185.0 kt CO₂ eq a partir de la producción de cal, representando 15.1 % de las emisiones de la *industria de los minerales*. Desde 1990, esta subcategoría se ha incrementado en 23.9 %. Las emisiones en esta subcategoría se redujeron de 511.5 kt CO₂ eq en 2017 a 185.0 kt CO₂ eq en 2018 debido, principalmente, a la reducción de aprovechamientos de caliza y dolomita para la producción de cal (Tabla 4.5 y Figura 4.3).

4.2.4.2. Aspectos metodológicos de la subcategoría

Para la estimación de GEI, se utilizó el método de Nivel 1 de las *Directrices del IPCC de 2006* (Sección 2.3, Cap. 2, Vol. 3), el cual se basa en la aplicación de un factor de emisión por defecto a los datos nacionales de producción de cal. En el caso de Guatemala, al contar con información nacional por

tipo de cal calcítica y dolomítica se estiman las emisiones considerando cada fracción con su factor de emisión correspondiente. No se conoce la fracción de cal hidratada, ni el polvo de horno de cal (LKD, por sus siglas en inglés).

4.2.4.2.1. Datos de actividad de la subcategoría

Para el período 2004-2018 se obtuvieron estadísticas de extracción minera de caliza y dolomita de los anuarios estadísticos mineros, publicados por la Dirección General de Minería (DGM) del Ministerio de Energía y Minas (MEM).

Para determinar la cal calcítica producida, se estimó (con base en fuentes nacionales) que un 10 % de la caliza extraída es utilizada para producción de cal. A la cantidad de caliza utilizada para producción de cal, se le divide entre el factor estequiométrico de 1.785 para calcular la cal calcítica producida. Finalmente, a la producción estimada se aplica un factor adicional de 15 % que considera la producción de cal calcítica no regulada en el país.

De la misma forma, para estimar la cal dolomítica producida, se estimó (con base en fuentes nacionales) que un 20 % de la dolomita extraída es utilizada para producción de cal. A la cantidad de dolomita utilizada para producción de cal, se le divide entre el factor estequiométrico de 1.913 para calcular la cal dolomítica producida. Para el caso de cal dolomítica no se aplica otra corrección.

Para el período 1990-2003 se utilizaron las estadísticas de producción de cal publicadas en los inventarios de GEI de 1990, 1994 y 2000 (1CN y 2CN) y se realizaron interpolaciones para completar los datos de años faltantes. En la Tabla 4.8 se presenta el total de la producción nacional para toda la serie.

Tabla 4.8.

Producción de cal: producción nacional de cal por tipo (t), 1990-2018

Año	Cal calcítica	Cal dolomítica
1990	181,125.0	17,500.0
1991	193,631.3	13,953.5
1992	206,137.5	10,406.9
1993	218,643.8	6,860.4
1994	231,150.0	3,313.8
1995	227,504.5	6,131.5
1996	223,859.0	8,949.2
1997	220,213.5	11,766.9
1998	216,568.0	14,584.6
1999	212,922.5	17,402.3
2000	209,277.0	20,220.0
2001	224,947.0	16,813.8
2002	240,617.1	13,407.5
2003	256,287.1	10,001.3
2004	271,957.2	6,595.1
2005	8,989.8	897.5
2006	318,120.9	243.9
2007	408,459.4	5,746.5
2008	263,673.4	2,182.6
2009	293,939.6	692.5
2010	316,349.2	1,024.3
2011	320,624.3	1,457.4
2012	328,461.9	578.4
2013	307,601.5	3,739.1
2014	331,823.4	6,460.0

Año	Cal calcítica	Cal dolomítica
2015	324,483.7	6,788.4
2016	241,024.9	3,338.7
2017	656,209.8	25,403.2
2018	243,566.2	3,008.0

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica, DCC-MARN, con base en el MEM.

4.2.4.2.2. Factores de emisión de la subcategoría

Para el método de Nivel 1 se aplicaron factores de emisión a las cantidades totales de cal producida por tipo (Tabla 4.9). El factor de emisión se basa en los cocientes estequiométricos incluidos en el Cuadro 2.4, Cap. 2, Vol. 3 de las *Directrices del IPCC de 2006*, que varían según el tipo de cal producida. El cociente estequiométrico representa la cantidad de CO₂ liberada por el carbonato precursor de la cal, se supone que el grado de calcinación alcanzado es del 100 % y que no hay LKD.

Tabla 4.9.

Producción de cal: factores de emisión utilizado (t CO₂/t cal)

Tipo de cal	Valor para CO ₂
Cal con fuerte proporción de calcio	0.75
Cal de dolomita	0.77

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en las *Directrices del IPCC de 2006*.

4.2.4.3. Incertidumbre y coherencia de la serie temporal de la subcategoría

Con respecto a los datos de actividad, se considera la incertidumbre por la aproximación a los datos de producción nacional de cal, según las incertidumbres por defecto propuestas en el Cuadro 2.5, Cap. 2, Vol. 3 de las *Directrices del IPCC de 2006*. Dado que se realizan diferentes supuestos para la estimación de la producción de cal, se considera que la incertidumbre de los datos de actividad puede ser mayor.

Con respecto al factor de emisión, se toma la incertidumbre por defecto del Cuadro 2.5, Cap. 2, Vol. 3 de las *Directrices del IPCC de 2006*.

Los valores de incertidumbre utilizados y la incertidumbre combinada se presentan en la Tabla 4.10. Se puede apreciar que la incertidumbre combinada está asociada mayormente con los datos de actividad.

Tabla 4.10.

Producción de cal: valores de incertidumbre utilizados e incertidumbre combinada

Categorías de fuente de GEI	GEI	Incertidumbre de los DA	Incertidumbre del FE	Incertidumbre combinada
Producción de cal	CO ₂	6.0%	2.0%	6.3%

Nota: con fines conservadores y de reporte, cuando el rango de incertidumbre fue asimétrico, se aplicó el valor más distante de la media. Los valores asimétricos pueden consultarse en el Anexo 2.

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en las *Directrices del IPCC 2006*.

Para mantener la coherencia de la serie 1990-2018, se usaron los mismos factores de emisión y parámetros. Con respecto a los datos de actividad, para la serie 2004-2018 se obtuvieron datos de la DGM del MEM y para 1990-2003 se tomaron los valores compilados en inventarios anteriores en el marco de la estimación de emisiones para la 1CN y 2CN. No se cuenta con información al respecto de la fuente de los datos provenientes de inventarios previos.

4.2.4.4. Actividades de GCCV de la subcategoría

Las actividades de GCCV aplicadas a la subcategoría fueron las siguientes:

- Verificación que las unidades de emisiones y parámetros se registraron correctamente y que los factores de conversión se utilizaron de manera apropiada.
- Verificación que el movimiento de datos de inventario entre los pasos de procesamiento fue el correcto.
- Verificación de los cambios metodológicos y de datos que resultan en nuevos cálculos.
- Verificación de la tendencia y coherencia de la serie temporal y análisis de la exhaustividad.

4.2.4.5. Nuevos cálculos de la subcategoría

Se presentan los nuevos cálculos en la Sección 4.2.7 de la categoría *industria de los minerales*, sin distinción por subcategoría, ya que no se dispone de las emisiones desagregadas en la 2CN.

4.2.4.6. Plan de mejora de la subcategoría

Para esta subcategoría se contemplan las siguientes mejoras:

- Establecer acuerdos institucionales con las plantas productoras de cal, con la finalidad de obtener de forma anual los datos de actividad específicos como la producción de cal, carbonatos y materias primas que ingresan al proceso de calcinación, LKD, etc.
- Identificar las fuentes de los datos de actividad de 1990-2003 y realizar los esfuerzos necesarios (en caso de que sea pertinente) para asegurar la coherencia de la serie temporal.

Estas mejoras planificadas dependerán en gran medida de las prioridades y el apoyo nacional e internacional que reciba el país.

4.2.5. Producción de vidrio (FCR 2.A.3)

4.2.5.1. Descripción y tendencia de los GEI de la subcategoría

Esta categoría aborda las emisiones asociadas a la producción de distintos tipos de vidrio. Las principales materias primas del vidrio que emiten CO₂ durante el proceso de fundición son: la piedra caliza, la dolomita y la ceniza de sosa (IPCC, 2006).

En Guatemala se produce vidrio de tipo de recipientes, en el que se utiliza una considerable cantidad de vidrio reciclado o *cullet*.

En 2018 se generaron 13.2 kt CO₂ eq a partir de la *producción de vidrio*, representando 1.1 % de las emisiones de la *industria de los minerales*. Desde 1990, esta subcategoría ha incrementado su participación en un 114,0 % desde 2005 y un 275.2 % desde 1990 (Tabla 4.5 y Figura 4.3).

4.2.5.2. Aspectos metodológicos de la subcategoría

Se utilizaron los lineamientos propuestos en las *Directrices del IPCC de 2006* (Ecuación 2.11, Cap. 2, Vol. 3), evaluando el único tipo de vidrio que se produce en el país, del tipo recipientes. Las estadísticas de producción de vidrio son estimadas a partir de métodos indirectos (materias primas), dado que no se cuenta con los datos primarios que son de carácter privado. Debido a lo anterior y a pesar de utilizar factores de emisión y *cullet* para el tipo de proceso (Nivel 2), se considera que se mantiene un Nivel 1 por las limitaciones en la estimación de los datos de actividad.

4.2.5.2.1. Datos de actividad de la subcategoría

Para el período 2013-2018 se obtuvieron estadísticas sobre la cantidad de ceniza de sosa que se importa exclusivamente para la producción de vidrio, estas fueron obtenidas de los reportes de la SAT sobre Comercio Exterior. A partir de este dato se estima la cantidad de insumos totales utilizados, considerando que la ceniza de sosa representa el 20 % del total de insumos utilizados. Luego con el rendimiento general de insumos a vidrio (84 %) planteado en las *Directrices del IPCC de 2006* se estima la producción de vidrio nacional.

Del 2004-2018 se cuenta con estadísticas de importación de ceniza de sosa de BANGUAT. Dado que estos datos son importaciones totales (no se distingue el uso), se considera que el 40 % de la ceniza de sosa importada se utiliza para producción de vidrio; este factor se obtiene a partir de las estadísticas detalladas del período 2013-2018. Esta serie de datos se empalma con las estadísticas de SAT mediante el método de la superposición parcial (Sección 5.3, Cap. 5, Vol. 1, *Directrices del IPCC de 2006*), con los años en cuales se cuenta con información de las dos fuentes.

Para el período 1990-2003 se utilizaron los datos actividad de ceniza de sosa importada para producción de vidrio recopilados en los inventarios anteriores (1CN y 2CN). Se realiza el mismo tratamiento de datos antes descrito para 2013-2018, considerando que la ceniza de sosa representa el 20 % del total de insumos utilizados y luego un rendimiento general de insumos a vidrio del 84 %.

Se considera un factor de *cullet* medio de las *Directrices del IPCC de 2006* (Cuadro 2.6, Cap. 2, Vol. 3) para el vidrio recipiente, el cual corresponde a 45 %. En la Tabla 4.11 se presenta el total de la producción nacional para toda la serie.

Tabla 4.11.

Producción de vidrio: producción nacional de vidrio (t), 1990-2018

Año	Toneladas	Año	Toneladas	Año	Toneladas
1990	30,545.5	2000	48,377.8	2010	102,567.2
1991	25,991.1	2001	49,813.8	2011	107,463.8
1992	21,436.7	2002	46,654.6	2012	117,376.9
1993	16,882.3	2003	50,361.9	2013	99,125.7
1994	10,900.4	2004	66,691.5	2014	122,105.8
1995	56,642.6	2005	53,563.0	2015	168,000.0
1996	9,386.7	2006	111,540.8	2016	147,325.2
1997	27,572.3	2007	114,638.7	2017	141,343.6
1998	7,440.7	2008	139,809.7	2018	114,606.5
1999	35,137.5	2009	60,538.9		

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica, DCC-MARN, con base en información de SAT y BANGUAT.

4.2.5.2.2. Factores de emisión de la subcategoría

Para la subcategoría se utilizó el factor de emisión por defecto de CO₂ para la producción de vidrio de tipo recipiente correspondiente a 0.21 kg de CO₂/kg de vidrio (Cuadro 2.6, Cap. 2, Vol. 3, *Directrices del IPCC de 2006*).

4.2.5.3. Incertidumbre y coherencia de la serie temporal de la subcategoría

Para los datos de actividad se considera la incertidumbre por la aproximación a los datos de producción nacional de vidrio, según las incertidumbres por defecto propuestas en Sección 2.4.2, Cap. 2, Vol. 3 de las *Directrices del IPCC de 2006*. Dado que se realizan diferentes supuestos para la estimación de la producción de vidrio, se considera que la incertidumbre de los datos de actividad puede ser mayor.

En el caso de la incertidumbre del factor de emisión, se toma la incertidumbre por defecto de la Sección 2.4.2, Cap. 2, Vol. 3 de las *Directrices del IPCC de 2006*.

Los valores de incertidumbre utilizados y la incertidumbre combinada se presentan en la Tabla 4.12. Se puede apreciar que la incertidumbre combinada está mayormente asociada al uso de factores de emisión por defecto para CO₂.

Tabla 4.12.

Producción de vidrio: valores de incertidumbre utilizados e incertidumbre combinada

<i>Categorías de fuente de GEI</i>	<i>GEI</i>	<i>Incertidumbre de los DA</i>	<i>Incertidumbre del FE</i>	<i>Incertidumbre combinada</i>
Producción de vidrio	CO ₂	5.0 %	60.0 %	60.2 %

Nota: con fines conservadores y de reporte, cuando el rango de incertidumbre fue asimétrico, se aplicó el valor más distante de la media. Los valores asimétricos pueden consultarse en el Anexo 2.

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en las *Directrices del IPCC 2006*.

Para mantener la coherencia de la serie 1990-2018, se usaron los mismos factores de emisión y parámetros. Con respecto a los datos de actividad, para la serie 2013-2018 se obtuvieron datos de SAT y para 2004-2018 de BANGUAT, las series de datos fueron empalmadas utilizando el método de la superposición parcial. Para 1990-2003 se tomaron los valores compilados en inventarios anteriores en el marco de la estimación de emisiones para la 1CN y 2CN. No se cuenta con información al respecto de la fuente de los datos provenientes de inventarios previos.

4.2.5.4. Actividades de GCCV de la subcategoría

Las actividades de GCCV aplicadas a la subcategoría fueron las siguientes:

- Verificación que las unidades de emisiones y parámetros se registraron correctamente y que los factores de conversión se utilizaron de manera apropiada.
- Verificación que el movimiento de datos de inventario entre los pasos de procesamiento fue el correcto.
- Verificación de los cambios metodológicos y de datos que resultan en nuevos cálculos.
- Verificación de la tendencia y coherencia de la serie temporal y análisis de la exhaustividad.

4.2.5.5. Nuevos cálculos de la subcategoría

Se presentan los nuevos cálculos en la Sección 4.2.7 de la categoría *industria de los minerales*, sin distinción por subcategoría, ya que no se dispone de las emisiones desagregadas en la 2CN.

4.2.5.6. Plan de mejora de la subcategoría

Para esta subcategoría se contemplan las siguientes mejoras:

- Establecer acuerdos institucionales con las plantas productoras de vidrio, con la finalidad de obtener de forma anual los datos de actividad específicos (producción de vidrio y *cullet* utilizado).
- Identificar las fuentes de los datos de actividad de 1990-2003 y realizar los esfuerzos necesarios (en caso de que sea pertinente) para asegurar la coherencia de la serie temporal.

Estas mejoras planificadas dependerán en gran medida de las prioridades y el apoyo nacional e internacional que reciba el país.

4.2.6. Otros usos de los carbonatos en los procesos (FCR 2.A.3)

4.2.6.1. Descripción y tendencia de los GEI de la subcategoría

Esta categoría aborda las emisiones asociadas al uso de caliza, dolomita, magnesita y otros carbonatos en procesos que no son analizados individualmente en las guías metodológicas. Se generan emisiones a partir de la transformación química o física de los carbonatos, ya sea a través de la liberación con ácidos, o bien, por medio de la calcinación. En caso de las cerámicas, las emisiones provienen de la calcinación de los carbonatos contenidos en la arcilla durante el proceso de horneado (IPCC, 2006).

En Guatemala se producen cerámicas a partir de la extracción de arcilla, arcillas férricas y bentonita.

En 2018 se generaron 35.0 kt CO₂ eq a partir de otros *usos de los carbonatos en los procesos*, representando 2.9 % de las emisiones de la *industria de los minerales*. Las emisiones en esta subcategoría han mostrado una tendencia general creciente, vinculada a la cantidad de *otros usos de la ceniza de sosa* y la *producción de cerámicas*. Desde 1990 tuvo un incremento de 1,320.9 %, desde 1990 y 147.3 % desde 2005 (Tabla 4.5 y Figura 4.3).

4.2.6.2. Aspectos metodológicos de la subcategoría

Para la estimación de los GEI se utiliza un método de Nivel 1 considerando que en el país no hay datos disponibles sobre entradas de los carbonatos para los distintos procesos, ni se cuenta con datos sobre el consumo de caliza y dolomita en las distintas categorías de fuente. Para la *producción de cerámicas* se emplea la Ecuación 2.14, Cap. 2, Vol. 3 de las *Directrices del IPCC de 2006*, que considera que el 85% de carbonatos presentes en las arcillas son de caliza, y el 15% restante de dolomita. Para los *otros usos de la ceniza de sosa* se adapta la Ecuación 2.14 para contar únicamente con el factor de emisión de ceniza de sosa.

4.2.6.2.1. Datos de actividad de la subcategoría

Para la *producción de cerámicas* se utilizaron los reportes de arcilla extraída del Anuario Estadístico Minero de la DGM del MEM, así como estadísticas de comercio exterior de arcillas para cuantificar las arcillas importadas y exportadas de forma anual. Con esta información se estima un consumo aparente de arcilla. Se estimó la cantidad de carbonatos utilizados en fabricación de cerámicas asumiendo que el 90 % de las arcillas que se utilizan en el país se destinan para la producción de cerámicas (IPCC, 2006), y las arcillas cuentan con 10 % de carbonatos (IPCC, 2006). Se adiciona un 8 % a la producción estimada para dar cuenta de la producción artesanal no regulada.

Para los *otros usos de la ceniza de sosa* se utilizaron las estadísticas de comercio exterior (importaciones y exportaciones) de la SAT para 2013-2018 y el BANGUAT para el período 1994-2018. Con esa información fue posible estimar un consumo aparente como equivalente de uso, considerando que en el país no se produce ceniza de sosa. Las series de datos se empalman utilizando el método de la superposición parcial (Sección 5.3, Cap. 5, Vol. 1, *Directrices del IPCC de 2006*). A este consumo se le resta la ceniza de sosa que se utiliza en la *producción de vidrio*.

Para el período 1990-1993 se hizo una interpolación a partir de los datos de actividad de consumo aparente recopilados en el marco de la 1CN y descontando el uso de este insumo en la producción de vidrio. En la Tabla 4.13 se presenta el total de la producción nacional utilizado para toda la serie.

Tabla 4.13.

Otros usos de los carbonatos en los procesos: consumo nacional de arcilla y ceniza de sosa (t), 1990-2018

Año	Arcilla para cerámica	Ceniza de sosa
1990	NO	6,000.0
1991	NO	5,105.4
1992	NO	4,210.8
1993	NO	3,316.2
1994	NO	2,224.1
1995	NO	11,557.0
1996	NO	1,915.2
1997	NO	5,625.7
1998	NO	1,518.2
1999	NO	7,169.2
2000	NO	9,870.7
2001	NO	10,163.7
2002	NO	9,519.1
2003	NO	10,275.5
2004	132,173.5	13,607.3
2005	219,368.7	10,928.7
2006	57,175.0	22,758.1
2007	260,734.0	23,390.2
2008	227,160.5	28,525.9
2009	163,558.6	12,352.0
2010	168,033.2	20,927.2
2011	1,141,214.8	21,926.3
2012	196,797.5	23,948.9

Año	Arcilla para cerámica	Ceniza de sosa
2013	99,907.1	22,169.2
2014	421,257.7	17,911.4
2015	230,045.7	25,716.5
2016	751,831.5	34,428.9
2017	666,812.3	39,846.5
2018	592,890.8	21,625.8

Nota: NO = no ocurre.

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica, DCC-MARN, con base en información de SAT y BANGUAT.

4.2.6.2.2. Factores de emisión de la subcategoría

En esta subcategoría se utilizan los factores de emisión por defecto del Cuadro 2.1, Cap. 2, Vol. 3 de las *Directrices del IPCC de 2006* (Tabla 4.14). Para la *producción de cerámicas* se utilizaron los factores de emisión por defecto para caliza y dolomita, mientras que para los *otros usos de la ceniza de sosa* se utiliza el factor por defecto proveniente de la relación estequiométrica entre el CO₂ y el carbonato de sodio (Na₂CO₃).

Tabla 4.14.

Otros usos de los carbonatos en los procesos: factores de emisión utilizados (t CO₂/t de carbonato)

Carbonato	Valor para CO ₂
Producción de cerámica (calcita)	0.43971
Producción de cerámica (dolomita)	0,47732
Otros usos de la ceniza de sosa (carbonato de sodio o ceniza de sosa)	0,41492

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en las *Directrices del IPCC de 2006*.

4.2.6.3. Incertidumbre y coherencia de la serie temporal de la subcategoría

Con respecto a los datos de actividad, se considera la incertidumbre de los datos de actividad por la suposición en la atribución de los usos y el contenido y proporción de los carbonatos, según las incertidumbres por defecto propuestas en la Sección 2.5.2, Cap. 2, Vol. 3 de las *Directrices del IPCC de 2006*. Dado que se realizan diferentes supuestos para la estimación de la producción de cerámica y no se conocen los usos de otros carbonatos, se considera que la incertidumbre de los datos de actividad puede ser mayor.

Para la incertidumbre del factor de emisión, se toma la incertidumbre por defecto de la Sección 2.5.2, Cap. 2, Vol. 3 de las *Directrices del IPCC de 2006*.

Los valores de incertidumbre utilizados y la incertidumbre combinada se presentan en la Tabla 4.15. Se puede apreciar que la incertidumbre combinada está asociada con los datos de actividad.

Tabla 4.15.

Otros usos de los carbonatos en los procesos: valores de incertidumbre utilizados e incertidumbre combinada

Categorías de fuente de GEI	GEI	Incertidumbre de los DA	Incertidumbre del FE	Incertidumbre combinada
Otros usos de carbonatos en los procesos	CO ₂	4.2%	3.0%	5.2%

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en las *Directrices del IPCC de 2006*.

Para mantener la coherencia de la serie 1990-2018, se usaron los mismos factores de emisión y parámetros. Para la *producción de cerámica*, se mantuvieron las fuentes de los datos de actividad a lo largo de toda la serie temporal.

Con respecto a los datos de actividad utilizados en *otros usos de la ceniza de sosa*, para la serie 2013-2018 se obtuvieron datos de SAT y para 1994-2018 de BANGUAT, las series de datos fueron empalmadas utilizando el método de la superposición parcial.

Para 1990-1993 se tomaron los valores compilados en inventarios anteriores en el marco de la estimación de emisiones para la 1CN. No se cuenta con información al respecto de la fuente de los datos provenientes de inventarios previos.

4.2.6.4. Actividades de GCCV de la subcategoría

Las actividades de GCCV aplicadas a la subcategoría fueron las siguientes:

- Verificación sobre el consumo de ceniza de sosa en otras subcategorías (*producción de vidrio*) para descontarlas.
-
- Verificación que las unidades de emisiones y parámetros se registraron correctamente y que los factores de conversión se utilizaron de manera apropiada.
- Verificación que el movimiento de datos de inventario entre los pasos de procesamiento fue el correcto.
- Verificación de los cambios metodológicos y de datos que resultan en nuevos cálculos.
- Verificación de la tendencia y coherencia de la serie temporal y análisis de la exhaustividad.

4.2.6.5. Nuevos cálculos de la subcategoría

Se presentan los nuevos cálculos en la Sección 4.2.7 de la categoría *industria de los minerales*, sin distinción por subcategoría, ya que no se dispone de las emisiones desagregadas en la 2CN.

4.2.6.6. Plan de mejora de la subcategoría

Para esta subcategoría se contemplan las siguientes mejoras:

- Establecer acuerdos institucionales con las entidades estadísticas para poder distinguir el uso de arcilla para cerámica del total reportado.
- Identificar fuentes de información para la recopilación de datos de actividad que permitan estimar las emisiones de la *producción de cerámica* desde 1990.
- Identificar todos los *usos de la ceniza de sosa en el país*, de forma de atribuir las emisiones en el lugar o proceso donde se originen.

- Identificar las fuentes de información de inventarios anteriores y verificar la coherencia de la serie temporal.

Estas mejoras planificadas dependerán en gran medida de las prioridades y el apoyo nacional e internacional que reciba el país.

4.2.7. Nuevos cálculos de la categoría

El principal cambio que justifica la realización de nuevos cálculos fue la implementación de las *Directrices del IPCC de 2006* ya que para la 2CN se utilizaron *las Directrices del IPCC de 1996 revisadas*. Adicionalmente, se estimaron las emisiones de la producción de cemento a partir de la producción de clínker proporcionada por la industria. En la Tabla 4.16 se resumen los resultados obtenidos que tienden a la disminución entre inventarios para todos los años comparados.

Tabla 4.16.

Otros usos de los carbonatos en los procesos: comparación entre los totales anuales de los inventarios (kt CO₂ eq)

INGEI	1994	2000	2005
INGEI - 2CN	777.5	1,235.7	1,541.1
INGEI - 1IBA	580.9	1,000.3	942.0
Diferencia	-196.6	-235.4	-599.1
Diferencia porcentual	-25.3%	-19.1%	-38.9%

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en la 2CN de Guatemala.

4.3. Industria química (FCR 2.B)

Esta categoría no ocurre en el país.

4.4. Industria de los metales (FCR 2.C)

4.4.1. Descripción y tendencia de los GEI de la categoría

En esta categoría se estiman las emisiones de GEI que resultan de la producción de los metales. En estos procesos, se generan emisiones de CO₂, las cuales pueden estar asociadas a los agentes reductores que contienen carbono. Esta categoría se divide en siete subcategorías: *producción de hierro y acero, producción de ferroaleaciones, producción de aluminio, producción de magnesio, producción de plomo, producción de cinc y otros*.

Se identifica que en Guatemala solamente ocurren las subcategorías *producción de hierro y acero, producción de ferroaleaciones (FeNi)* y *producción de plomo*. Esta última subcategoría, no fue estimada por falta de datos de actividad.

En *la industria de los metales* se generaron 24.3 kt CO₂ eq en 2018, representando 1.2 % del total de emisiones de GEI en el sector IPPU. La *producción de hierro y acero* emitió el 98.6 % del total de la categoría. Por otro lado, la *producción de ferroaleaciones* generó el 1.4 % restante. Las emisiones han mostrado una tendencia creciente, incrementándose en un 1,266.7 % desde 1990 y en un 46.6 % desde 2005 (Tabla 4.17 y Figura 4.4).

Tabla 4.17.

Industria de los metales: total de GEI por subcategoría (kt CO₂ eq)

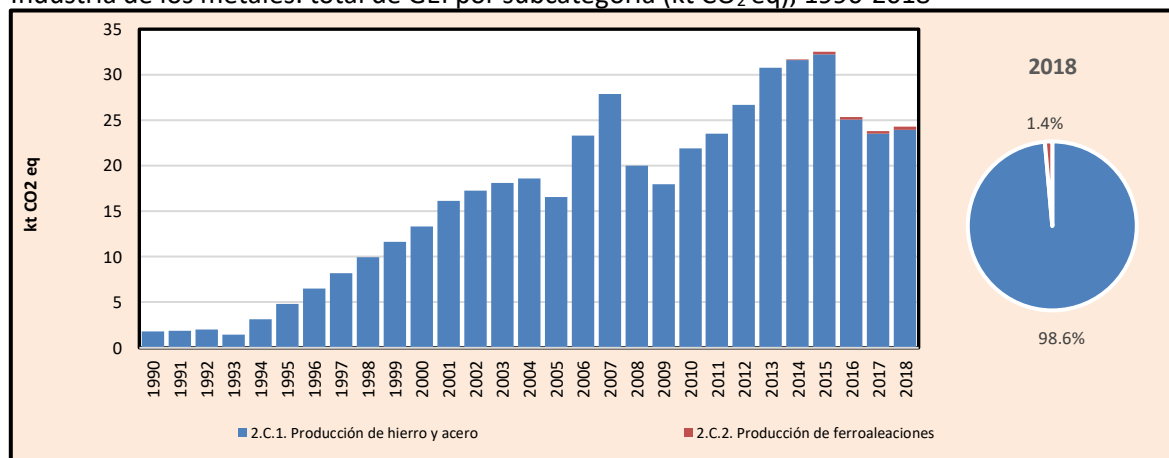
Subcategoría	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
2.C.1. Producción de hierro y acero	1.8	4.8	13.3	16.6	21.9	32.2	25.1	23.5	24.0
2.C.2. Producción de ferroaleaciones	NO	NO	NO	NO	NO	0.3	0.2	0.3	0.3
Total	1.8	4.8	13.3	16.6	21.9	32.5	25.3	23.8	24.3

Nota: NO = no ocurre.

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

Figura 4.4.

Industria de los metales: total de GEI por subcategoría (kt CO₂ eq), 1990-2018



Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

4.4.2. Aspectos metodológicos de la categoría

Se ha empleado el método de Nivel 1 del Capítulo 4, Volumen 5 de las *Directrices del IPCC de 2006* en las dos subcategorías en las que se cuenta con datos de actividad (*producción de hierro y acero* y *producción de ferroaleaciones*). Esto se debe a que en Guatemala no se generan estadísticas sobre la producción en industrias de los metales ni se cuenta con datos de actividad provenientes de las empresas productoras, por lo tanto, los datos de actividad han sido estimados por métodos indirectos, mientras que se utiliza factores de emisión por defecto.

4.4.3. Producción de hierro y acero (FCR 2.C.1)

4.4.3.1. Descripción y tendencia de los GEI de la subcategoría

El hierro y acero pueden producirse de forma primaria a partir de la separación del oxígeno de los minerales ferrosos, y secundaria a partir de la fundición de chatarra (IPCC, 2006).

En Guatemala solamente se identifica la producción de acero en hornos de arco eléctrico. En este proceso se funde la chatarra de acero reciclado utilizando energía eléctrica cargada en electrodos de carbono; las emisiones de CO₂ están asociadas al consumo de los electrodos (IPCC, 2006).

Para 2018, la *producción de hierro y acero* generó 24.0 kt CO₂ eq, representando 98.6 % de las emisiones de la categoría. Las emisiones en esta subcategoría se han incrementado en un 1,247.5 % desde 1990 y en un 44.5 % desde 2005, esto está vinculado principalmente al crecimiento en la transformación secundaria del acero (Tabla 4.17 y Figura 4.4).

4.4.3.2. Aspectos metodológicos de la subcategoría

Para esta subcategoría se emplea un método de Nivel 1 de las *Directrices del IPCC de 2006* (Ecuación 4.4, Cap. 4, Vol. 3), no se dispone de datos sobre materiales de proceso ni se dispone de datos específicos de la planta y no es una categoría principal. La ecuación plantea la estimación de emisiones de CO₂ provenientes de la producción de hierro y acero, en la que se requiere conocer la cantidad de hierro y acero producido según el tipo de proceso. Dado que en Guatemala solamente se transforma acero en horno de arco eléctrico, solamente se considera el segundo factor de la ecuación considerando la cantidad de hierro y acero producido en dicho proceso (EAF) multiplicado por su factor de emisión respectivo (EF_{EAF}).

4.4.3.2.1. Datos de actividad de la subcategoría

Guatemala no genera estadísticas sobre *producción de hierro y acero*, y no fue posible disponer de la información de plantas productoras. Por lo tanto, se obtuvieron estadísticas de producción de acero en Guatemala publicadas por la Organización Mundial del Acero (International Iron and Steel Institute, 2001; World Steel Association, 2020). En Guatemala solamente opera una empresa productora de acero, cuyo proceso consiste en la fundición de chatarra para producir acero en horno de arco eléctrico, por lo que la totalidad de producción se ha asignado a este dato de actividad. En la Tabla 4.18 se presenta el total de la producción nacional utilizado para la serie.

Tabla 4.18.

Producción de hierro y acero: producción nacional de acero (t), 1990-2018

Año	Toneladas	Año	Toneladas	Año	Toneladas
1990	22,239.5	2000	166,500.0	2010	274,000.0
1991	23,000.0	2001	201,800.0	2011	293,725.0
1992	25,000.0	2002	215,900.0	2012	333,526.0
1993	18,000.0	2003	226,300.0	2013	384,791.0
1994	39,214.3	2004	232,100.0	2014	394,737.0
1995	60,428.6	2005	207,400.0	2015	402,641.0
1996	81,642.9	2006	291,600.0	2016	313,772.0
1997	102,857.1	2007	348,500.0	2017	293,800.0
1998	124,071.4	2008	250,000.0	2018	299,676.0
1999	145,285.7	2009	224,200.0		

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica, DCC-MARN, con base en información de la Organización Mundial del Acero.

4.4.3.2.2. Factores de emisión de la subcategoría

Para esta subcategoría se utilizó el factor de emisión por defecto para el CO₂ de horno de arco eléctrico (EAF) correspondiente a un valor de 0.08 tonelada de CO₂ por tonelada de acero producido (Cuadro 4.1, Cap. 4, Vol. 3, *Directrices del IPCC de 2006*).

4.4.3.3. Incertidumbre y coherencia de la serie temporal de la subcategoría

Para el dato de actividad y el factor de emisión se consideró la incertidumbre por defecto para el método de Nivel 1 propuesta en el Cuadro 4.4, Cap. 4, Vol. 3 de las *Directrices del IPCC de 2006*.

Los valores de incertidumbre utilizados y la incertidumbre combinada se presentan en la Tabla 4.19. Se puede apreciar que la incertidumbre combinada está mayormente asociada al uso de factores de emisión por defecto de CO₂.

Tabla 4.19.

Producción de hierro y acero: valores de incertidumbre utilizados e incertidumbre combinada

Categorías de fuente de GEI	GEI	Incertidumbre de los DA	Incertidumbre del FE	Incertidumbre combinada
Producción de hierro y acero	CO ₂	10.0%	25.0%	26.9%

Nota: con fines conservadores y de reporte, cuando el rango de incertidumbre fue asimétrico, se aplicó el valor más distante de la media. Los valores asimétricos pueden consultarse en el Anexo 2.

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en las *Directrices del IPCC 2006*.

Esta subcategoría es considerada mayormente coherencia ya que se estima utilizando a lo largo de la serie temporal la misma metodología, fuente de información para el dato de actividad, así como el factor de emisión específico para el tipo de proceso que ocurre en el país.

4.4.3.4. Actividades de GCCV de la subcategoría

Las actividades de GCCV aplicadas a la subcategoría fueron las siguientes:

- Verificación que las unidades de emisiones y parámetros se registraron correctamente y que los factores de conversión se utilizaron de manera apropiada.
- Verificación que el movimiento de datos de inventario entre los pasos de procesamiento fue el correcto.
- Verificación de los cambios metodológicos y de datos que resultan en nuevos cálculos.
- Verificación de la tendencia y coherencia de la serie temporal y análisis de la exhaustividad.

4.4.3.5. Nuevos cálculos de la subcategoría

Esta subcategoría no fue estimada en la 2CN, por lo tanto, no es posible comparar resultados.

4.4.3.6. Plan de mejora de la subcategoría

Para esta subcategoría se contempla establecer acuerdos con la empresa productora para disponer de información a nivel nacional. Estas mejoras planificadas dependerán en gran medida de las prioridades y el apoyo nacional e internacional que reciba el país.

4.4.4. Producción de ferroaleaciones (FCR 2.C.2)

4.4.4.1. Descripción y tendencia de los GEI de la subcategoría

Las ferroaleaciones son aleaciones del hierro con uno o más metales, la producción de ferroaleaciones emplea un proceso de reducción de los metales en el que se generan emisiones significativas de CO₂ (IPCC, 2006).

La producción de ferroaleaciones se inició en Guatemala a partir de 2014 con la producción de ferróníquel (FeNi).

En 2014, primer año para el que se cuenta con estadísticas, se generaron emisiones menores 0.1 kt CO₂ eq, mientras que para 2018 se generaron 0.3 kt CO₂ eq, lo que representó un crecimiento de 297.8 %. Este crecimiento se debe principalmente al incremento en la producción de ferróníquel cuyo destino es la exportación. Desde 2014, esta subcategoría ha representado menos del 2 % del total de la *industria de los metales* (Tabla 4.17 y Figura 4.4).

4.4.4.2. Aspectos metodológicos de la subcategoría

Para esta categoría se emplea el método de Nivel 1 de las *Directrices del IPCC de 2006* (Ecuación 4.15, Cap. 4, Vol. 3), pues no se cuenta con datos nacionales por materiales de proceso, ni se dispone de datos relacionados con el agente reductor o con las corrientes de salida. La Ecuación 4.15 plantea la estimación de emisiones de CO₂ a partir de la cantidad de producción de cada tipo de ferroaleación (MP_i) y un factor de emisión (EF_i) para cada proceso. En el caso de Guatemala, la producción de Ferróníquel (FeNi) corresponde al dato de actividad (MP) y se utiliza el factor de emisión para dicha ferroaleación (EF).

4.4.4.2.1. Datos de actividad de la subcategoría

Los datos de actividad se estimaron a partir de las estadísticas de exportaciones de ferróníquel publicadas por la SAT, considerando que esta producción se destina totalmente a la exportación. En la Tabla 4.20 se presenta el total de la producción nacional utilizado para la serie.

Tabla 4.20.

Producción de ferroaleaciones: producción nacional de FeNi (t), 1990-2018

Año	Toneladas	Año	Toneladas	Año	Toneladas
1990	NO	2000	NO	2010	NO
1991	NO	2001	NO	2011	NO
1992	NO	2002	NO	2012	NO
1993	NO	2003	NO	2013	NO
1994	NO	2004	NO	2014	8,608.2
1995	NO	2005	NO	2015	27,922.1
1996	NO	2006	NO	2016	23,264.4
1997	NO	2007	NO	2017	30,756.3
1998	NO	2008	NO	2018	34,242.9
1999	NO	2009	NO		

Nota: NO = no ocurre.

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en información de SAT.

4.4.4.2.2. Factores de emisión de la subcategoría

Para la producción de ferroaleaciones se utiliza el factor de emisión publicado por Sjardin (2003) para la producción de ferróníquel por medio de electrodos de carbono, el cual corresponde a un valor de 0.01 t CO₂/t FeNi.

4.4.4.3. Incertidumbre y coherencia de la serie temporal de la subcategoría

Tanto para el dato de actividad como para el factor de emisión se considera la incertidumbre planteada en el Cuadro 4.9, Cap. 4, Vol. 3 de las *Directrices del IPCC de 2006*.

Los valores de incertidumbre utilizados y la incertidumbre combinada se presentan en la Tabla 4.21. Se puede apreciar que la incertidumbre combinada está mayormente asociada al uso de factores de emisión por defecto de CO₂.

Tabla 4.21.

Producción de ferroaleaciones: valores de incertidumbre utilizados e incertidumbre combinada

Categorías de fuente de GEI	GEI	Incertidumbre de los DA	Incertidumbre del FE	Incertidumbre combinada
Producción de ferroaleaciones	CO ₂	5.0 %	25.0%	25.5 %

Nota: con fines conservadores y de reporte, cuando el rango de incertidumbre fue asimétrico, se aplicó el valor más distante de la media. Los valores asimétricos pueden consultarse en el Anexo 2.

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en las *Directrices del IPCC 2006*.

Esta subcategoría es considerada mayormente coherencia ya que se estima utilizando a lo largo de la serie temporal la misma metodología, fuente de información para el dato de actividad, así como el factor de emisión específico para el tipo de proceso que ocurre en el país.

4.4.4.4. Actividades de GCCV de la subcategoría

Las actividades de GCCV aplicadas a la subcategoría fueron las siguientes:

- Se efectuó un control cruzado entre las estadísticas de importaciones y exportaciones de ferroaleaciones generadas por la SAT y por el BANGUAT, como buena práctica.
- Verificación que las unidades de emisiones y parámetros se registraron correctamente y que los factores de conversión se utilizaron de manera apropiada.
- Verificación que el movimiento de datos de inventario entre los pasos de procesamiento fue el correcto.
- Verificación de los cambios metodológicos y de datos que resultan en nuevos cálculos.
- Verificación de la tendencia y coherencia de la serie temporal y análisis de la exhaustividad.

4.4.4.5. Nuevos cálculos de la subcategoría

Esta subcategoría no fue estimada en la 2CN, por lo tanto, no es posible comparar resultados.

4.4.4.6. Plan de mejora de la subcategoría

Para esta subcategoría se contempla establecer acuerdos con las empresas productoras para disponer de información a nivel nacional. Estas mejoras planificadas dependerán en gran medida de las prioridades y el apoyo nacional e internacional que reciba el país.

4.4.5. Producción de aluminio (FCR 2.C.3)

Esta subcategoría no ocurre en el país.

4.4.6. Producción de magnesio (FCR 2.C.4)

Esta subcategoría no ocurre en el país.

4.4.7. Producción de plomo (FCR 2.C.5)

Las emisiones generadas en la producción de plomo se pueden generar en un proceso primario de sinterización y fundición, o en un proceso secundario para en el que el plomo es fundido y preparado para su reutilización. En Guatemala ocurren actividades de transformación secundaria de plomo, sin embargo, no se compilan estadísticas respecto a este proceso, y las fuentes primarias son de carácter privado, por lo tanto, esta subcategoría no fue estimada.

Para su inclusión se establecerán acuerdos con las empresas procesadoras de plomo que permitan obtener los datos de actividad necesarios para estimar las emisiones, como ser, la cantidad de plomo que es preparado para su reutilización, o bien, los contenidos de carbono utilizados en los procesos de fundición.

4.4.8. Producción de cinc (FCR 2.C.6)

Esta subcategoría no ocurre en el país.

4.4.9. Otros (FCR 2.C.7)

Esta subcategoría no ocurre en el país.

4.5. Productos no energéticos de combustibles y uso de solventes (FCR 2.D)

4.5.1. Descripción y tendencia de los GEI de la categoría

Dentro de esta categoría se reportan las emisiones generadas por los usos de los combustibles fósiles como productos con fines primarios, exceptuando la combustión con fines energéticos y por su uso como sustancia de alimentación a procesos o como agente reductor. Esto incluye productos considerados como lubricantes, las ceras de parafina, el alquitrán, el asfalto y los solventes. Esta categoría se divide en cuatro subcategorías: *uso de lubricantes*, *uso de la cera de la parafina*, *uso de solventes* y *otros*.

En Guatemala se identifican actividades en las cuatro subcategorías, sin embargo, solo uso de *uso de lubricantes* y *uso de la cera de la parafina* emiten GEI directos.

En 2018 se generaron 31.5 kt CO₂ eq, representando el 1.6 % del total de emisiones de GEI en el sector IPPU. El *uso de lubricantes* representó el 82.8 % de las emisiones de la categoría. Por otro lado, el *uso de cera de la parafina* representó el 17.2 %. Las emisiones de GEI esta categoría han mostrado una tendencia creciente, incrementándose en un 755.5 % desde 1990 y en un 1.5 % desde 2005 (Tabla 4.22 y Figura 4.5).

Tabla 4.22.

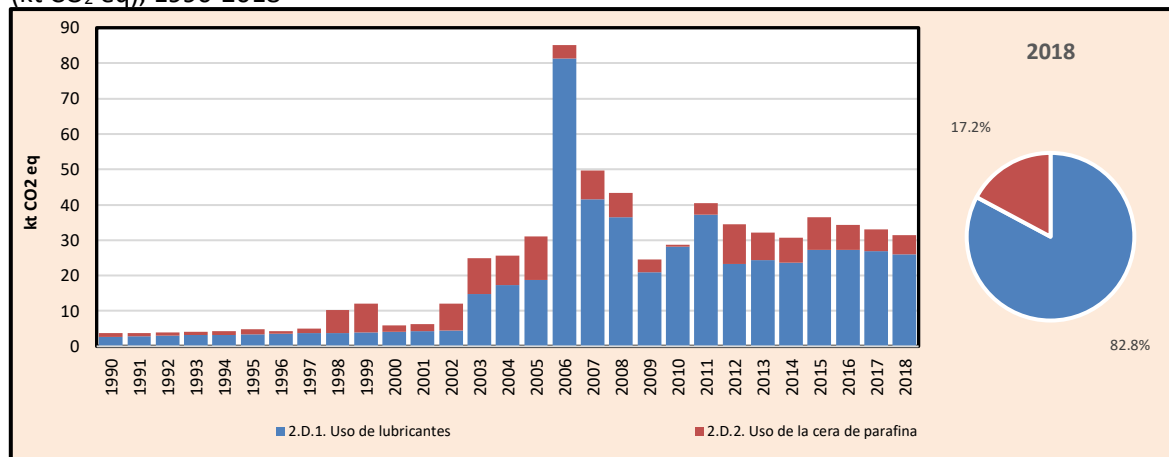
Uso de productos no energéticos de combustibles y de solventes: total de GEI por subcategoría (kt CO₂ eq)

Subcategoría	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
2.D.1. Uso de lubricantes	2.7	3.4	4.1	18.7	28.1	27.3	27.3	27.0	26.1
2.D.2. Uso de la cera de parafina	1.0	1.4	1.9	12.3	0.6	9.1	7.0	6.1	5.4
Total	3.7	4.8	6.0	31.0	28.7	36.4	34.2	33.1	31.5

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

Figura 4.5.

Uso de productos no energéticos de combustibles y de solventes: total de GEI por subcategoría (kt CO₂ eq), 1990-2018



Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

4.5.2. Aspectos metodológicos de la categoría

Para la estimación de las emisiones de GEI de la categoría se aplicó el método de Nivel 1 del Capítulo 5, Volumen 3 de las *Directrices del IPCC de 2006* para todas las subcategorías, usando datos de actividades nacionales y factores de emisión por defecto. El uso de solventes derivados del petróleo y del carbón no constituye una fuente de emisión de GEI, siendo solo las emisiones de CO₂ y de GEI indirecto relevantes para esta subcategoría.

4.5.3. Uso de lubricantes (FCR 2.D.1)

4.5.3.1. Descripción y tendencia de los GEI de la subcategoría

En esta categoría se incluyen las emisiones de CO₂ generadas por el uso de lubricantes y grasas sin fines energéticos, especialmente en la industria y el transporte. Los aceites y lubricantes utilizados tanto en la industria como en el transporte son derivados del petróleo y están compuestos por carbono. Durante su uso, parte del carbono de los lubricantes se oxida, generando emisiones de CO₂ (IPCC, 2006).

En 2018 se generaron 26.1 kt CO₂ eq, las cuales representan el 82.8 % de las emisiones de la categoría. Desde 1990 se observa un aumento en las emisiones del 860.7 %, mientras que desde 2005 se presenta un incremento de 39.4 % (Tabla 4.22 y Figura 4.5).

4.5.3.2. Aspectos metodológicos de la subcategoría

Para la estimación de emisiones de la subcategoría *uso de lubricantes* se utilizó un método de Nivel 1 de las *Directrices del IPCC de 2006* (Ecuación 5.2, Cap. 5, Vol. 3), basado en aplicar un factor de emisión para el CO₂ a los datos de la cantidad de lubricantes que se consumen en el país. La Ecuación 5.2 requiere conocer en unidades energéticas la cantidad de lubricantes que se consumen (LC), y el factor de emisión se compone a partir del contenido medio de carbono en los lubricantes (CC), su factor de oxidación (ODU) y la relación estequiométrica entre el CO₂ y el carbono.

4.5.3.2.1. Datos de actividad de la subcategoría

Para el período 2013-2018 se obtuvieron estadísticas del SAT acerca de los lubricantes importados y exportados para estimar el consumo aparente del período.

Para el 2002-2018 se obtuvieron estadísticas de importación y exportación de lubricantes de BANGUAT que fueron utilizadas para estimar el consumo aparente de lubricantes de dicho periodo. Esta serie de datos se empalma con las estadísticas de SAT mediante el método de la superposición parcial (Sección 5.3, Cap. 5, Vol. 1, *Directrices del IPCC de 2006*), con los años en cuales se cuenta con información de las dos fuentes. Para el período 1990-2001 se realiza una retropolación de la serie de datos antes descrita.

Los datos se obtienen en unidades de peso y transforman a valores energéticos utilizando el valor calórico neto de 40.2 TJ/Gg para lubricantes indicado en el Cuadro 1.2, Cap. 1, Vol. 2. En la Tabla 4.23 se presenta el total de la producción nacional para toda la serie.

Tabla 4.23.

Uso de lubricantes: consumo aparente de lubricantes (t), 1990-2018

Año	Toneladas	Año	Toneladas	Año	Toneladas
1990	4,602.0	2000	6,988.5	2010	47,626.0
1991	4,840.6	2001	7,227.1	2011	63,187.8
1992	5,079.3	2002	7,465.8	2012	39,462.2
1993	5,317.9	2003	25,229.4	2013	41,306.3
1994	5,556.6	2004	29,479.6	2014	39,956.5
1995	5,795.2	2005	31,719.7	2015	46,333.3
1996	6,033.9	2006	137,755.3	2016	46,228.5
1997	6,272.5	2007	70,559.9	2017	45,770.2
1998	6,511.2	2008	61,983.4	2018	44,212.0
1999	6,749.8	2009	35,623.2		

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en información de SAT y BANGUAT.

4.5.3.2.2. Factores de emisión de la subcategoría

El factor de emisión de CO₂ de esta subcategoría se compone de un factor de contenido de carbono específico multiplicado por el factor ODU. Para esta subcategoría se utilizaron los valores por defecto de acuerdo con el Cuadro 1.3, Cap. 1, Vol. 2 para el contenido de carbono y el Cuadro 5.2, Cap. 5, Vol. 3 para el factor ODU, ambos las *Directrices del IPCC de 2006* (Tabla 4.24).

Tabla 4.24.

Uso de lubricantes: parámetros por defecto utilizados

Parámetro	Valor por defecto
Contenido de carbono (t C/TJ)	20.0
Factor ODU (fracción)	0.2

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en las *Directrices del IPCC de 2006*.

4.5.3.3. Incertidumbre y coherencia de la serie temporal de la subcategoría

Para la incertidumbre del dato de actividad se consideró el valor medio de incertidumbre propuesto en las *Directrices del IPCC de 2006* (Sección 5.2.3.2, Cap. 5, Vol. 3).

Para la incertidumbre del factor de emisión se combinaron mediante propagación de error las incertidumbres del contenido de carbono y el factor ODU, propuesto por defecto en las *Directrices del IPCC de 2006* (Sección 5.2.3.1, Cap. 5, Vol. 3).

Los valores de incertidumbre utilizados y la incertidumbre combinada se presentan en la Tabla 4.25. Se puede apreciar que la incertidumbre combinada está mayormente asociada al uso de factores de emisión por defecto de CO₂.

Tabla 4.25.

Uso de lubricantes: valores de incertidumbre utilizados e incertidumbre combinada

Categorías de fuente de GEI	GEI	Incertidumbre de los DA	Incertidumbre del FE	Incertidumbre combinada
Uso de lubricantes	CO ₂	15,0%	50,1%	52,3%

Nota: con fines conservadores y de reporte, cuando el rango de incertidumbre fue asimétrico, se aplicó el valor más distante de la media. Los valores asimétricos pueden consultarse en el Anexo 2.

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en las *Directrices del IPCC 2006*.

Para mantener la coherencia de la serie 1990-2018, se usaron los mismos factores de emisión y parámetros. Con respecto a los datos de actividad para el período 2013-2018 se obtuvieron estadísticas del SAT y para el 2002-2018 se obtuvieron estadísticas de lubricantes de BANGUAT, para asegurar la coherencia, las series de datos fueron empalmados mediante el método de la superposición parcial. Para el período 1990-2001 se realiza una retroplacación de la serie de datos antes descrita.

4.5.3.4. Actividades de GCCV de la subcategoría

Las actividades de GCCV aplicadas a la subcategoría fueron las siguientes:

- Verificación que las unidades de emisiones y parámetros se registraron correctamente y que los factores de conversión se utilizaron de manera apropiada.
- Verificación que el movimiento de datos de inventario entre los pasos de procesamiento fue el correcto.
- Verificación de los cambios metodológicos y de datos que resultan en nuevos cálculos.
- Verificación de la tendencia y coherencia de la serie temporal y análisis de la exhaustividad.

4.5.3.5. Nuevos cálculos de la subcategoría

Esta subcategoría no fue estimada en la 2CN, por lo tanto, no es posible comparar resultados.

4.5.3.6. Plan de mejora de la subcategoría

Para esta subcategoría se contemplan las siguientes mejoras:

- Realizar un estudio específico que permita identificar las proporciones de lubricantes que son utilizadas para fines no energéticos. Esto puede lograrse a partir de colaboraciones con la DGH del MEM que desde 2019 compila estadísticas sobre el consumo de lubricantes.
- Realizar una verificación cruzada con el sector Energía para evitar doble conteos.
- Relevar información acerca del consumo de lubricantes entre 1990-2001.

Estas mejoras planificadas dependerán en gran medida de las prioridades y el apoyo nacional e internacional que reciba el país.

4.5.4. Uso de la cera de parafina (FCR 2.D.2)

4.5.4.1. Descripción y tendencia de los GEI de la subcategoría

En esta categoría se consideran las emisiones de CO₂ del uso de vaselina, ceras de la parafina y otras ceras derivadas del petróleo. Durante su uso, una fracción del carbono contenido en estas ceras se oxida, generándose la emisión de CO₂ (IPCC, 2006).

En 2018 se generaron 5.4 kt CO₂ eq, representando el 17.2 % de las emisiones de la categoría, incrementándose en un 459.4 % desde 1990, pero decreciendo en un 56.0 % desde 2005 (Tabla 4.22 y Figura 4.5).

4.5.4.2. Aspectos metodológicos de la subcategoría

Para la estimación de emisiones de la subcategoría se utilizó un método de Nivel 1 de las *Directrices del IPCC de 2006* (Ecuación 5.4, Cap. 5, Vol. 3). Esta ecuación requiere conocer en unidades energéticas la cantidad de cera de parafina que se consume (PW), y el factor de emisión se compone a partir del contenido de carbono de dicha la cera (CC), su factor de oxidación (ODU) y la relación estequiométrica entre el CO₂ y el carbono.

4.5.4.2.1. Datos de actividad de la subcategoría

Para el período 2013-2018 se obtuvieron estadísticas del SAT acerca de las ceras de parafina importados y exportados para estimar el consumo aparente del período.

Para el 1994-2018 se obtuvieron estadísticas de importación y exportación de ceras de parafina de BANGUAT que fueron utilizadas para estimar el consumo aparente de ceras de parafina de dicho periodo. Esta serie de datos se empalma con las estadísticas de SAT mediante el método de la

superposición parcial (Sección 5.3, Cap. 5, Vol. 1, *Directrices del IPCC de 2006*), con los años en cuales se cuenta con información de las dos fuentes. Para el período 1990-1993 se realiza una retroprolación de la serie de datos antes descrita.

Los datos se obtienen en unidades de peso y transforman a valores energéticos utilizando el valor calórico neto de 40.2 TJ/Gg para parafinas indicado en el Cuadro 1.2, Cap. 1, Vol. 2. En la Tabla 4.26 se presenta el total de la producción nacional para toda la serie.

Tabla 4.26.

Uso de la cera de parafina: consumo aparente de cera de parafina (t), 1990-2018

Año	Toneladas	Año	Toneladas	Año	Toneladas
1990	1,637.7	2000	3,223.5	2010	1,030.3
1991	1,692.2	2001	3,397.2	2011	5,348.6
1992	1,746.6	2002	13,082.5	2012	19,178.9
1993	1,801.0	2003	17,120.7	2013	13,286.2
1994	1,855.4	2004	14,126.9	2014	12,256.0
1995	2,392.0	2005	20,848.8	2015	15,406.0
1996	1,190.5	2006	6,590.0	2016	11,839.2
1997	2,349.6	2007	13,679.2	2017	10,381.7
1998	11,021.3	2008	11,545.8	2018	9,170.4
1999	13,790.9	2009	5,866.3		

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en información de SAT y BANGUAT

4.5.4.2.2. Factores de emisión de la subcategoría

Al igual que para el *uso de lubricantes*, el factor de emisión de CO₂ de esta subcategoría se compone de un factor de contenido de carbono específico multiplicado por el factor ODU. Se utilizaron los valores por defecto de acuerdo con el Cuadro 1.3, Cap. 1, Vol. 2 para el contenido de carbono y el Cuadro 5.2, Cap. 5, Vol. 3 para el factor ODU, ambos las *Directrices del IPCC de 2006* (Tabla 4.27).

Tabla 4.27.

Uso de las ceras de parafina: parámetros por defecto utilizados

Parámetro	Valor por defecto
Contenido de carbono (t C/TJ)	20.0
Factor ODU (fracción)	0.2

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en las *Directrices del IPCC de 2006*.

4.5.4.3. Incertidumbre y coherencia de la serie temporal de la subcategoría

Para la incertidumbre del dato de actividad se consideró el valor medio de incertidumbre propuesto en las *Directrices del IPCC de 2006* (Sección 5.3.3.2, Cap. 5, Vol. 3).

Para la incertidumbre del factor de emisión se combinaron mediante propagación de error las incertidumbres del contenido de carbono y el factor ODU, propuesto por defecto en las *Directrices del IPCC de 2006* (Sección 5.3.3.1, Cap. 5, Vol. 3).

Los valores de incertidumbre utilizados y la incertidumbre combinada se presentan en la Tabla 4.28. Se puede apreciar que la incertidumbre combinada está mayormente asociada al uso de factores de emisión por defecto de CO₂.

Tabla 4.28.

Uso de la cera de parafina: valores de incertidumbre utilizados e incertidumbre combinada

Categorías de fuente de GEI	GEI	Incertidumbre de los DA	Incertidumbre del FE	Incertidumbre combinada
Uso de la cera de parafina	CO ₂	15,0%	100,1%	101.2%

Nota: con fines conservadores y de reporte, cuando el rango de incertidumbre fue asimétrico, se aplicó el valor más distante de la media. Los valores asimétricos pueden consultarse en el Anexo 2.

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en las *Directrices del IPCC 2006*.

Para mantener la coherencia de la serie 1990-2018, se usaron los mismos factores de emisión y parámetros. Con respecto a los datos de actividad para el período 2013-2018 se obtuvieron estadísticas del SAT y para el 1994-2018 se obtuvieron estadísticas de cera de parafina de BANGUAT, para asegurar la coherencia, las series de datos fueron empalmados mediante el método de la superposición parcial. Para el período 1990-1993 se realiza una retropolación de la serie de datos antes descrita.

4.5.4.4. Actividades de GCCV de la subcategoría

Las actividades de GCCV aplicadas a la subcategoría fueron las siguientes:

- Verificación que las unidades de emisiones y parámetros se registraron correctamente y que los factores de conversión se utilizaron de manera apropiada.
- Verificación que el movimiento de datos de inventario entre los pasos de procesamiento fue el correcto.
- Verificación de los cambios metodológicos y de datos que resultan en nuevos cálculos.
- Verificación de la tendencia y coherencia de la serie temporal y análisis de la exhaustividad.

4.5.4.5. Nuevos cálculos de la subcategoría

Esta subcategoría no fue estimada en la 2CN, por lo tanto, no es posible comparar resultados.

4.5.4.6. Plan de mejora de la subcategoría

Para esta subcategoría se contemplan las siguientes mejoras:

- Realizar un estudio específico que permita identificar las proporciones de ceras de la parafina que son utilizadas para fines no energéticos. Esto puede lograrse a partir de colaboraciones con la DGH del MEM que desde 2019 compila estadísticas sobre el consumo de ceras de la parafina.
- Realizar una verificación cruzada con el sector Energía para evitar doble cómputo.

Estas mejoras planificadas dependerán en gran medida de las prioridades y el apoyo nacional e internacional que reciba el país.

4.5.5. Uso de solventes (FCR 2.D.3)

El uso de solventes fabricados a partir de combustibles fósiles genera emisiones de COVDM, precursores de GEI que luego continúan oxidándose en la atmósfera. Los solventes son utilizados en la fabricación y aplicación de pinturas y en la eliminación de grasas o proceso de lavado en seco (IPCC, 2006). 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 directos.

4.5.6. Otros (FCR 2.D.4)

Esta subcategoría no ocurre en el país.

4.6. Industria electrónica (FCR 2.E)

Esta subcategoría no ocurre en el país.

4.7. Uso de productos sustitutos de las sustancias que agotan la capa de ozono (FCR 2.F)

4.7.1. Descripción y tendencia de los GEI 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 *refrigeración y aire acondicionado, agentes espumantes, protección contra incendios, aerosoles, y solventes*.

Dado que no se cuenta con información del consumo de HFC desagregado por subcategoría, el consumo aparente total por sustancia se utilizó para estimar las emisiones de *refrigeración y aire acondicionado* (principal uso documentado en Guatemala), asumiendo que quedarían incluidas en esa subcategoría, las emisiones de otras aplicaciones. No se registran en el país importaciones o uso de PFC.

En 2018 se generaron 713.6 kt CO₂ eq, representando el 35.8 % del sector IPPU. El 100 % de las emisiones es asignado a la subcategoría *refrigeración y aire acondicionado*, asumiendo que las restantes subcategorías podrían quedar contempladas en dicha subcategoría. Esta categoría ha incrementado de forma importante su participación porcentual desde 2005 en el que representó 0.3 % del total del hasta alcanzar el 35.8 % de emisiones del sector en 2018 (Tabla 4.29 y Figura 4.6).

Tabla 4.29.

Uso de productos sustitutos de las SAO: total de GEI por subcategoría (kt CO₂ eq)

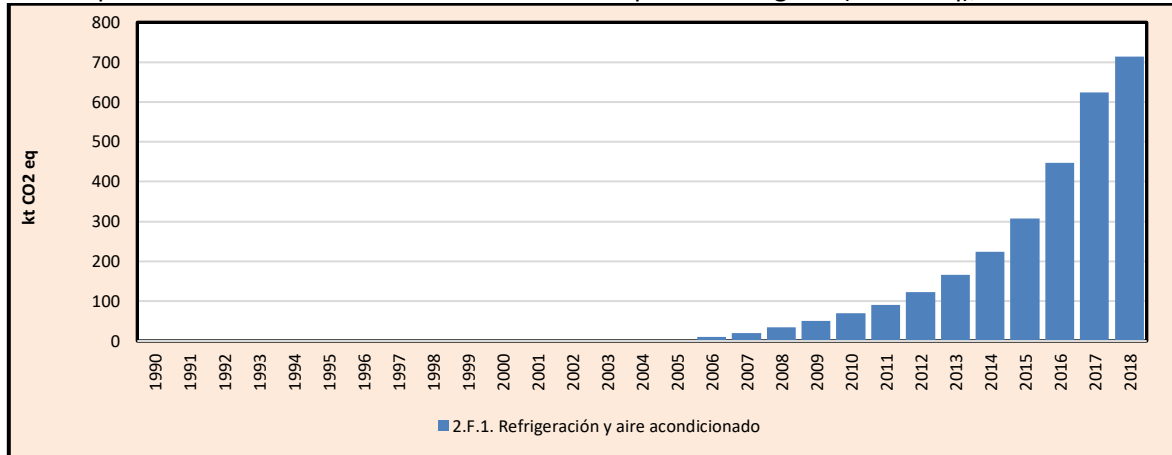
Subcategoría	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
2.F.1. Refrigeración y aire acondicionado	NO	NO	NO	2.8	69.4	307.2	447.5	624.6	713.6

Nota: NO = No ocurre

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

Figura 4.6.

Uso de productos sustitutos de las SAO: total de GEI por subcategoría (kt CO₂ eq), 1990-2018



Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

En Guatemala se han registrado emisiones de HFC-32, HFC-125, HFC-134a, HFC-143a, HFC-227ea, y HFC-152a. Las principales fuentes de emisión han sido el uso de HFC-134a (45.7%), HFC-125 (38.7%), y HFC-143a (11.0%) (Tabla 4.30 y Figura 4.7).

Tabla 4.30.

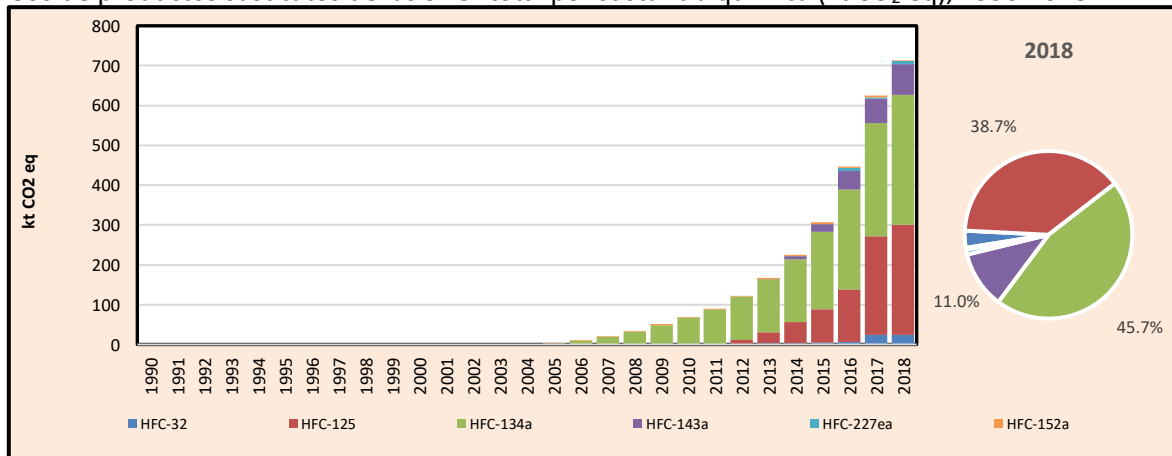
Uso de productos sustitutos de las SAO: total por sustancia química (kt CO₂ eq)

Sustancia química	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
HFC-32	NO	NO	NO	NO	0.1	5.5	6.8	23.4	23.5
HFC-125	NO	NO	NO	NO	NO	83.2	131.9	248.2	276.4
HFC-134a	NO	NO	NO	2.2	67.5	194.8	250.5	284.3	326.1
HFC-143a	NO	NO	NO	NO	NO	18.7	46.2	60.5	78.4
HFC-227ea	NO	NO	NO	NO	NO	0.4	7.9	4.6	6.9
HFC-152a	NO	NO	NO	0.5	1.9	4.6	4.1	3.6	2.3
Total	NO	NO	NO	2.8	69.4	307.2	447.5	624.6	713.6

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

Figura 4.7.

Uso de productos sustitutos de las SAO: total por sustancia química (kt CO₂ eq), 1990-2018



Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

4.7.2. Aspectos metodológicos de la categoría

Para la estimación de emisiones en esta categoría se utilizó el método de Nivel 1a del Capítulo 7, Volumen 3 de las *Directrices del IPCC de 2006*. El método consiste en la utilización de factores de emisión por defecto utilizando el libro de cálculo anexo de las directrices. Dado que no se cuenta con información de importaciones desagregadas por subcategoría, se asume que cualquier otra aplicación que ocurra en el país es incluida en las emisiones de *refrigeración y aire acondicionado*.

4.7.3. Refrigeración y aire acondicionado (FCR 2.F.1)

4.7.3.1. Descripción y tendencia de los GEI de la subcategoría

Según las *Directrices del IPCC de 2006*, 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 es abastecido en un 100 % por importaciones desde 2005, ya que dichos compuestos no se producen en Guatemala.

En 2018 se generaron 713.6 kt CO₂ eq. El 100 % de las emisiones es asignado a la subcategoría *refrigeración y aire acondicionado*, asumiendo que las restantes subcategorías podrían quedar contempladas en dicha subcategoría. Esta categoría ha incrementado de forma importante su participación porcentual desde 2005 en el que representó 0.3 % del total del hasta alcanzar el 35.8 % de emisiones del sector en 2018 (Tabla 4.29 y Figura 4.6).

4.7.3.2. Aspectos metodológicos de la subcategoría

Para la estimación de las emisiones se utilizó el método de Nivel 1a de las *Directrices del IPCC de 2006*. Los datos de la actividad para el método de Nivel 1a consisten en datos sobre el consumo anual de una sustancia química en el caso de las aplicaciones que presentan emisiones retardadas y que generan bancos de ese producto como en la *refrigeración y aire acondicionado*. Una vez que se han establecido los datos de la actividad se aplican los factores compuestos de emisión que correspondan (IPCC, 2006).

El consumo anual de cada sustancia se estimó utilizando la Ecuación 7.1, Cap. 7, Vol. 3. Cabe destacar que no existe producción ni eliminación de HFC a nivel nacional. Por otra parte, los bancos corresponden a la cantidad de sustancias químicas que se han acumulado a lo largo del ciclo de vida útil, pero que no ha sido emitida al término del año más reciente. Los bancos pueden estimarse según las *Directrices del IPCC de 2006*, mediante algoritmos e hipótesis simples, siempre y cuando se conozca el consumo neto histórico para cada año posterior a la introducción de la sustancia, o bien, si este periodo sobrepasa el tiempo de vida útil promedio del producto o equipo, el consumo neto durante ese tiempo de vida útil promedio.

Para dar cuenta de las emisiones durante la vida útil de los productos o equipos, los factores de emisión pertinentes de la aplicación se aplican entonces a los bancos. Se consideran, además, las emisiones por liberación de gases al momento del retiro de los equipos.

4.7.3.2.1. Datos de actividad de la subcategoría

Se utilizaron estadísticas de importaciones de HFC del Departamento de Productos Químicos y desechos Peligrosos en Guatemala del MARN. Dado el nivel de agregación de las estadísticas no permite dividir en subaplicaciones, por lo que se agruparon los gases en la subcategoría *refrigeración y aire acondicionado* sin considerar detalles de las otras aplicaciones. La serie de información disponible en MARN cuenta con información para los últimos 5 años, por lo que se hicieron extrapolaciones a fin de estimar los años en que fueron introducidos los gases SAO. En la Tabla 4.31 se presentan los compuestos que contienen HFC importados en los últimos 5 años.

Tabla 4.31.

Uso de productos sustitutos de las SAO: importaciones de compuestos que contienen HFC (t)

Año	HFC-410A	HFC-417A	HFC-407C	HFC-422a	HFC-407F	HFC-404A	HFC-438A	HFC-437a	HFC-507A	HFC-422D	HFC-227ea	HFC-152a
2015	31.9	10.8	3.1	0.0	14.8	35.4	3.5	0.3	13.7	6.2	0.0	16.0
2016	37.5	5.3	10.6	0.2	0.5	87.0	3.6	0.9	14.0	8.2	4.8	14.9
2017	345.0	2.3	3.9	0.0	0.1	60.8	3.4	6.8	22.5	6.4	4.8	15.7
2018	67.2	0.0	6.4	0.0	1.8	77.3	2.9	0.7	18.5	5.5	6.3	14.4

Nota: valores reportados como 0.0 corresponden a emisiones menores a 0.1 kt CO₂ eq.

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en la información del Departamento de Productos Químicos y Desechos Peligrosos de MARN.

Las mezclas de HFC se desagregan por sustancia individual, la composición estimada de las mezclas de HFC en Guatemala se presentan en la Tabla 4.32.

Tabla 4.32.

Uso de productos sustitutos de las SAO: composición de las mezclas que contienen HFC (%)

HFC	HFC-410A	HFC-417A	HFC-407C	HFC-422a	HFC-407F	HFC-404A	HFC-438A	HFC-437a	HFC-507A	HFC-422D
HFC-32	50		23		30		8.5			
HFC-125	50	46.6	25	85.1	30	44	45	78.5	50	65.1
HFC-134a		50	52	11.5	40	4	44.2	19.5	50	31.5
HFC-143a						52				
Otros (no HFC)		3.4		3.4			2.3	2		3.4

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

Con los datos de importaciones de mezclas de HFC y su composición y agregado las importaciones de HFC puros, se estimaron las importaciones por sustancias desde su año de introducción al país (Tabla 4.33).

Tabla 4.33.

Uso de productos sustitutos de las SAO: importaciones de HFC (t), 2005-2018

Año	HFC-32	HFC-125	HFC-134a	HFC-143a	HFC-227ea	HFC-152a
2005	NO	NO	10.5	NO	NO	27.8
2006	NO	NO	32.5	NO	NO	26.6
2007	NO	NO	54.5	NO	NO	25.4
2008	NO	NO	76.5	NO	NO	24.3
2009	NO	NO	98.5	NO	NO	23.1
2010	0.7	NO	120.6	NO	NO	21.9
2011	4.8	NO	142.6	NO	NO	20.7
2012	9.0	18.0	164.6	NO	NO	19.6
2013	13.1	36.6	186.6	1.5	NO	18.4
2014	17.3	55.3	208.6	9.9	1.0	17.2
2015	21.4	73.9	230.6	18.4	*	16.0
2016	21.6	116.6	289.8	45.2	4.8	14.9
2017	173.7	259.1	226.5	31.6	4.8	15.7
2018	35.9	124.7	307.3	40.2	6.3	14.4

Nota 1: los valores en rojo corresponden a datos retroalimentados.

Nota 2: * = no se registra importación.

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en la información del Departamento de Productos Químicos y Desechos Peligrosos de MARN.

4.7.3.2.2. Factores de emisión de la subcategoría

Para esta subcategoría se seleccionaron los factores de emisión con base en los parámetros y recomendaciones para la aplicación del método de Nivel 1a, Cap. 7, Vol. 3 de las *Directrices del IPCC de 2006*. Se considera para las estimaciones a nivel nacional una vida útil de los equipos de 10 años, un factor de crecimiento de 2.5 % y que no se realiza destrucción de las sustancias (Tabla 4.34).

Tabla 4.34.

Refrigeración y aire acondicionado: parámetros por defecto utilizados

HFC	Año de introducción	Crecimiento (%)	Vida útil (años)	Factor de emisión (%)	Destrucción (%)
HFC-32	2010	2.5	10.0	15.0	0.0
HFC-125	2012	2.5	10.0	15.0	0.0
HFC-134a	2005	2.5	10.0	15.0	0.0
HFC-143a	2013	2.5	10.0	15.0	0.0
HFC-227ea	2014	2.5	10.0	15.0	0.0
HFC-152a	2005	2.5	10.0	15.0	0.0

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en las *Directrices del IPCC de 2006*.

4.7.3.3. Incertidumbre y coherencia de la serie temporal de la subcategoría

La principal incertidumbre en los datos de actividad de esta categoría está asociadas a la suposición que todo el HFC importado es utilizado para *refrigeración y aire acondicionado*, por lo que se puede esperar que haya una sobrestimación de esta subcategoría.

Para la incertidumbre del factor de emisión se estimó promediando los intervalos de confianza de los rangos propuestos en las diferentes subaplicaciones presentadas en el Cuadro 7.9, Cap. 7, Vol. 3 de las *Directrices del IPCC de 2006*.

Los valores de incertidumbre utilizados y la incertidumbre combinada se presentan en la Tabla 4.35. Se puede apreciar que la incertidumbre combinada está mayormente asociada al uso de factores de emisión por defecto de HFC.

Tabla 4.35.

Refrigeración y aire acondicionado: valores de incertidumbre utilizados e incertidumbre combinada

Categorías de fuente de GEI	GEI	Incertidumbre de los DA	Incertidumbre del FE	Incertidumbre combinada
Refrigeración y aire acondicionado	CO ₂	30.0%	68.5%	74.8%

Nota: con fines conservadores y de reporte, cuando el rango de incertidumbre fue asimétrico, se aplicó el valor más distante de la media. Los valores asimétricos pueden consultarse en el Anexo 2.

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en las *Directrices del IPCC 2006*.

La serie de datos para esta subcategoría se genera a partir de estadísticas de consumo de HFC del Departamento de Productos Químicos y desechos Peligrosos en Guatemala del MARN. Para los años previos a 2015 se utilizó técnica de extrapolación para modelar el comportamiento del consumo de HFC.

4.7.3.4. Actividades de GCCV de la subcategoría

Las actividades de GCCV aplicadas a la subcategoría fueron las siguientes:

- Verificación que las unidades de emisiones y parámetros se registraron correctamente y que los factores de conversión se utilizaron de manera apropiada.
- Verificación que el movimiento de datos de inventario entre los pasos de procesamiento fue el correcto.
- Verificación de los cambios metodológicos y de datos que resultan en nuevos cálculos.
- Verificación de la tendencia y coherencia de la serie temporal y análisis de la exhaustividad.

4.7.3.5. Nuevos cálculos de la subcategoría

Esta subcategoría no fue estimada en la 2CN, por lo tanto, no es posible comparar resultados.

4.7.3.6. Plan de mejora de la subcategoría

Para esta subcategoría se contemplan las siguientes mejoras:

- Realizar un estudio específico que permita identificar los diferentes uso y aplicaciones de los HFC en el país, de forma que permita estimar las subcategorías y aplicaciones de forma separada.
- Verificar los supuestos de vida útil de los equipos.
- Realiza un inventario histórico sobre el uso de HFC que se han utilizado en Guatemala, sus años de ingreso al mercado y mecanismos de retiro. Esta actividad podría lograrse a través de coordinación con el Departamento de Productos Químicos y desechos Peligrosos en Guatemala del MARN.

Estas mejoras planificadas dependerán en gran medida de las prioridades y el apoyo nacional e internacional que reciba el país.

4.7.4. Agentes espumantes (FCR 2.F.2)

En esta subcategoría se reportan las emisiones provenientes del uso de HFC para sustituir CFC e HCFC en espumas. Estas suelen ser utilizadas ya sea como aislantes térmicos o como material de colchón en muebles (IPCC, 2006).

Dado que no se cuenta con información de desagregada de los HFC por aplicación, y que se han importado HFC que podrían ser utilizados como agentes espumantes, se asume que las emisiones de esta subcategoría podrían estar comprendidas en *refrigeración y aire acondicionado*.

Como parte del plan de mejora, se contempla realizar un estudio específico a través del Departamento de Productos Químicos y Desechos Peligrosos en Guatemala del MARN, en el que se identifique los usos específicos de cada HFC que se importa al país.

4.7.5. Protección contra incendios (FCR 2.F.3)

En esta subcategoría se reportan las emisiones provenientes del uso de HFC y PFC para sustituir halones en los equipos de protección contra incendios. Estos gases se están utilizando en equipos fijos para la protección contra incendios (IPCC, 2006).

Dado que no se cuenta con información de desagregada de los HFC por aplicación, y que se han importado HFC que podrían ser utilizados en extintores, se asume que las emisiones de esta subcategoría podrían estar comprendidas en *refrigeración y aire acondicionado*.

Como parte del plan de mejora, se contempla realizar un estudio específico a través del Departamento de Productos Químicos y Desechos Peligrosos en Guatemala del MARN, en el que se identifique los usos específicos de cada HFC que se importa al país.

4.7.6. Aerosoles (FCR 2.F.4)

En esta subcategoría se reportan las emisiones provenientes del uso de HFC y PFC utilizados como propulsores para productos de higiene personal o productos de higiene personal o uso médico (IPCC, 2006).

Dado que no se cuenta con información de desagregada de los HFC por aplicación, y que se han importado HFC que podrían ser utilizados como aerosoles, se asume que las emisiones de esta subcategoría podrían estar comprendidas en *refrigeración y aire acondicionado*.

Como parte del plan de mejora, se contempla realizar un estudio específico a través del Departamento de Productos Químicos y Desechos Peligrosos en Guatemala del MARN, en el que se identifique los usos específicos de cada HFC que se importa al país. Además, se propone el establecimiento de acuerdos institucionales entre el MARN y las empresas farmacéuticas distribuidoras de inhaladores de uso médico que utilizan este tipo de gases como propelentes.

4.7.7. Solventes (FCR 2.F.5)

En esta subcategoría se reportan las emisiones provenientes del uso de HFC y PFC utilizados como solventes en sustancias como rociadores en productos industriales o para productos de uso doméstico (IPCC, 2006).

Dado que no se cuenta con información de desagregada de los HFC por aplicación, y que se han importado HFC que podrían ser utilizados como solventes, se asume que las emisiones de esta subcategoría podrían estar comprendidas en *refrigeración y aire acondicionado*.

Como parte del plan de mejora, se contempla realizar un estudio específico a través del Departamento de Productos Químicos y Desechos Peligrosos en Guatemala del MARN, en el que se identifique los usos específicos de cada HFC que se importa al país.

4.7.8. Otras aplicaciones (FCR 2.F.6)

En esta subcategoría se reportan las emisiones de HFC y PFC en aplicaciones distintas a las descritas en las secciones anteriores (IPCC, 2006).

Para esta subcategoría se propone verificar la ocurrencia de otras aplicaciones realizando un estudio específico a través del Departamento de Productos Químicos y Desechos Peligrosos en Guatemala del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN), en el que se identifique los usos específicos de cada HFC que se importa al país.

4.8. Manufactura y utilización de otros productos (FCR 2.G)

En esta categoría se estiman las emisiones de SF₆ y PFC generadas en la manufactura y utilización de los equipos eléctricos y muchos otros productos. También se estiman las emisiones de N₂O para usos anestésicos, los propulsores y otros usos de productos. Esta categoría se divide en cuatro subcategorías: *equipos eléctricos, SF₆ y PFC de otros usos de productos, N₂O de usos de productos, y otros*.

Se identifica que en Guatemala se generan emisiones de SF₆ a partir de *equipos eléctricos y el uso de aceleradores*, asimismo, se generan emisiones de N₂O en *aplicaciones médicas*. Sin embargo, esta categoría no ha sido evaluada por la falta de información estadísticas que permita determinar los datos de actividad requeridos para la estimación de emisiones.

Para estimar las emisiones de GEI en esta categoría en futuros inventarios será necesario:

- Identificar la cantidad de SF₆ que se utiliza en equipos eléctricos, esto puede lograrse a través de estudios específicos liderados por autoridades en materia energética.
- Identificar la cantidad de aceleradores de partículas disponibles en el país; esto puede lograrse a través de la compilación de información en la emisión de licencias de operación de parte de la Dirección General de Energía del MEM.
- Cuantificar el óxido nitroso suministrado para fines anestésicos o analgésicos, esto puede lograrse a partir de la generación de estadísticas de medicamentos controlados dentro del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social.

Estas potenciales mejoras dependerán en gran medida de las prioridades y el apoyo nacional e internacional que reciba el país.

4.9. Otros (FCR 2.H)

Esta categoría no ocurre en el país.

CAPÍTULO 5: SECTOR AGRICULTURA (FCR 3)

5.1. Panorama general del sector

5.1.1. Descripción del sector

Este sector incluye las emisiones de GEI de las actividades agropecuarias, que se originan por el manejo del ganado (fermentación entérica y manejo del estiércol), de los suelos agrícolas, el cultivo de arroz, la quema de biomasa en tierras no forestales y por la aplicación de cal y urea a los suelos (IPCC, 2006).

En Guatemala están presentes todas de las actividades agropecuarias mencionadas, sin embargo, no fue posible estimar las emisiones relacionadas con los *camélidos*, *ciervos*, las emisiones directas e indirectas de N₂O de la *mineralización de la materia orgánica del suelo* y del *cultivo de suelos orgánicos*, la *quema de residuos agrícola en el campo de tubérculos y raíces*, y el *encalado*.

5.1.2. Tendencia de los GEI del sector

En 2018, las emisiones de GEI del sector Agricultura fueron 37.3 kt CO₂, 183.3 kt CH₄ y 6.5 kt N₂O (Tabla 5.1). En general, destacan las categorías de *fermentación entérica* y *suelos agrícolas* como las mayores fuentes de emisión de GEI del sector.

Tabla 5.1.

Sector Agricultura: emisiones por GEI, categoría y subcategoría para 2018

Código	Categorías de fuente de GEI	CO ₂ (kt)	CH ₄ (kt)	N ₂ O (kt)
3.	Agricultura	37.3	183.3	6.5
3.A.	Fermentación entérica		167.6	
3.A.1.	Vacunos		159.8	
3.A.1.a.	Vacas lecheras		10.5	
3.A.1.b.	Otros vacunos		149.3	
3.A.2.	Ovinos		2.5	
3.A.3.	Porcinos		1.4	
3.A.4.	Otro ganado		3.9	
3.A.4.a.	Búfalos		0.1	
3.A.4.b.	Camélidos		NE	
3.A.4.c.	Ciervos		NE	
3.A.4.d.	Caprinos		0.5	
3.A.4.e.	Equinos		2.8	
3.A.4.f.	Mulas y asnos		0.5	
3.A.4.g.	Aves de corral		NA	
3.A.4.h.	Otras especies		NO	
3.B.	Gestión del estiércol		5.9	0.9
3.B.1.	Vacunos		2.8	0.3
3.B.1.a.	Vacas lecheras		0.1	0.1
3.B.1.b.	Otros vacunos		2.7	0.2
3.B.2.	Ovinos		0.1	0.0
3.B.3.	Porcinos		1.4	0.2
3.B.4.	Otro ganado		1.7	0.1
3.B.4.a.	Búfalos		0.0	0.0
3.B.4.b.	Camélidos		NE	NE
3.B.4.c.	Ciervos		NE	NE
3.B.4.d.	Caprinos		0.0	0.0

Anexo técnico del IBA de Guatemala: Informe del Inventario Nacional 2022

Código	Categorías de fuente de GEI	CO ₂ (kt)	CH ₄ (kt)	N ₂ O (kt)
3.B.4.e.	Equinos		0.3	0.0
3.B.4.f.	Mulas y asnos		0.0	0.0
3.B.4.g.	Aves de corral		1.3	0.1
3.B.4.h.	Otras especies		NO	NO
3.B.5.	Emisiones indirectas de N ₂ O			0.3
3.C.	Cultivo del arroz		0.7	
3.C.1.	Irrigadas		0.1	
3.C.2.	Alimentadas a lluvia		0.7	
3.C.3.	Aguas profundas		NO	
3.C.4.	Otros (especificar)		NO	
3.D.	Suelos agrícolas			5.1
3.D.1.	Emisiones directas de N ₂ O de suelos agrícolas			3.5
3.D.1.a.	Fertilizantes inorgánicos			1.9
3.D.1.b.	Fertilizantes orgánicos			0.4
3.D.1.b.i.	Estiércol animal aplicado a los suelos			0.4
3.D.1.b.ii.	Lodos aplicados a los suelos			NO
3.D.1.b.iii.	Otros fertilizantes orgánicos aplicados a los suelos			0.0
3.D.1.c.	Orina y estiércol depositado por animales de pastoreo			0.4
3.D.1.d.	Residuos de cosechas			0.7
3.D.1.e.	Mineralización de la materia orgánica del suelo			NE
3.D.1.f.	Cultivo de suelos orgánicos (histosoles)			NE
3.D.1.g.	Otros (especificar)			NO
3.D.2.	Emisiones indirectas de N ₂ O de suelos agrícolas			1.6
3.D.2.a.	Deposición atmosférica			0.5
3.D.2.b.	Lixiviación y escurrimiento			1.1
3.E.	Quema prescrita de sabanas		3.7	0.3
3.F.	Quema de residuos agrícola en el campo		5.2	0.1
3.F.1.	Cereales		1.1	0.0
3.F.2.	Legumbres		0.1	0.0
3.F.3.	Tubérculos y raíces		NE	NE
3.F.4.	Caña de azúcar		4.0	0.1
3.F.5.	Otros (especificar)		0.1	0.0
3.G.	Encalado	NE		
3.G.1.	Caliza	NE		
3.G.2.	Dolomita	NE		
3.H.	Aplicación de urea	37.3		
3.I.	Otros fertilizantes que contienen carbono	NO		
3.J.	Otros (especificar)	NO	NO	NO

Nota 1: NA = no aplica; NE = no estimado; NO = no ocurre; IE = incluido en otro lugar; C = confidencial.

Nota 2: los GEI reportados como 0.0 corresponden a valores menores a 0.04 kt CO₂ eq.

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

El sector Agricultura representó un 10.6 % del balance nacional en 2018 o el 21.0 % de las emisiones totales (excluyendo UTCUTS). En el mismo año, sus emisiones alcanzaron 6,552.9 kt CO₂ eq, incrementándose en 45.1 % desde 1990 y en un 13.9 % con respecto al 2005 (Tabla 5.2 y Figura 5.1). El sector presenta un incremento general a través de la serie debido al aumento de la población animal, además, se aprecian fluctuaciones relevantes para 2003, 2005 y 2007, lo cual se debe a la quema de biomasa de las sabanas.

Con respecto a las categorías mayormente emisoras, un 64.0 % corresponde a la *fermentación entérica*, un 23.4 % a *suelos agrícolas*, un 6.2 % a *gestión del estiércol* y en menor proporción las demás categorías, las cuales en conjunto alcanzan solo el 5.9 %. Esto demuestra la relevancia significativa que tienen las emisiones de CH₄ de la ganadería en el balance de GEI del país, en particular de la fermentación entérica de los animales.

Tabla 5.2.

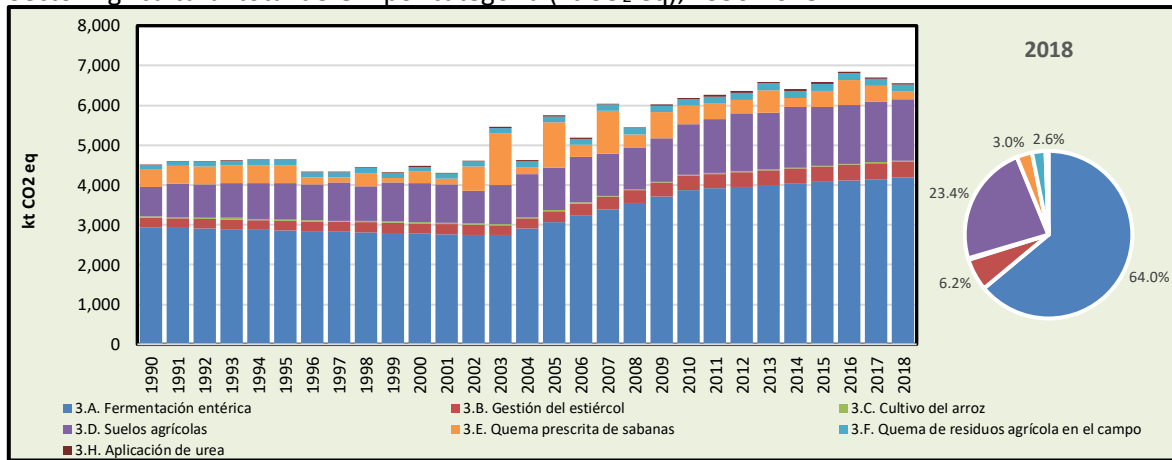
Sector Agricultura: total de GEI por categoría (kt CO₂ eq)

Categoría	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
3.A. Fermentación entérica	2,931.6	2,857.7	2,783.8	3,064.3	3,876.4	4,073.1	4,112.5	4,151.8	4,191.1
3.B. Gestión del estiércol	246.9	248.4	249.9	284.6	359.4	387.6	394.0	400.4	406.8
3.C. Cultivo del arroz	32.8	25.3	33.8	21.1	24.2	22.1	21.7	19.3	18.3
3.D. Suelos agrícolas	739.9	914.9	981.7	1,063.3	1,261.0	1,480.9	1,478.0	1,510.3	1,532.6
3.E. Quema prescrita de sabanas	449.9	449.9	280.5	1,148.4	473.7	397.0	631.7	410.8	195.6
3.F. Quema de residuos agrícola...	103.2	125.9	126.5	140.2	160.1	174.7	171.3	171.9	171.1
3.H. Aplicación de urea	10.4	9.3	18.6	33.6	38.2	45.4	39.3	38.3	37.3
Total	4,514.7	4,631.4	4,474.8	5,755.3	6,193.1	6,580.8	6,848.3	6,702.8	6,552.9

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

Figura 5.1.

Sector Agricultura: total de GEI por categoría (kt CO₂ eq), 1990-2018



Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

Respecto a las emisiones por tipo de GEI, están claramente dominadas por las emisiones de CH₄ provenientes principalmente de la ganadería, las cuales representan un 69.9 %, seguido por un 29.5 % del N₂O, y un muy menor 0.6 % de CO₂ (Tabla 5.3 y Figura 5.2).

Tabla 5.3.

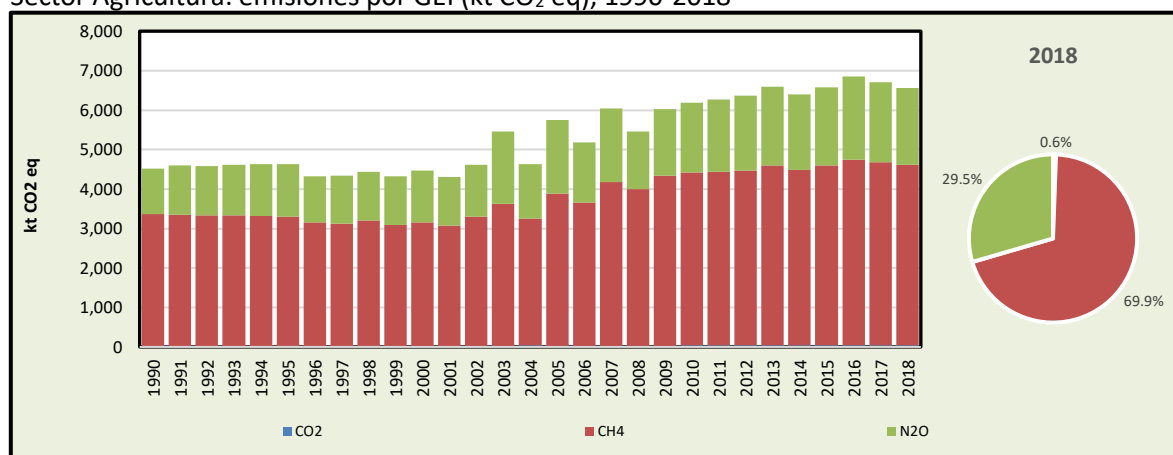
Sector Agricultura: emisiones por GEI (kt CO₂ eq)

GEI	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
CO ₂	10.4	9.3	18.6	33.6	38.2	45.4	39.3	38.3	37.3
CH ₄	3,350.7	3,286.7	3,140.8	3,846.8	4,380.9	4,559.9	4,710.9	4,644.8	4,581.8
N ₂ O	1,153.6	1,335.4	1,315.4	1,875.0	1,774.0	1,975.5	2,098.2	2,019.7	1,933.8
Total	4,514.7	4,631.4	4,474.8	5,755.3	6,193.1	6,580.8	6,848.3	6,702.8	6,552.9

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

Figura 5.2.

Sector Agricultura: emisiones por GEI (kt CO₂ eq), 1990-2018



Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

5.1.3. Aspectos metodológicos del sector

Para la estimación de los GEI del sector Agricultura se utilizó el método de Nivel 1 y factores de emisión por defecto del Volumen 4 de las *Directrices del IPCC de 2006*⁷. En algunos casos excepcionales se aplicaron factores de emisión por defecto del *Refinamiento de 2019*, las excepciones son debidamente mencionadas en las categorías correspondientes.

Respecto a los datos de actividad, estos provienen principalmente de estadísticas nacionales, en especial de los censos nacionales agropecuarios del INE, así como bases estadísticas del MAGA. Además, se contó con información de asociaciones nacionales del arroz y café. En algunos casos, en donde no se contó con fuentes nacionales, se utilizó información de FAOSTAT. Una descripción detalla de las fuentes y datos de actividad utilizados se encuentra en cada categoría específica.

Para la estimación de los GEI se utilizaron hojas de trabajo propias del país, las cuales fueron elaboradas con base en las hojas de trabajo de las *Directrices del IPCC de 2006*.

5.2. Fermentación entérica (FCR 3.A)

5.2.1. Descripción y tendencia de los GEI de la categoría

Esta categoría incluye las emisiones de CH₄ que se producen en los herbívoros manejados como producto secundario de la fermentación entérica. La fermentación entérica es un proceso digestivo mediante el cual microorganismos rompen los carbohidratos en moléculas simples para su absorción al flujo sanguíneo. Los rumiantes son fuente importante de emisiones de metano (p. ej. vacunos, búfalos, caprinos, ovinos, cérvidos y camélidos) debido a que su sistema digestivo posee el rumen; el ganado no rumiante (caballos, mulas, asnos) y el monogástrico (porcinos) presentan tasas de emisión de metano menores (IPCC, 2006).

⁷ Disponible en <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/vol4.html>

Las especies de animales incluidas en el actual inventario son *vacas lecheras* y *otros vacunos*, *ovinos* (de lana y de pelo), *porcinos*, *búfalos*, *caprinos*, *equinos*, *mulas* y *asnos*, *aves de corral*. *Camélidos*, *ciervos* y *conejos* no fueron incluidos debido a la falta de información.

Las emisiones por *fermentación entérica* para 2018 suman 4,191.1 kt CO₂ eq, que representa el 64.0 % de las emisiones totales de GEI del sector Agricultura. Su principal impulsor es la dinámica de la población de ganado del país, relacionada a la demanda de productos cárnicos y otros productos derivados de la producción pecuaria. Dentro de la categoría, los *vacunos* representaron el 95.3 % de las emisiones de 2018 (6.3 % de *vacas lecheras* y 89.0 % de *otros vacunos*). Le siguen los *equinos* con 1.7 %, *ovinos* con 1.5 %, *porcinos* con 0.8 %, mientras que el restante 0.7 % se distribuye entre el resto de las categorías de ganado. Las emisiones de esta categoría aumentaron en un 43.0 % desde 1990 y en un 36.8 % desde 2005 debido principalmente al crecimiento de la población de ganado en el país (Tabla 5.4 y Figura 5.3).

Tabla 5.4.

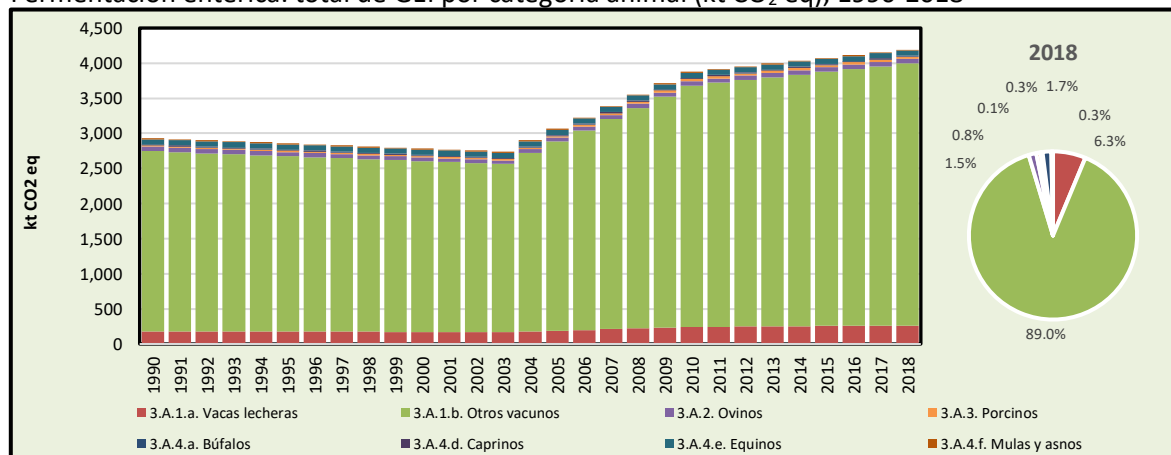
Fermentación entérica: total de GEI por categoría animal (kt CO₂ eq)

Categoría animal	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
3.A.1.a. Vacas lecheras	181.0	176.4	171.8	190.1	242.7	255.7	258.3	261.0	263.6
3.A.1.b. Otros vacunos	2,563.5	2,498.4	2,433.3	2,692.2	3,437.3	3,621.4	3,658.3	3,695.1	3,731.9
3.A.2. Ovinos	63.8	58.6	53.4	54.1	63.8	62.4	62.2	61.9	61.6
3.A.3. Porcinos	19.3	20.2	21.0	24.6	32.2	34.2	34.7	35.1	35.5
3.A.4.a. Búfalos	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3
3.A.4.d. Caprinos	11.9	11.4	10.8	10.8	11.4	11.4	11.4	11.4	11.5
3.A.4.e. Equinos	74.3	74.7	75.2	74.5	72.2	71.4	71.2	71.1	70.9
3.A.4.f. Mulass y asnos	14.4	14.7	14.9	14.6	13.5	13.1	13.1	13.0	12.9
Total	2,931.6	2,857.7	2,783.8	3,064.3	3,876.4	4,073.1	4,112.5	4,151.8	4,191.1

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

Figura 5.3.

Fermentación entérica: total de GEI por categoría animal (kt CO₂ eq), 1990-2018



Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

5.2.2. Aspectos metodológicos de la categoría

Para la estimación de metano de esta categoría se aplicó el método de Nivel 1 del Capítulo 10, Volumen 4 de las *Directrices del IPCC de 2006*. Con base en los métodos de Nivel 1 se utilizó la Ecuación 10.19 que multiplica el factor de emisión por la población animal. Si bien, *fermentación entérica* es una categoría principal, no fue posible utilizar un método Nivel 2 por falta de datos detallados para una

caracterización mejorada con respecto a la ingesta de energía bruta y los factores de conversión de metano específicos para el país.

5.2.2.1. Datos de actividad de la categoría

La población anual promedio de las distintas categorías de ganado se obtuvo de los Censos Nacionales Agropecuarios (CNA) de 1979 y 2003 (INE, 2005b; MINECO, 1983), y los INGEI 2010, 2014 y 2016 (MARN-SGCCC-PNUD, 2021a). Para completar los vacíos de datos se realizaron interpolaciones y extrapolaciones lineales. En algunas subcategorías se utilizaron otras fuentes de información y supuestos para estimar la población promedio anual, que se describen a continuación: i) *vacas lecheras*: se supuso que la proporción de *vacas lecheras* con relación al total de vacunos del CNA 2003 permaneció constante para el periodo 1990-2018; ii) *otros vacunos*: se obtuvo de la diferencia entre *vacunos* y *vacas lecheras*; y, iii) *búfalos*: a falta de otras fuentes de información, se supuso que la población reportada en el CNA 2003 permaneció constante para el periodo 1990-2018 (Tabla 5.5).

Aunque no se estiman en esta categoría de emisiones, se incluyen los datos para *aves de corral*, que son utilizadas en la categoría *gestión del estiércol*. Para *aves de corral* se realizaron interpolaciones y extrapolaciones lineales para el llenado de vacíos del periodo 2004-2018 utilizando las Encuestas Nacionales Agropecuarias (ENA) (INE, 2005a, 2006, 2007, 2008), a excepción de *codornices*, en el que se utilizaron los datos de la ENCOVI (INE, 2020a); En el caso específico de *gallinas*, *gallos*, *pollos* y *pollas* se utilizó además una estimación de la población promedio anual en granjas tecnificadas para 2017 del Programa Nacional de Sanidad Avícola (PROSA et al., 2018), complementado con las estimaciones de la población en vivienda (traspatio) de las ENCOVI. Para el llenado de vacíos del periodo 2009-2018 de *pavos* y *patos* se realizó una extrapolación lineal de la tendencia 2003-2008.

Tabla 5.5.

Fermentación entérica: población promedio anual por categoría animal (cabezas), 1990-2018

Año	Vacunos		Ovinos	Porcinos	Otro ganado				
	Vacas lecheras	Otros vacunos			Búfalos	Caprinos	Equinos	Mulas y asnos	Aves de corral
1990	70,305	1,831,064	510,680	771,064	1,948	95,268	165,122	57,613	29,455,334
1991	69,948	1,821,765	502,329	778,131	1,948	94,417	165,319	57,816	29,691,889
1992	69,591	1,812,465	493,977	785,197	1,948	93,565	165,516	58,019	29,928,443
1993	69,234	1,803,165	485,625	792,264	1,948	92,713	165,714	58,222	30,164,998
1994	68,877	1,793,866	477,273	799,331	1,948	91,861	165,911	58,425	30,401,552
1995	68,520	1,784,566	468,922	806,398	1,948	91,009	166,108	58,628	30,638,107
1996	68,162	1,775,266	460,570	813,464	1,948	90,158	166,306	58,831	30,874,661
1997	67,805	1,765,966	452,218	820,531	1,948	89,306	166,503	59,034	31,111,216
1998	67,448	1,756,667	443,867	827,598	1,948	88,454	166,700	59,236	31,347,770
1999	67,091	1,747,367	435,515	834,665	1,948	87,602	166,898	59,439	31,584,325
2000	66,734	1,738,067	427,163	841,732	1,948	86,750	167,095	59,642	31,820,879
2001	66,377	1,728,767	418,811	848,798	1,948	85,899	167,292	59,845	32,052,683
2002	66,020	1,719,468	410,460	855,865	1,948	85,047	167,490	60,048	32,284,487
2003	65,663	1,710,168	402,108	862,932	1,948	84,195	167,687	60,251	32,516,291
2004	69,750	1,816,600	417,615	923,774	1,948	85,144	166,648	59,342	36,013,987
2005	73,836	1,923,033	433,122	984,615	1,948	86,092	165,609	58,432	39,511,682
2006	77,923	2,029,465	448,629	1,045,457	1,948	87,041	164,571	57,523	50,627,126
2007	82,009	2,135,897	464,136	1,106,299	1,948	87,990	163,532	56,614	44,392,791

Año	Vacunos		Ovinos	Porcinos	Otro ganado				
	Vacas lecheras	Otros vacunos			Búfalos	Caprinos	Equinos	Mulas y asnos	Aves de corral
2008	86,096	2,242,330	479,643	1,167,141	1,948	88,939	162,493	55,704	40,205,264
2009	90,182	2,348,762	495,150	1,227,982	1,948	89,887	161,454	54,795	48,298,994
2010	94,269	2,455,194	510,657	1,288,824	1,948	90,836	160,416	53,886	50,039,886
2011	95,279	2,481,504	508,424	1,305,034	1,948	90,937	160,059	53,607	51,780,779
2012	96,289	2,507,814	506,190	1,321,244	1,948	91,038	159,702	53,327	53,521,671
2013	97,299	2,534,124	503,957	1,337,453	1,948	91,138	159,346	53,048	55,262,563
2014	98,309	2,560,434	501,723	1,353,663	1,948	91,239	158,989	52,769	57,003,455
2015	99,320	2,586,743	499,490	1,369,873	1,948	91,340	158,632	52,489	59,455,226
2016	100,330	2,613,053	497,256	1,386,083	1,948	91,440	158,276	52,210	61,906,997
2017	101,340	2,639,363	495,022	1,402,293	1,948	91,541	157,919	51,931	64,358,768
2018	102,350	2,665,673	492,789	1,418,503	1,948	91,642	157,562	51,651	66,810,538

Notas: NE = no estimada.

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en información de MINECO, INE y el Programa Nacional de Sanidad Avícola.

De acuerdo con esta información, en el periodo 1990-2018, la población de *vacunos*, *porcinos* y *aves de corral* aumentó, mientras que la población de *ovinos*, *caprinos*, *equinos*, y *mulas y asnos* disminuyó. *Búfalos* mantuvo el dato reportado en el CNA 2003 debido a que no se identificó otra fuente de información. Para el caso de *otros vacunos*, de acuerdo con las proporciones el CNA 2003 (INE, 2005b), el 16.8 % corresponde vacunos con propósito principal de carne y 83.2 % a vacunos de doble propósito.

5.2.2.2. Factores de emisión de la categoría

Para todas las categorías de especies animales se utilizaron los factores de emisión por defecto proporcionadas por el *Refinamiento de 2019* (Cuadro 10.11, Cap. 10, Vol. 4). En la mayoría de los casos se seleccionaron los valores por defecto para América Latina, países en desarrollo y sistemas de baja productividad (Tabla 5.6). En el caso de *vacas lecheras* se seleccionó el factor por defecto para «sistemas de alta productividad» en América Latina (103 kg CH₄ cabeza⁻¹ año⁻¹, con una producción promedio de leche de 3,400 kg cabeza⁻¹ año⁻¹) tomando en consideración que el rendimiento promedio de leche para *vacas lecheras* en el país (vacas con propósito principal de leche) es de alrededor de 3,390 litros cabeza⁻¹ año⁻¹ (Vargas, 2020).

Tabla 5.6.

Fermentación entérica: factores de emisión utilizados (kg CH₄/cabeza/año)

Categoría animal	Valor por defecto
Vacas lecheras	103
Otros vacunos	56
Ovinos	5
Porcinos	1
Búfalos	68
Caprinos	5
Equinos	18
Mulas y asnos	10

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en el *Refinamiento de 2019*.

5.2.3. Incertidumbre y coherencia de la serie temporal de la categoría

Ante la falta de información país específica para las incertidumbres de los datos de actividad y factores de emisión, se utilizaron valores por defecto del *Refinamiento de 2019*.

Los valores de incertidumbre utilizados y la incertidumbre combinada se presentan en la Tabla 5.7. Se puede apreciar que la mayor incertidumbre combinada está asociada a los datos de actividad de búfalos y, en general, los datos de actividad presentan mayor incertidumbre que los factores de emisión.

Tabla 5.7.

Fermentación entérica: valores de incertidumbre utilizados e incertidumbre combinada

Categorías de fuente de GEI	GEI	Incertidumbre de los DA	Incertidumbre del FE	Incertidumbre combinada
Vacas lecheras	CH ₄	45.0%	30.0%	54.1%
Otros vacunos	CH ₄	45.0%	30.0%	54.1%
Ovinos	CH ₄	60.0%	30.0%	67.1%
Porcinos	CH ₄	60.0%	30.0%	67.1%
Búfalos	CH ₄	150.0%	30.0%	153.0%
Caprinos	CH ₄	50.0%	30.0%	58.3%
Equinos	CH ₄	50.0%	30.0%	58.3%
Mulas y asnos	CH ₄	30.0%	30.0%	42.4%

Nota: con fines conservadores y de reporte, cuando el rango de incertidumbre fue asimétrico, se aplicó el valor más distante de la media. Los valores asimétricos pueden consultarse en el Anexo 2.

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en el *Refinamiento de 2019*.

Aunque la fuente de información para el periodo 1990-2003 es la misma para todas las categorías animales, hay diferencias entre las fuentes de información utilizadas para el periodo 2004-2018 con base en la disponibilidad de mejores datos de actividad para cada categoría. Se aplicaron técnicas de empalme (interpolaciones y extrapolaciones lineales) en todas las categorías de ganado para avanzar en la coherencia de la serie temporal. Así mismo, se utilizó el *Refinamiento de 2019* y los mismos factores de emisión para todo el periodo 1990-2018.

5.2.4. Actividades de GCCV de la categoría

Las actividades de GCCV aplicadas a la categoría fueron las siguientes:

- Las bases de datos generadas para los datos de actividad fueron comparadas nuevamente con los datos de las fuentes de información original, con excepción de los censos nacionales agropecuarios de 1950 y 1964. Producto de esta actividad se corrigieron datos de actividad.
- Como buena práctica se efectuó una verificación cruzada de los datos de actividad con la base de datos internacional de FAOSTAT.
- Los factores de emisión, conversión y constantes fueron compilados y centralizados en una sola hoja de trabajo, vinculada al resto de las hojas de trabajo. Permitiendo una rápida revisión y actualización.
- Se realizó una verificación de las regresiones lineales utilizadas en los INGEI 2010, 2014 Y 2016. Como producto de esto, se realizaron correcciones para *vacunos*.

5.2.5. Nuevos cálculos de la categoría

En el inventario actual se realizaron correcciones a los datos de actividad en comparación el inventario anterior de la 2CN, con base en la revisión y verificación de las fuentes de información disponibles, los datos de actividad reportados y los supuestos utilizados. Así mismo, con respecto a los INGEI de la 2CN, se realizó un refinamiento metodológico utilizando los factores de emisión del *Refinamiento de 2019*. Las diferencias observadas se deben principalmente a las mejoras en los datos de actividad (Tabla 5.8).

Tabla 5.8.

Fermentación entérica: comparación entre los totales anuales de los inventarios (kt CO₂ eq)

INGEI	1990	2000	2005
INGEI - 2CN	2,444.9	2,220.5	2,919.9
INGEI - 1IBA	2,462.5	2,338.4	2,574.0
Diferencia	17.6	117.9	-345.9
Diferencia porcentual	0.7%	5.3%	-11.8%

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en la 2CN de Guatemala.

5.2.6. Plan de mejora de la categoría

Para esta categoría se contemplan las siguientes mejoras:

- Apoyar los procesos de realización de censos, encuestas y sondeos, a nivel nacional, departamental y municipal, velando por la inclusión y mejora de los datos requeridos para la elaboración del INGEI.
- Desarrollar una caracterización mejorada y aplicar el método de Nivel 2 para las categorías de ganado significativas (*vacas lecheras y otros vacunos*).
- Desarrollar la regionalización por departamentos de los datos de actividad para las categorías de ganado significativas (*vacas lecheras y otros vacunos*).

Estas mejoras planificadas dependerán en gran medida de las prioridades y el apoyo nacional e internacional que reciba el país.

5.3. Gestión del estiércol (FCR 3.B)

5.3.1. Descripción y tendencia de los GEI de la categoría

Esta categoría incluye emisiones de metano y de óxido nitroso generadas por la descomposición del estiércol bajo condiciones aeróbicas y anaeróbicas. Las emisiones de metano se producen: a) durante el almacenamiento y el tratamiento del estiércol de ganado en sistemas de gestión de estiércol (SGE); b) por el estiércol depositado por el ganado en pasturas; y c) por el estiércol depositado en pasturas luego de haber pasado por un SGE. Las emisiones de óxido nitroso se producen de manera directa durante el almacenamiento y el tratamiento del estiércol de ganado en un SGE. Esta categoría se divide según las subcategorías de ganado, de la misma forma que la fermentación entérica.

Las emisiones por *gestión de estiércol* para 2018 suman 406.8 kt CO₂ eq, que representa el 6.2 % de las emisiones totales de GEI del sector Agricultura. Su principal impulsor es la dinámica de la población de ganado del país, relacionada a la demanda de productos cárnicos y otros productos derivados de la producción pecuaria. Dentro de la categoría, *vacunos* representó el 37.6 % de las emisiones de esta categoría en 2018 (*vacas lecheras* un 7.5 % y *otros vacunos* un 30.1 %). Le siguen los *porcinos* con 23.4 %, y *aves de corral* con 14.3 %. Las demás subcategorías de ganado suman en conjunto el 5.0 %, y el restante 19.8 % corresponde a las *emisiones indirectas de N₂O* en los distintos SGE. Las emisiones de esta categoría aumentaron un 64.8 % desde 1990, y un 43.0 % desde 2005, derivado principalmente del crecimiento proyectado de la población de ganado en el país (Tabla 5.9 y Figura 5.4).

Tabla 5.9.

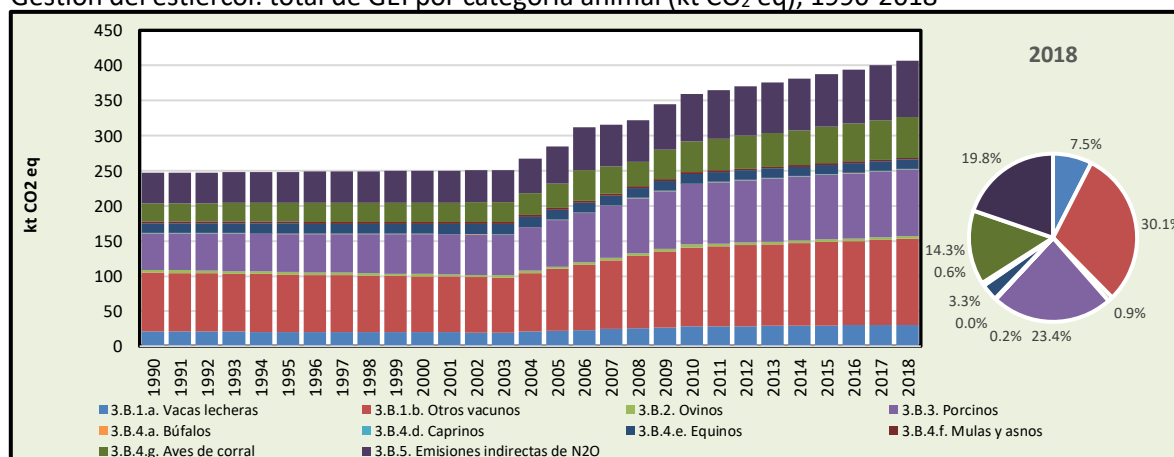
Gestión del estiércol: total de GEI por categoría animal (kt CO₂ eq)

Categoría animal	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
3.B.1.a. Vacas lecheras	21.0	20.5	20.0	22.1	28.2	29.7	30.0	30.3	30.6
3.B.1.b. Otros vacunos	84.0	81.9	79.7	88.2	112.6	118.7	119.9	121.1	122.3
3.B.2. Ovinos	3.9	3.6	3.3	3.3	3.9	3.8	3.8	3.8	3.8
3.B.3. Porcinos	51.8	54.1	56.5	66.1	86.5	92.0	93.1	94.2	95.3
3.B.4.a. Búfalos	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
3.B.4.d. Caprinos	0.7	0.7	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
3.B.4.e. Equinos	13.9	14.0	14.0	13.9	13.5	13.3	13.3	13.3	13.2
3.B.4.f. Mulas y asnos	2.7	2.7	2.7	2.7	2.5	2.4	2.4	2.4	2.4
3.B.4.g. Aves de corral	25.6	26.6	27.7	34.4	43.5	51.7	53.8	56.0	58.1
3.B.5. Emisiones indirectas de N ₂ O	43.2	44.2	45.2	53.1	67.9	75.1	76.9	78.6	80.4
Total	246.9	248.4	249.9	284.6	359.4	387.6	394.0	400.4	406.8

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

Figura 5.4.

Gestión del estiércol: total de GEI por categoría animal (kt CO₂ eq), 1990-2018



Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

5.3.2. Aspectos metodológicos de la categoría

Para la estimación de metano de esta categoría se aplicó el método de Nivel 1 del Capítulo 10, Volumen 4 de las *Directrices del IPCC de 2006*. Con base en los métodos de Nivel 1 se utilizó la Ecuación 10.22 que multiplica el factor de emisión por la población animal.

En el caso de las emisiones directas e indirectas de N₂O de la *gestión del estiércol*, se aplicó el método de Nivel 1 del Capítulo 10, Volumen 4 del *Refinamiento de 2019*, en específico, las Ecuaciones 10.25 a 10.29.

5.3.2.1. Datos de actividad de la categoría

Para todas las subcategorías de ganado se utilizaron los mismos datos de población promedio anual de la categoría *fermentación entérica*. Para todas las subcategorías de ganado se utilizaron los valores por defecto de tasa de excreción de nitrógeno y la masa animal típica del *Refinamiento de 2019* (Cuadros 10.19 y 10A-5, Cap. 10, Vol. 4). Los datos paramétricos utilizados se presentan en la tabla siguiente.

Tabla 5.10.

Gestión del estiércol: parámetros utilizados por categoría animal

Categoría animal	Tasa de excreción de nitrógeno [kg N (1,000 kg masa animal) ⁻¹ día ⁻¹]	Masa animal típica (kg)
Vacas lecheras	0.39	508.00
Otros vacunos	0.31	303.00
Ovinos	0.32	31.00
Porcinos	0.59	65.00
Búfalos	0.41	315.00
Caprinos	0.34	24.00
Equinos	0.46	238.00
Mulas y asnos	0.46	130.00
Aves de corral	1.20	1.10

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en el *Refinamiento de 2019*.

Con respecto a los SGE (Tabla 5.11), para todas las subcategorías de ganado se asignó el valor por defecto de la *fracción de la excreción total anual de nitrógeno manejado en cada sistema de gestión de estiércol para cada especie/categoría de ganado del Refinamiento de 2019* (Cuadros 10A.6-10A.9, Cap. 10, Vol. 4). En el caso de *aves de corral* se redistribuyeron las fracciones por defecto para *gallinas de postura (layers)*, *pollo de engorde (broilers)* y *otras aves de corral (low productivity)*, con base en la población reportada de las mismas en el CNA 2003 (INE 2005b).

Tabla 5.11.

Gestión del estiércol: fracción de la excreción total anual de nitrógeno manejado en cada SGE para cada categoría animal

Categoría animal	Pastura, prado y pradera	Distribución diaria	Almacena je en sólidos	Corral de engorde	Líquido y fango con cobertura de costra natural	Laguna anaeróbica no cubierta	Pozos debajo de confinamiento	Digestor anaeróbico	Estiércol de aves de corral con hojarasca
Vacas lecheras	0.57	NO	0.05	0.38	NO	NO	NO	NO	NO
Otros vacunos	0.92	NO	0.03	0.05	NO	NO	NO	NO	NO
Ovinos	0.80	NO	0.17	0.03	NO	NO	NO	NO	NO
Porcinos	0.05	0.05	0.15	0.15	0.30	0.05	0.20	0.05	NO
Búfalos	0.93	NO	0.02	0.05	NO	NO	NO	NO	NO
Caprinos	0.80	NO	0.17	0.03	NO	NO	NO	NO	NO
Equinos	0.80	NO	0.17	0.03	NO	NO	NO	NO	NO
Mulas y asnos	0.80	NO	0.17	0.03	NO	NO	NO	NO	NO
Aves de corral	0.18	0.18	0.07	NO	0.10	NO	NO	NO	0.47

Nota: NO = no ocurre.

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en INE y *Refinamiento de 2019*.

5.3.2.2. Factores de emisión de la categoría

Para todas las categorías de especies animales se utilizaron los factores de emisión de metano por defecto proporcionadas por las *Directrices del IPCC de 2006* (Cuadros 10.14 y 10.15, Cap. 10, Vol. 4). Para seleccionar los factores de emisión se utilizó el valor correspondiente a una temperatura promedio anual a nivel nacional de 22 °C y de 21.5 °C para el periodo 2001-2016 (Tabla 5.12). Para todos los SGE se utilizaron los factores de emisión de óxido nitroso por defecto proporcionadas por el *Refinamiento de 2019* (Cuadro 10.21, Cap. 10, Vol. 4) (Tabla 5.13).

Tabla 5.12.

Gestión del estiércol: factores de emisión utilizados (kg CH₄/cabeza/año)

Categoría animal	Valor por defecto
Vacas lecheras	1.00
Otros vacunos	1.00
Ovinos	0.15
Porcinos	1.00
Ciervos	0.22
Caprinos	0.17
Equinos	1.64
Mulas y asnos	0.90
Aves de corral	0.02

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en las *Directrices del IPCC de 2006*.

Tabla 5.13.

Gestión del estiércol: factores de emisión utilizados (kg N₂O-N/kg N excretado)

Sistema de gestión del estiércol	Valor por defecto
Distribución diaria	0.000
Almacenaje de sólidos	0.010
Corral de engorde	0.020
Líquido y fango con costra natural	0.005
Líquido y fango sin costra natural	0.000
Laguna anaeróbica no cubierta	0.000
Almacenamiento en pozos	0.002
Digestor anaeróbico	0.001
Camas profundas sin mezclado	0.010
Camas profundas mezclado activo	0.070
Compost en tambor	0.006
Compost en pila estática	0.010
Compost intensivo en filas	0.005
Compost pasivo en filas	0.005
Estiércol aves de corral con hojarasca	0.001
Estiércol aves de corral sin hojarasca	0.001
Sistemas de aireación natural	0.010
Sistemas de aireación forzada	0.005

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en el *Refinamiento de 2019*.

5.3.3. Incertidumbre y coherencia de la serie temporal de la categoría

Ante la falta de información país específica para las incertidumbres de los datos de actividad y factores de emisión, se utilizaron valores por defecto de las *Directrices del IPCC de 2006* para metano y el *Refinamiento de 2019* para óxido nitroso.

Los valores de incertidumbre utilizados y la incertidumbre combinada se presentan en la Tabla 5.14. Se puede apreciar que la mayor incertidumbre combinada está asociada a los factores de emisión

utilizados para la estimación de las *emisiones indirectas de N₂O* y, en general, todos los factores de emisión por defecto de N₂O aporta una considerable incertidumbre a las estimaciones de GEI.

Tabla 5.14.

Gestión del estiércol: valores de incertidumbre utilizados e incertidumbre combinada

<i>Categorías de fuente de GEI</i>	<i>GEI</i>	<i>Incertidumbre de los DA</i>	<i>Incertidumbre del FE</i>	<i>Incertidumbre combinada</i>
Vacas lecheras	CH ₄	45.0%	50.0%	67.3%
Vacas lecheras	N ₂ O	45.0%	150.0%	156.6%
Otros vacunos	CH ₄	45.0%	50.0%	67.3%
Otros vacunos	N ₂ O	45.0%	150.0%	156.6%
Ovinos	CH ₄	60.0%	50.0%	78.1%
Ovinos	N ₂ O	60.0%	150.0%	161.6%
Porcinos	CH ₄	60.0%	50.0%	78.1%
Porcinos	N ₂ O	60.0%	150.0%	161.6%
Búfalos	CH ₄	150.0%	50.0%	158.1%
Búfalos	N ₂ O	150.0%	150.0%	212.1%
Caprinos	CH ₄	50.0%	50.0%	70.7%
Caprinos	N ₂ O	50.0%	150.0%	158.1%
Equinos	CH ₄	50.0%	50.0%	70.7%
Equinos	N ₂ O	50.0%	150.0%	158.1%
Mulas y asnos	CH ₄	30.0%	50.0%	58.3%
Mulas y asnos	N ₂ O	30.0%	150.0%	153.0%
Aves de corral	CH ₄	75.0%	50.0%	90.1%
Aves de corral	N ₂ O	75.0%	150.0%	167.7%
Emisiones indirectas de N ₂ O	N ₂ O	150.0%	500.0%	522.0%

Nota: con fines conservadores y de reporte, cuando el rango de incertidumbre fue asimétrico, se aplicó el valor más distante de la media. Los valores asimétricos pueden consultarse en el Anexo 2.

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en las *Directrices del IPCC de 2006 el Refinamiento de 2019*.

Aunque la fuente de información para el periodo 1990-2003 es la misma para todas las categorías animales, hay diferencias entre las fuentes de información utilizadas para el periodo 2004-2018 con base en la disponibilidad de mejores datos de actividad para cada categoría. Se aplicaron técnicas de empalme (interpolaciones y extrapolaciones lineales) en todas las categorías de ganado para avanzar en la coherencia de la serie temporal. Así mismo, se utilizaron los mismos factores de emisión para todo el periodo 1990-2018.

5.3.4. Actividades de GCCV de la categoría

Las actividades de GCCV aplicadas a la categoría fueron las siguientes:

- Las bases de datos generadas para los datos de actividad fueron comparadas en al menos en dos ocasiones con los datos de las fuentes de información original, con excepción de los censos nacionales agropecuarios de 1950 y 1964.
- Como buena práctica se efectuó una verificación cruzada de los datos de actividad con la base de datos internacional de FAOSTAT.

- Los factores de emisión, conversión y constantes fueron compilados y centralizados en una sola hoja de trabajo, vinculada al resto de las hojas de trabajo. Permitiendo una rápida revisión y actualización.

5.3.5. Nuevos cálculos de la categoría

El INGEI actual realizó correcciones a los datos de actividad de los INGEI anteriores, con base en la revisión y verificación de las fuentes de información disponibles, los datos de actividad reportados y los supuestos utilizados. Así mismo, se realizó un refinamiento metodológico utilizando datos paramétricos y factores de emisión del *Refinamiento de 2019*, a excepción de la ecuación y los factores de emisión para estimar las emisiones de metano por *gestión del estiércol*. Las diferencias se deben principalmente a las mejoras en los datos de actividad (Tabla 5.15).

Tabla 5.15.

Gestión del estiércol: comparación entre los totales anuales de los inventarios (kt CO₂ eq)

INGEI	1990	2000	2005
INGEI - 2CN	2,121.1	1,165.5	332.2
INGEI - 1IBA	238.4	241.5	275.1
Diferencia	-1,882.7	-924.0	-57.1
Diferencia porcentual	-88.8%	-79.3%	-17.2%

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en la 2CN de Guatemala.

5.3.6. Plan de mejora de la categoría

Para esta categoría se contemplan las siguientes mejoras:

- Ejecutar un sondeo o dictamen de expertos para caracterizar los sistemas de gestión de estiércol de las subcategorías de ganado prioritarias, regionalizado por departamentos y clima, con base en los criterios y definiciones establecidas en las *Directrices del IPCC de 2006*.
- Realizar las modificaciones necesarias a los libros de cálculos para poder utilizar la ecuación actualizada por el *Refinamiento de 2019*.

Estas mejoras planificadas dependerán en gran medida de las prioridades y el apoyo nacional e internacional que reciba el país.

5.4. Cultivo del arroz (FCR 3.C)

5.4.1. Descripción y tendencia de los GEI de la categoría

Esta categoría incluye las emisiones de CH₄ por la descomposición anaeróbica de materia orgánica en arrozales cultivados en condiciones de inundación. La cantidad de metano emitido está en función de la extensión y duración del cultivo, de los regímenes hídricos previo y durante el período de cultivo, y de los abonos orgánicos e inorgánicos aplicados, entre otros (IPCC, 2006).

En Guatemala, el arroz se cultiva mayoritariamente en condiciones de secano.

Las emisiones por *cultivo del arroz* para 2018 suman 18.3 kt CO₂ eq, lo cual representa el 0.3 % de las emisiones de GEI del sector Agricultura. Sus principales impulsores son la demanda nacional de

arroz y los eventos climáticos extremos. Para el 2018, el 89.9 % de las emisiones de esta categoría se atribuyen al régimen hídrico *alimentadas a lluvia*, y el restante 10.1 % a *irrigadas*. Las emisiones de esta categoría disminuyeron en un 44.2 % desde 1990 y en un 13.0 % desde 2005, derivado de la disminución en la superficie cosechada del cultivo de arroz en el país (Tabla 5.16 y Figura 5.5).

Tabla 5.16.

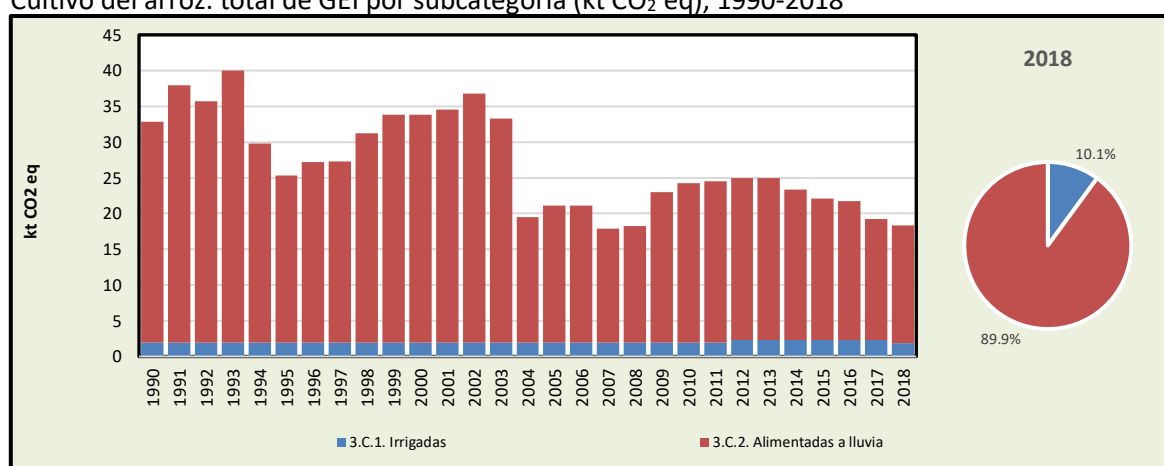
Cultivo del arroz: total de GEI por subcategoría (kt CO₂ eq)

Subcategoría	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
3.C.1. Irrigadas	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.3	2.3	2.3	1.8
3.C.2. Alimentadas a lluvia	30.9	23.4	31.8	19.1	22.3	19.8	19.4	16.9	16.5
Total	32.8	25.3	33.8	21.1	24.2	22.1	21.7	19.3	18.3

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

Figura 5.5.

Cultivo del arroz: total de GEI por subcategoría (kt CO₂ eq), 1990-2018



Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

5.4.2. Aspectos metodológicos de la categoría

Para la estimación de las emisiones de metano en esta subcategoría se aplicó el método Nivel 1 del Capítulo 5, Volumen 4 del *Refinamiento de 2019* (Ecuación 5.1), utilizando datos de actividad desagregados por régimen hídrico durante el periodo de cultivo y factores de emisión y ajuste por defecto. Con base en el método de Nivel 1 se aplicó la ecuación que multiplica el factor de emisión diario por el periodo de cultivo y la superficie cosechada en cada subunidad de régimen hídrico durante el periodo de cultivo, para luego sumarlas.

5.4.2.1. Datos de actividad de la categoría

La superficie cosechada anualmente del cultivo de arroz para el periodo 2012-2018 se obtuvo de la Asociación Guatemalteca del Arroz (ARROZGUA, 2021). Se reconoce que la mayor parte del arroz en el país se cultiva en seco (alimentadas a lluvia) y una pequeña proporción utiliza irrigación; asimismo, que existen áreas del cultivo que se inundan temporalmente por eventos climáticos extremos. Los datos de ARROZGUA están desagregados por los regímenes hídricos *irrigadas* y *alimentadas a lluvia*. Para completar el vacío de datos del periodo 1990-2011 se realizó la técnica de datos sustitutos utilizando la base de datos de FAOSTAT. Para este periodo, debido a que la base de datos de FAOSTAT no está desagregada por régimen hídrico, se supuso que la superficie cosechada bajo irrigación permaneció constante con relación a lo reportado por la ENA 2008. De

esta manera se estimó la superficie cosechada bajo el régimen hídrico *alimentadas por lluvia* restándole la superficie irrigada reportada por la ENA 2008 a la superficie cosechada anualmente reportada por FAOSTAT, considerando que los regímenes hídricos de *aguas profundas* y *otros* no ocurren en el país (Tabla 5.17). El periodo de cultivo utilizado es de 121 días (ARROZGUA, 2021).

Tabla 5.17.

Cultivo del arroz: superficie cosechada (hectáreas), 1990-2018

Año	Irrigadas	Alimentadas a lluvia
1990	742.0	15,623.7
1991	742.0	18,190.8
1992	742.0	17,067.7
1993	742.0	19,233.8
1994	742.0	14,073.1
1995	742.0	11,830.2
1996	742.0	12,791.8
1997	742.0	12,815.8
1998	742.0	14,835.2
1999	742.0	16,105.0
2000	742.0	16,105.0
2001	742.0	16,506.1
2002	742.0	17,629.3
2003	742.0	15,875.8
2004	742.0	8,870.0
2005	742.0	9,671.1
2006	742.0	9,671.1
2007	742.0	8,068.9
2008	742.0	8,229.3
2009	742.0	10,631.5
2010	742.0	11,272.1
2011	742.0	11,432.6
2012	890.0	11,445.0
2013	890.0	11,445.0
2014	890.0	10,622.0
2015	890.0	10,006.0
2016	890.0	9,800.0
2017	890.0	8,567.0
2018	700.0	8,345.0

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en FAO e INE. Periodo 2012-2018 tomado de ARROZGUA.

5.4.2.2. Factores de emisión de la categoría

Se utilizaron los valores por defecto del *Refinamiento de 2019* (Cuadros 5.11, 5.12, 5.13 y 5.14, Cap. 5, Vol. 4) para estimar el factor de emisión diario ajustado de cada subcategoría de régimen hídrico durante el periodo de cultivo.

Para *irrigadas* se utilizó el factor de ajuste por diferencias del régimen hídrico durante el periodo del cultivo de caso agregado de 0.60, y para *alimentadas a lluvia*, también de caso agregado, de 0.45. Para ambas subcategorías se utilizó el factor de emisión de línea base de 1.19 CH₄ ha⁻¹ día⁻¹, factor de ajuste por diferencias del régimen hídrico previo al periodo de cultivo de 1.22, factor de ajuste sin agregados orgánicos equivalente a 1 y factor de ajuste sin datos para tipo de suelo y cultivar de arroz equivalente a 1 (Tabla 5.18).

Tabla 5.18.

Cultivo del arroz: factores de emisión ajustados utilizados (kg CH₄/ha/día)

Subcategoría	Valor ajustado
Irrigadas	0.87
Alimentadas a lluvia	0.65

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en el *Refinamiento de 2019*.

5.4.3. Incertidumbre y coherencia de la serie temporal de la categoría

Ante la falta de información país específica para las incertidumbres de los datos de actividad y factores de emisión, se utilizaron valores por defecto del *Refinamiento de 2019*.

Los valores de incertidumbre utilizados y la incertidumbre combinada se presentan en la Tabla 5.19. Se puede apreciar que la mayor incertidumbre combinada está asociada a la utilización de factores de emisión por defecto.

Tabla 5.19.

Cultivo del arroz: valores de incertidumbre utilizados e incertidumbre combinada

Categorías de fuente de GEI	GEI	Incertidumbre de los DA	Incertidumbre del FE	Incertidumbre combinada
Irrigadas	CH ₄	28.0%	230.0%	231.7%
Alimentadas a lluvia	CH ₄	28.0%	230.0%	231.7%

Nota: con fines conservadores y de reporte, cuando el rango de incertidumbre fue asimétrico, se aplicó el valor más distante de la media. Los valores asimétricos pueden consultarse en el Anexo 2.

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en el *Refinamiento de 2019*.

Debido a que la fuente de información del periodo 1990-2011 es distinta al periodo 2012-2018, por la disponibilidad de mejores datos de actividad proveídos por ARROZGUA para este último periodo, es que aplicó la técnica de empalme de datos sustitutos para asegurar una coherencia de la serie temporal. Así mismo, se utilizó el *Refinamiento de 2019* y los mismos factor de emisión y ajuste para todo el periodo 1990-2018.

5.4.4. Actividades de GCCV de la categoría

Las actividades de GCCV aplicadas a la categoría fue la compilación y centralización en una sola hoja de trabajo de todos los factores de emisión y factores de ajuste para luego vincularlas directamente a las hojas de trabajo, de esta forma se permite una rápida revisión y actualización.

5.4.5. Nuevos cálculos de la categoría

El INGEI actual utilizó mejores datos de actividad para el periodo 2012-2018 y un ajuste al periodo de cultivo, ambos proveídos por la ARROZGUA. Con base en lo anterior, se realizó la desagregación de la superficie cosechada por régimen hídrico durante el cultivo para el periodo 1990-2018. Así mismo, se realizó un refinamiento metodológico utilizando los factores de emisión del *Refinamiento de 2019*. Las diferencias se deben principalmente a las mejoras en los datos de actividad y factores de ajuste (Tabla 5.20).

Tabla 5.20.

Cultivo de arroz: comparación entre los totales anuales de los inventarios (kt CO₂ eq)

INGEI	1990	2000	2005
INGEI - 2CN	2.9	0.4	7.6
INGEI - 1IBA	27.6	28.4	17.7
Diferencia	24.7	28.0	10.1
Diferencia porcentual	851.0%	6,994.4%	132.9%

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en la 2CN de Guatemala.

5.4.6. Plan de mejora de la categoría

Para esta categoría se contempla acompañar los procesos de realización de censos y encuestas nacionales, velando por la inclusión de los datos de actividad requeridos para la estimación de emisiones en esta categoría. Estas mejoras planificadas dependerán en gran medida de las prioridades y el apoyo nacional e internacional que reciba el país.

5.5. Suelos agrícolas (FCR 3.D)

5.5.1. Descripción y tendencia de los GEI de la categoría

En la mayoría de los suelos, un incremento del nitrógeno disponible aumenta las tasas de nitrificación y desnitrificación que, a su vez, incrementan la producción N₂O. Los aumentos del nitrógeno disponible pueden producirse por agregados de nitrógeno inducidos por el hombre o por cambios en el uso de la tierra y en las prácticas de gestión que mineralicen el N orgánico del suelo. En la metodología, se incluyen las siguientes fuentes de N para estimar las emisiones directas de N₂O de suelos manejados:

- N de fertilizantes inorgánicos (F_{SN});
- N orgánico aplicado como fertilizante (p. ej., estiércol animal, compost, lodos cloacales, desechos) (F_{ON});
- N de la orina y el estiércol depositado en las pasturas, praderas y prados por animales de pastoreo (F_{PRP});
- N en residuos agrícolas (aéreos y subterráneos), incluidos los cultivos fijadores de N y de forrajes durante la renovación de las pasturas (F_{CR});
- La mineralización de N relacionada con la pérdida de materia orgánica del suelo como resultado de cambios en el uso de la tierra o en la gestión de suelos minerales (F_{SOM}); y,
- el drenaje/la gestión de suelos orgánicos (es decir, Histosoles) (F_{OS}).

En Guatemala ocurren actividades relacionadas a todas las fuentes de emisiones mencionadas, aunque no se cuenta con datos de actividad para la mayoría de ellos. Por lo anterior, no se estimaron las emisiones por F_{SOM} ni F_{OS}.

Las emisiones por *suelos agrícolas* para 2018 suman 1,532.6 kt CO₂ eq, que representa el 23.4 % de las emisiones totales de GEI del sector Agricultura. Las emisiones de GEI se han incrementado en un 107.1 % desde 1990 y en un 44.1 % desde 2005 debido principalmente a la demanda de fertilizantes nitrogenados para actividades agrícolas y la dinámica de la población de ganado en el país, ambos asociados a la demanda de productos agropecuarios (Tabla 5.21).

Con respecto a la participación de cada subcategoría, las *emisiones directas de N₂O* representan el 68.6 % de las emisiones de la categoría, el restante 31.4 % se deben a las *emisiones indirectas de N₂O* (volatilización y lixiviación) (Figura 5.6).

Tabla 5.21.

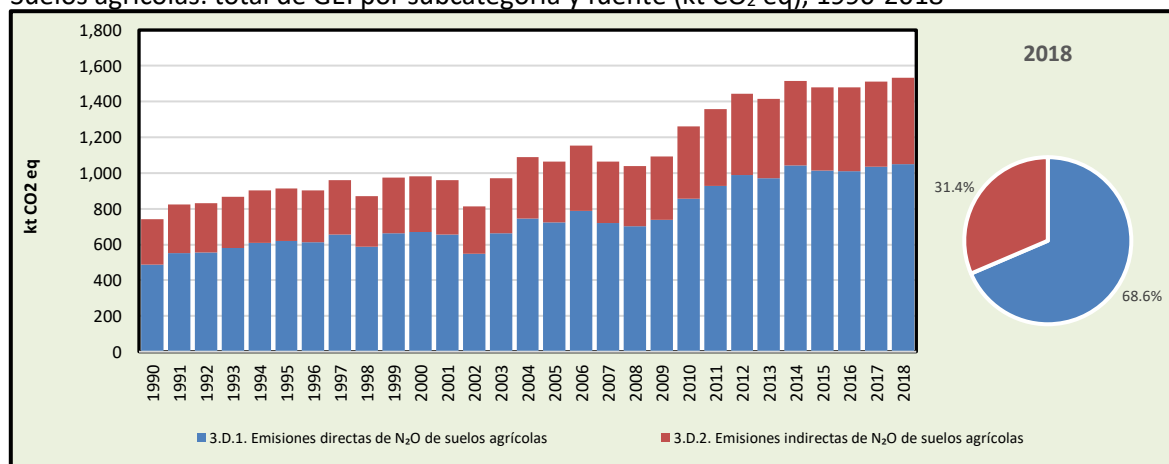
Suelos agrícolas: total de GEI por subcategoría y fuente (kt CO₂ eq)

Subcategoría y fuente	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
3.D.1. Emisiones directas de N ₂ O	488.8	618.3	669.1	724.1	855.8	1,014.3	1,010.7	1,034.8	1,050.9
3.D.1.a. Fertilizantes inorgánicos	261.6	376.1	407.2	429.8	488.6	576.3	579.3	579.3	579.3
3.D.1.b. Fertilizantes orgánicos	65.6	67.4	71.1	81.0	101.2	121.2	122.1	125.0	129.1
3.D.1.b.i. Estiércol animal aplicado a los...	61.2	62.7	64.3	75.6	95.7	106.5	109.1	111.7	114.3
3.D.1.b.iii. Otros fertilizantes orgánicos...	4.4	4.6	6.8	5.4	5.4	14.8	13.0	13.3	14.8
3.D.1.c. Orina y estiércol depositado por...	83.2	81.5	79.7	87.9	110.3	116.4	117.7	119.0	120.3
3.D.1.d. Residuos de cosechas	78.2	93.4	111.1	125.3	155.8	200.3	191.6	211.5	222.2
3.D.2. Emisiones indirectas de N ₂ O	251.1	296.6	312.6	339.2	405.2	466.5	467.3	475.4	481.7
3.D.2.a. Deposición atmosférica	87.5	99.5	102.8	111.7	134.1	151.2	152.3	153.6	155.2
3.D.2.b. Lixiviación y escurrimiento	163.6	197.1	209.8	227.5	271.1	315.4	314.9	321.8	326.5
Total	739.9	914.9	981.7	1,063.3	1,261.0	1,480.9	1,478.0	1,510.3	1,532.6

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

Figura 5.6.

Suelos agrícolas: total de GEI por subcategoría y fuente (kt CO₂ eq), 1990-2018

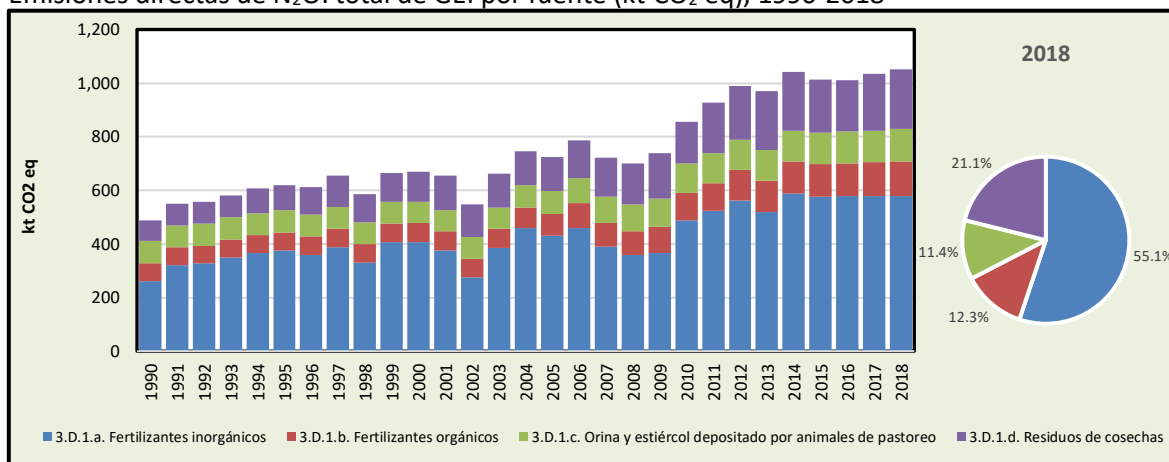


Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

En el caso de las *emisiones directas de N₂O*, las principales fuentes son *fertilizantes inorgánicos* (55.1 %), seguidos de los *residuos de cosechas* (21.1%), *fertilizantes orgánicos* (12.3 %), y la *orina y estiércol depositado por animales de pastoreo* (11.4 %) (Figura 5.7). Se destaca el incremento tanto en la cantidad de fertilizantes nitrogenados importados como de la superficie cultivada del país.

Figura 5.7.

Emisiones directas de N₂O: total de GEI por fuente (kt CO₂ eq), 1990-2018

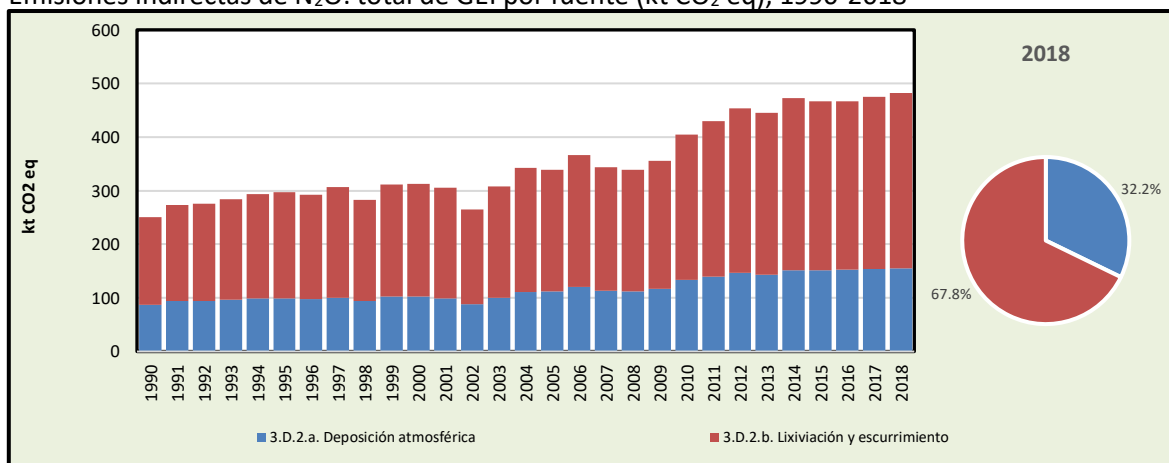


Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

En el caso de las *emisiones indirectas de N₂O*, estas están dominadas por la *lixiviación y escurrimiento* con un 67.8 %, el restante 32.2 % lo aportan la *deposición atmosférica* (volatilización) (**Figura 5.8**).

Figura 5.8.

Emisiones indirectas de N₂O: total de GEI por fuente (kt CO₂ eq), 1990-2018



Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

5.5.2. Aspectos metodológicos de la categoría

Para la estimación de óxido nítrico de *suelos agrícolas* se aplicó el método de Nivel 1 del Capítulo 10, Volumen 4 de las *Directrices del IPCC de 2006*, en específico, las Ecuaciones 11.1 y sus respectivas derivadas. En el caso particular de los *residuos de cosechas*, se aplicó la Ecuación 11.6, capítulo 11, volumen 4 del *Refinamiento de 2019* debido a las mejoras que presenta esta ecuación en comparación a la versión de las *Directrices del IPCC de 2006*.

5.5.2.1. Datos de actividad de la categoría

Los datos de actividad para *fertilizantes inorgánicos* fueron obtenidos del Registro de Insumos Agrícolas de la Dirección de Sanidad Vegetal del Viceministerio de Sanidad Agropecuaria y

Regulaciones del MAGA, correspondientes al periodo 2005-2016; para llenar los vacíos de datos del periodo 1990-2004 se realizó la técnica de empalme de datos sustitutos, utilizando la base de datos *fertilizantes por nutriente* de FAOSTAT; para el periodo 2017-2018 se mantuvo constante el valor de 2016.

Los datos de actividad para *fertilizantes orgánicos* fueron obtenidos con base en los datos de actividad de la categoría *fermentación entérica* e información provista por la Asociación Nacional del Café y el Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático. Para llenar vacíos de datos se realizaron las técnicas de empalme de datos sustitutos, interpolación y extrapolación lineal.

Los datos de actividad para *orina y estiércol depositado por animales de pastoreo* fueron obtenidos con base en los datos de actividad de la categoría *fermentación entérica*.

Los datos de actividad para *residuos de cosechas* se generaron con base en la información de la Encuesta Agrícola de Granos Básicos 1984-1986-1987 (INE, 1989), el IV Censo Nacional Agropecuario (INE, 2004), las Encuestas Nacionales Agropecuarias de 2005, 2006, 2007, 2008 y 2018 (INE, 2005a, 2006, 2007, 2008, 2018) y la base de datos del sector caña de azúcar (ICC, 2021). Para llenar vacíos de datos se realizaron las técnicas de interpolación y extrapolación lineal.

Los datos paramétricos requeridos se obtuvieron del *Refinamiento de 2019* (Cuadro 11-1A, Cap. 11, Vol. 4; Cuadro 2.6, Cap. 2, Vol. 4) y, en el caso de *caña de azúcar*, de publicaciones específicas para el cultivo (Ledo et al., 2018). Cuando las directrices del IPCC no presentan valores para un cultivo en específico se utilizaron los valores genéricos para *otros cultivos*.

Debido a falta de información al respecto, no se estimaron las emisiones por *mineralización de la materia orgánica del suelo* ni por *cultivo de suelos orgánicos*.

Los datos paramétricos utilizados se presentan en el Tabla 5.22, mientras que la Tabla 5.23 presenta la cantidad total de nitrógeno aplicado al suelo por cada una de las fuentes consideradas.

Tabla 5.22.

Suelos agrícolas: datos paramétricos para los residuos de cosecha

Tipo de cultivo	Cultivo	Proporción de ms [kg ms (kg mf) ⁻¹]	Proporción de residuos aéreos / rendimiento [kg ms ha ⁻¹ (kg ms ha ⁻¹) ⁻¹]	N residuos aéreos [kg N (kg ms) ⁻¹]	Factor de combustión	Proporción biomasa aérea / subterránea [kg ms ha ⁻¹ (kg ms ha ⁻¹) ⁻¹]	N residuos subterráneos [kg N (kg ms) ⁻¹]
Cereales	Arroz	0.89	1.4	0.007	0.8	0.16	0.009
Cereales	Maíz	0.87	1.0	0.006	0.8	0.22	0.007
Legumbres	Frijol	0.91	2.1	0.008	0.85	0.19	0.008
Caña de azúcar	Caña	0.90	0.3	0.015	0.8	0.32	0.00395

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en el *Refinamiento de 2019 de las Directrices del IPCC de 2006* y Ledo et al. (2018).

Tabla 5.23.

Suelos agrícolas: cantidad de nitrógeno aplicado al suelo por fuente (kg N), 1990-2018

Año	Fertilizante sintético (F _{SN})	Fertilizante orgánico (F _{ON})	Orina y estiércol depositado por animales de pastoreo (F _{PRP})	Residuos de cosecha (F _{CR})
1990	87,800,079.8	1,490,187.7	71,837,401.8	26,256,166.5
1991	107,774,597.9	1,444,466.0	71,538,580.4	27,058,124.9
1992	109,750,099.7	1,521,007.5	71,239,721.4	27,179,035.2
1993	117,432,606.7	1,536,203.9	70,940,895.2	27,778,090.3
1994	122,920,111.7	1,574,857.5	70,642,068.5	31,216,662.3
1995	126,212,614.7	1,552,916.9	70,343,213.2	31,328,513.5
1996	120,725,109.7	1,769,229.8	70,044,347.3	34,237,621.4
1997	129,993,505.6	1,998,500.7	69,745,489.1	39,128,436.6
1998	110,847,600.7	1,863,323.6	69,446,647.8	35,873,230.5
1999	136,090,123.7	2,161,066.7	69,147,821.6	36,263,986.5
2000	136,638,874.2	2,297,569.0	68,848,963.3	37,278,993.5
2001	126,208,224.7	1,922,349.5	68,549,692.4	43,464,471.1
2002	92,362,391.4	1,878,129.8	68,250,486.3	41,599,817.1
2003	129,581,942.8	1,797,943.9	67,951,213.8	42,906,699.5
2004	154,034,265.0	1,842,701.0	71,822,414.7	42,969,027.2
2005	144,239,068.6	1,827,961.1	75,693,585.3	42,056,457.8
2006	154,352,071.4	1,769,458.0	80,229,130.0	47,213,287.1
2007	130,742,103.7	1,830,442.3	83,251,600.1	48,540,004.3
2008	120,266,764.0	1,876,826.6	86,452,619.1	51,248,272.8
2009	122,724,273.4	1,822,262.5	90,724,576.5	56,700,556.0
2010	163,967,601.2	1,828,535.4	94,442,605.9	52,275,178.9
2011	175,701,099.5	1,909,206.1	95,454,748.1	63,297,732.6
2012	188,617,443.4	5,143,405.7	96,466,869.8	67,088,175.1
2013	174,436,883.0	5,115,896.2	97,479,040.8	73,276,319.7
2014	197,661,139.4	4,941,760.4	98,491,180.1	73,313,831.0
2015	193,399,857.6	4,966,143.9	99,565,307.2	67,227,690.3
2016	194,402,894.1	4,375,607.6	100,639,468.7	64,289,517.6
2017	194,402,894.1	4,475,302.6	101,713,600.7	70,975,872.6
2018	194,402,894.1	4,968,181.1	102,787,718.1	74,553,123.1

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en información de MAGA, FAOSTAT, ANACAFÉ, ICC e INE, entre otros.

5.5.2.2. Factores de emisión de la categoría

Para todas las fuentes de emisión de la categoría se utilizaron los factores de emisión y datos paramétricos por defecto proporcionados por el *Refinamiento de 2019* (Cuadros 11.1 y 11.3, Cap. 11, Vol. 4) (Tabla 5.24).

Tabla 5.24.

Suelos agrícolas: factores de emisión utilizados

Subcategoría	Valor por defecto	
	Valor	Unidad
EF ₁ para aportes de N de fertilizantes inorgánicos, abonos orgánicos y residuos agrícolas	0.01	kg N ₂ O-N (kg N) ⁻¹
EF _{1FR} para arrozales inundados	0.004	kg N ₂ O-N (kg N) ⁻¹
EF _{3PRP, CPP} para vacunos (lecheros y no lecheros, y búfalos), aves de corral y porcinos	0.004	kg N ₂ O-N (kg N) ⁻¹
EF _{3PRP, SO} para ovinos y «otros animales»	0.003	kg N ₂ O-N (kg N) ⁻¹
EF ₄ volatilización y deposición de N	0.010	kg N ₂ O-N (kg NH ₃ -N + NO _x -N volatilizado) ⁻¹
EF ₅ lixiviación/escurrecimiento	0.011	kg N ₂ O-N (kg N lixiviación/escurrecimiento) ⁻¹

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en el *Refinamiento de 2019*.

5.5.3. Incertidumbre y coherencia de la serie temporal de la categoría

Ante la falta de información país específica para las incertidumbres de los datos de actividad y factores de emisión, se utilizaron valores por defecto de las *Directrices del IPCC de 2006* y del *Refinamiento de 2019*.

Los valores de incertidumbre utilizados y la incertidumbre combinada se presentan en la Tabla 5.25. Se puede apreciar que la mayor incertidumbre combinada está asociada a los factores de emisión por defecto para N₂O utilizados para la estimación de las *emisiones indirectas de N₂O (deposiciones atmosféricas y lixiviación)*, en general, todos los factores de emisión por defecto de N₂O aporta una considerable incertidumbre a las estimaciones de GEI.

Tabla 5.25.

Suelos agrícolas: valores de incertidumbre utilizados e incertidumbre combinada

<i>Categorías de fuente de GEI</i>	<i>GEI</i>	<i>Incertidumbre de los DA</i>	<i>Incertidumbre del FE</i>	<i>Incertidumbre combinada</i>
Fertilizantes inorgánicos	N ₂ O	20.0%	300.0%	300.7%
Estiércol animal aplicado a los suelos	N ₂ O	65.0%	300.0%	307.0%
Otros fertilizantes orgánicos aplicados a los suelos	N ₂ O	65.0%	300.0%	307.0%
Orina y estiércol depositado por animales de pastoreo	N ₂ O	69.0%	330.0%	337.1%
Residuos de cosechas	N ₂ O	75.0%	300.0%	309.2%
Deposición atmosférica	N ₂ O	75.0%	500.0%	505.6%
Lixiviación y escurrimiento	N ₂ O	75.0%	600.0%	604.7%

Nota: con fines conservadores y de reporte, cuando el rango de incertidumbre fue asimétrico, se aplicó el valor más distante de la media. Los valores asimétricos pueden consultarse en el Anexo 2.

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en el *Refinamiento de 2019*.

Para avanzar en la coherencia de la serie temporal se aplicaron técnicas de empalme (datos sustitutos, interpolaciones y extrapolaciones lineales) en todas las subcategorías. Así mismo, se utilizó la misma metodología del *Refinamiento de 2019* y los mismos factores de emisión para todo el periodo 1990-2018.

5.5.4. Actividades de GCCV de la categoría

Las actividades de GCCV aplicadas a la categoría fueron las siguientes:

- Las bases de datos generadas para los datos de actividad fueron comparadas en al menos en dos ocasiones con los datos de las fuentes de información original.
- Como buena práctica se efectuó una verificación cruzada de los datos de actividad con la base de datos internacional de FAOSTAT.
- Los factores de emisión, conversión y constantes fueron compilados y centralizados en una sola hoja de trabajo, vinculada al resto de las hojas de trabajo. Permitiendo una rápida revisión y actualización.

5.5.5. Nuevos cálculos de la categoría

El INGEI actual realizó mejoras y correcciones a los datos de actividad y datos paramétricos de los INGEI anteriores, con base en la revisión y verificación de las mejores fuentes de información disponibles, los datos de actividad y datos paramétricos reportados y los supuestos utilizados. Así mismo, con respecto a los INGEI 1990, 1994, 2000 y 2005, se realizó un refinamiento metodológico utilizando los factores de emisión del *Refinamiento de 2019*. Las diferencias se deben principalmente a las mejoras en los datos de actividad y datos paramétricos (Tabla 5.26).

Tabla 5.26.

Suelos agrícolas: comparación entre los totales anuales de los inventarios (kt CO₂ eq)

INGEI	1990	2000	2005
INGEI - 2CN	4,042.5	3,707.4	4,476.4
INGEI - 1IBA	769.7	1,021.3	1,106.1
Diferencia	-3,272.8	-2,686.1	-3,370.3
Diferencia porcentual	-81.0%	-72.5%	-75.3%

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en la 2CN de Guatemala.

5.5.6. Plan de mejora de la categoría

Para esta categoría se contemplan las siguientes mejoras:

- Validar los datos paramétricos utilizados en las estimaciones de la categoría con los actores relacionados a cada cultivo y fuente de nitrógeno.
- Analizar la información disponible para las categorías de *mineralización de la materia orgánica del suelo y cultivo de suelos orgánicos* con los actores correspondientes para determinar la factibilidad de estimar las emisiones de dichas fuentes.
- Apoyar y acelerar los procesos de realización de censos y encuestas nacionales, velando por la inclusión de los datos de actividad de la categoría en los censos y encuestas nacionales.
- Revisar y verificar los datos de actividad de la subcategoría *fertilizantes inorgánicos* obtenidos del Registro de Insumos Agrícolas de la Dirección de Sanidad Vegetal del Viceministerio de Sanidad Agropecuaria y Regulaciones del MAGA para 2017 y 2018.

Estas mejoras planificadas dependerán en gran medida de las prioridades y el apoyo nacional e internacional que reciba el país.

5.6. Quema prescrita de sabanas (FCR 3.E)

5.6.1. Descripción y tendencia de los GEI de la categoría

Esta categoría incluye las emisiones por quema de biomasa que ocurre en los *pastizales*. Las emisiones de GEI por quemado de biomasa se producen por la combustión incompleta del combustible disponible. Las emisiones de CO₂ no se reportan bajo el supuesto que el carbono liberado es reabsorbido por la vegetación en un periodo que varía de semanas a unos pocos años después del quemado (IPCC, 2006).

En Guatemala se utiliza la quema como parte del manejo agropecuario de potreros, aunque no se cuenta con información detallada sobre la superficie quemada ni la periodicidad con que se aplica esta práctica. Así mismo, ocurren incendios por quemas no controladas, que son exacerbadas por eventos climáticos extremos.

Las emisiones para 2018 de esta categoría suman 195.6 kt CO₂ eq, representando el 3.0 % de las emisiones de GEI del sector Agricultura. Sus principales impulsores son las prácticas de manejo de potreros, quemas no controladas y los eventos climáticos extremos. Las emisiones de esta subcategoría disminuyeron en un 56.5 % desde 1990 y en un 83.0 % desde 2016. Cabe resaltar que la superficie quemada anualmente no presenta una tendencia lineal (Tabla 5.27 y Figura 5.9).

Tabla 5.27.

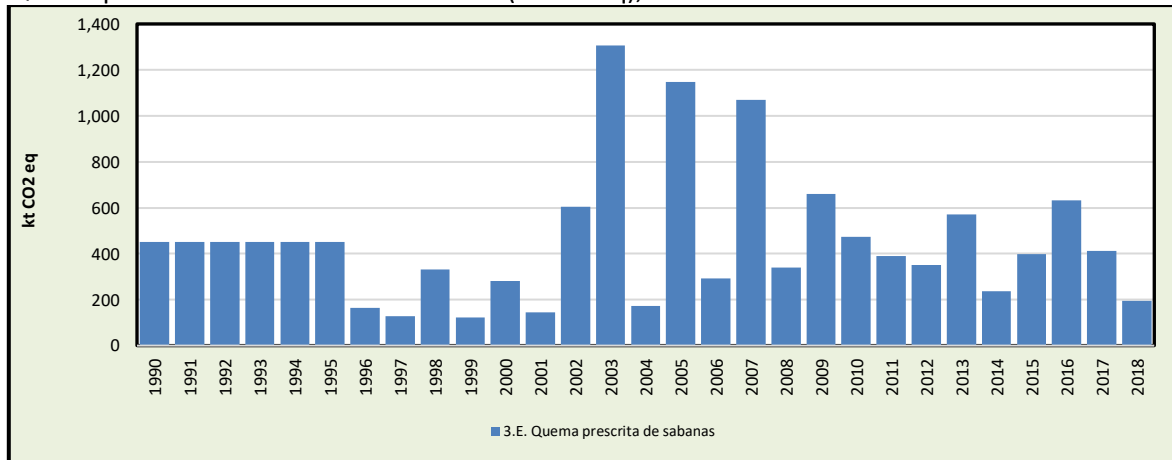
Quema prescrita de sabanas: total de GEI (kt CO₂ eq)

Subcategoría	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
3.E. Quema prescrita de sabanas	449.9	449.9	280.5	1,148.4	473.7	397.0	631.7	410.8	195.6

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

Figura 5.9.

Quema prescrita de sabanas: total de GEI (kt CO₂ eq), 1990-2018



Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

5.6.2. Aspectos metodológicos de la categoría

Para la estimación de las emisiones de esta subcategoría se aplicó el método de Nivel 1 del Capítulo 2, Volumen 4 de las *Directrices del IPCC de 2006* (Ecuación 2.27). La ecuación multiplica el factor de emisión por defecto por la superficie quemada, la masa de combustible disponible y el factor de combustión.

5.6.2.1. Datos de actividad de la categoría

Se estimaron las emisiones de GEI por quema prescrita de sabanas utilizando la base de datos internacional de FAOSTAT que deriva la superficie anual quemada por tipo de cobertura de la tierra utilizando información del sensor *NASA Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) MCD64A1 Collection 6*. Se utilizó la sumatoria de la superficie quemada para todos los tipos de cobertura de la tierra reportados por FAOSTAT para el país (Tabla 5.28).

Tabla 5.28.

Quema prescrita de sabanas: superficie total quemada (hectáreas), 1990-2018

Año	Hectáreas	Año	Hectáreas	Año	Hectáreas
1990	158,075.3	2000	98,546.6	2010	166,443.6
1991	158,075.3	2001	51,059.4	2011	136,523.4
1992	158,075.3	2002	212,790.6	2012	122,784.3
1993	158,075.3	2003	458,571.8	2013	200,957.5
1994	158,075.3	2004	60,177.8	2014	82,952.0
1995	158,075.3	2005	403,513.4	2015	139,498.8
1996	57,987.7	2006	102,829.8	2016	221,967.5
1997	45,396.2	2007	376,133.1	2017	144,359.5
1998	116,408.4	2008	119,514.1	2018	68,724.9
1999	42,712.8	2009	231,639.5		

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en información de FAO.

Como dato paramétrico se utilizó el valor de consumo de combustible provocado por incendios ($M_B \cdot C_f$), debido a que no se cuenta con información acerca de la masa de combustible disponible para combustión y su factor de combustión. Se utilizó el valor $23.7 \text{ t ms ha}^{-1}$ correspondiente a *pasturas tropicales* dentro del tipo de vegetación *pastizales de la sabana (quemadas medias/tardías de la estación seca)* (Cuadro 2.4, Cap. 2, Vol. 4, *Directrices del IPCC de 2006*)

5.6.2.2. Factores de emisión de la categoría

Se utilizaron los factores de emisión por defecto proporcionadas por las *Directrices del IPCC de 2006* (Cuadro 2.5, Cap. 2, Vol. 4) para quema de sabanas y pastizales (Tabla 5.29).

Tabla 5.29.

Quema prescrita de sabanas: factores de emisión utilizados ($\text{g kg}^{-1} \text{ ms quemada}$)

Subcategoría	Valor para CH_4	Valor para N_2O
Quema de biomasa en pastizales	2.3	0.21

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en las *Directrices del IPCC de 2006*.

5.6.3. Incertidumbre y coherencia de la serie temporal de la categoría

Ante la falta de información país específica para las incertidumbres de los datos de actividad y factores de emisión, se utilizaron valores por defecto de las *Directrices del IPCC de 2006*.

Los valores de incertidumbre utilizados y la incertidumbre combinada se presentan en la Tabla 5.30. Se puede apreciar que la incertidumbre combinada está mayormente asociada a los datos de actividad.

Tabla 5.30.

Quema prescrita de sabanas: valores de incertidumbre utilizados e incertidumbre combinada

Categorías de fuente de GEI	GEI	Incertidumbre de los DA	Incertidumbre del FE	Incertidumbre combinada
Quema prescrita de sabanas	CH_4	105.0%	50.0%	116.3%
Quema prescrita de sabanas	N_2O	105.0%	50.0%	116.3%

Nota: con fines conservadores y de reporte, cuando el rango de incertidumbre fue asimétrico, se aplicó el valor más distante de la media. Los valores asimétricos pueden consultarse en el Anexo 2.

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en las *Directrices del IPCC 2006*.

En la estimación de emisiones del periodo 1990-2018 se utilizó la misma fuente de información y los mismos factores de emisión para mantener la coherencia de la serie temporal.

5.6.4. Actividades de GCCV de la categoría

Las actividades de GCCV aplicadas a la categoría fue que todos los factores de emisión, conversión y constantes fueron compilados y centralizados en una sola hoja de trabajo, vinculada al resto de las hojas de trabajo. Permitiendo una rápida revisión y actualización.

5.6.5. Nuevos cálculos de la categoría

Se realizaron nuevos cálculos de emisiones para toda la serie temporal 1990-2018 debido a mejoras en los datos de actividad y la aplicación de un refinamiento metodológico. En los INGEI 1990, 2000 y 2005 no se especifica la fuente de información utilizada y se utilizaron las *Directrices Revisadas del IPCC de 1996*. La fuente de información utilizada en el actual INGEI ha sido actualizada y se corrigió un error en la utilización del factor de combustión (C_f) junto a los valores de consumo de combustible provocado por incendios ($M_B \cdot C_f$). Se realizó un refinamiento metodológico utilizando los factores de emisión del *Directrices del IPCC de 2006* que son indistintos a los presentados en su *Refinamiento de 2019*. Las diferencias se deben tanto a las mejoras en los datos de actividad, el refinamiento metodológico y la corrección de los datos paramétricos utilizados (Tabla 5.31).

Tabla 5.31.

Quema prescrita de sabanas: comparación entre los totales anuales de los inventarios (kt CO₂ eq)

INGEI	1990	2000	2005
INGEI - 2CN	97.7	10.4	208.0
INGEI - 1IBA	424.8	264.9	1,084.5
Diferencia	327.1	254.5	876.5
Diferencia porcentual	334.8%	2,446.7%	421.4%

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en la 2CN de Guatemala.

5.6.6. Plan de mejora de la categoría

Para esta categoría se contempla analizar la desagregación de los datos paramétricos con base en los tipos de cobertura de la tierra relacionados a esta categoría. Estas mejoras planificadas dependerán en gran medida de las prioridades y el apoyo nacional e internacional que reciba el país.

5.7. Quema de residuos agrícolas en el campo (FCR 3.F)

5.7.1. Descripción y tendencia de los GEI de la categoría

Esta categoría incluye las emisiones por el quemado de residuos agrícolas que ocurre en *tierras de cultivo*. Las emisiones de GEI por quemado de biomasa se producen por la combustión incompleta de los residuos agrícolas. Las emisiones de CO₂ no se reportan bajo el supuesto que el carbono liberado es reabsorbido por la vegetación en un periodo que varía de semanas a unos pocos años después del quemado (IPCC, 2006).

En Guatemala se utiliza la quema como parte del manejo agrícola de varios cultivos, principalmente caña de azúcar, maíz, frijol y arroz. A excepción del cultivo de caña de azúcar, no se cuenta con información detallada sobre la superficie quemada ni la periodicidad con que se aplica esta práctica en el resto de los cultivos.

Las emisiones por *quema de residuos agrícolas en el campo* para 2018 suman 171.1 kt CO₂ eq, representando el 2.6 % de las emisiones de GEI del sector Agricultura. Sus principales impulsores son la demanda creciente de los cultivos y sus prácticas de manejo. Dentro de la categoría, *caña de azúcar* representa el 77.4 % de las emisiones de 2018, seguido de *cereales* con 20.6 % y *legumbres* con el restante 2.0 %. Las emisiones de esta categoría aumentaron en un 65.8 % desde 1990 y en un 22.1 % desde 2005, derivado del aumento en la superficie cultivada con dichos cultivos y sus prácticas de manejo (Tabla 5.32 y Figura 5.10).

Tabla 5.32.

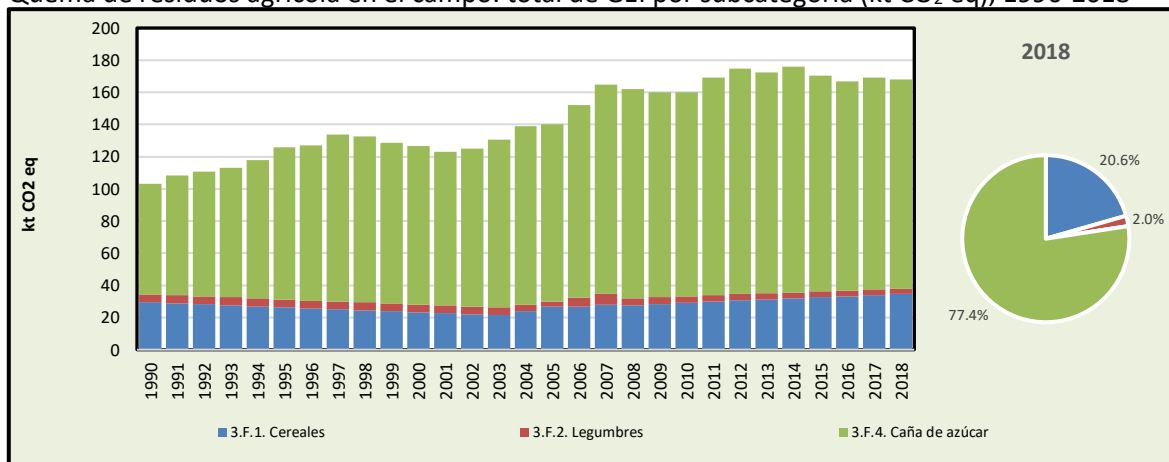
Quema de residuos agrícola en el campo: total de GEI por subcategoría (kt CO₂ eq)

Subcategoría	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
3.F.1. Cereales	29.5	26.2	23.3	26.8	29.1	32.6	33.2	33.9	34.6
3.F.2. Legumbres	4.9	4.9	4.9	3.0	4.2	3.7	3.6	3.5	3.4
3.F.4. Caña de azúcar	68.9	94.8	98.4	110.4	126.8	134.3	129.9	131.9	130.1
3.F.5. Otros (especificar)	NE	NE	NE	NE	NE	4.2	4.5	2.7	3.1
Total	103.2	125.9	126.5	140.2	160.1	174.7	171.3	171.9	171.1

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

Figura 5.10.

Quema de residuos agrícola en el campo: total de GEI por subcategoría (kt CO₂ eq), 1990-2018



Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

5.7.2. Aspectos metodológicos de la categoría

Para la estimación de las emisiones de esta subcategoría se aplicó el método de Nivel 1 del Capítulo 2, Volumen 4 de las *Directrices del IPCC de 2006* (Ecuación 2.27). La ecuación multiplica el factor de emisión por defecto por la superficie quemada, la masa de combustible disponible y el factor de combustión.

5.7.2.1. Datos de actividad de la categoría

Los datos de actividad para *quema de residuos agrícolas en campo* se obtuvieron de las siguientes fuentes de información: Encuesta Agrícola de Granos Básicos 1984-1986-1987, el IV Censo Nacional Agropecuario, las ENA de 2005, 2006, 2007, 2008 y 2018 y la base de datos del sector caña de azúcar (Tabla 5.33). Para llenar vacíos de datos se realizaron las técnicas de interpolación y extrapolación lineal. Se estimaron las emisiones de GEI para los cultivos priorizados por las ENA, que son para los únicos cultivos que se ha generado información después de 2013. Debido a cambios metodológicos

en las ENA, a partir de 2014 se dejó de registrar la superficie cultivada en asocio (p.ej. asocio maíz-frijol), a pesar de ser una práctica común en el país. A partir de 2014, los residuos agrícolas disponibles para combustión podrían sobreestimarse en un 3.1 %, con base en la proporción de la masa disponible para combustión del asocio maíz-frijol en 2013.

Para estimar la superficie quemada, se asumió que se quema en los campos el 30 % de los residuos agrícolas. Esta suposición considera: a) que el IPCC sugiere que la cifra de superficie quemada asciende a 25 % en los países en desarrollo (IPCC 2000, Apéndice 4A.2); b) que se asume una distribución equitativa del rendimiento, por lo que el 25 % de la superficie se quema (FAO, 2017); y c) que es una práctica común en el país, que fácilmente podría superar el 25 % que sugiere el IPCC.

Para *caña de azúcar*, los datos de superficie quemada para el periodo 1990-2018 fueron provistos por el ICC. En este cultivo, *prequema* se refiere a la quema del cultivo previo a la cosecha, y *requema* se refiere a la quema de los residuos agrícolas en campo posterior a la cosecha. Sin embargo, no se cuenta con registros de *requema* previo al 2015.

Tabla 5.33.

Quema de residuos agrícola en el campo: superficie quemada por tipo (hectáreas), 1990-2018

Año	Cereales		Legumbres	Caña de azúcar	
	Arroz	Maíz	Frijol	Prequema	Requema
1990	4,284.0	272,556.4	64,847.4	120,000.0	NE
1991	4,956.0	266,717.5	64,850.2	130,000.0	NE
1992	4,662.0	260,878.5	64,853.1	135,000.0	NE
1993	5,229.0	255,039.5	64,855.9	140,000.0	NE
1994	3,878.1	249,200.6	64,858.8	150,000.0	NE
1995	3,291.0	243,361.6	64,861.6	165,000.0	NE
1996	3,542.7	237,522.6	64,864.4	167,702.0	NE
1997	3,549.0	231,683.7	64,867.3	181,218.0	NE
1998	4,077.6	225,844.7	64,870.1	180,000.0	NE
1999	4,410.0	220,005.7	64,873.0	173,724.0	NE
2000	4,410.0	214,166.8	64,875.8	171,242.3	NE
2001	4,515.0	208,327.8	64,878.6	166,648.0	NE
2002	4,809.0	202,488.8	64,881.5	171,042.7	NE
2003	4,350.0	196,649.9	64,884.3	181,733.7	NE
2004	2,516.1	222,779.4	52,426.9	193,023.3	NE
2005	2,725.8	248,909.0	39,969.5	192,245.7	NE
2006	2,725.8	248,146.5	73,900.7	208,719.0	NE
2007	2,306.4	258,542.8	92,602.2	226,389.0	NE
2008	2,348.4	257,168.3	59,071.1	222,691.8	NE
2009	2,977.2	263,673.2	57,651.2	221,853.4	NE
2010	3,144.9	270,178.1	56,231.4	220,852.5	NE
2011	3,186.9	276,683.0	54,811.5	235,338.6	NE
2012	3,700.5	283,187.9	53,391.7	244,050.2	NE
2013	3,700.5	289,692.9	51,971.8	239,128.5	NE
2014	3,453.6	296,197.8	50,551.9	244,181.7	NE
2015	3,268.8	302,702.7	49,132.1	233,799.5	47,493.6
2016	3,207.0	309,207.6	47,712.2	226,181.7	51,258.0
2017	2,837.1	315,712.5	46,292.4	229,624.0	30,605.6
2018	2,713.5	322,217.4	44,872.5	226,511.9	35,011.5

Notas: NE = no estimada.

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en información de INE e ICC.

Para la estimación de emisiones en *cereales* y *legumbres* se utilizaron dos datos paramétricos: la *masa de combustible disponible para combustión* (M_B) y el *factor de combustión* (C_i) para cada categoría de cultivo. Para la M_B se utilizó el valor promedio del periodo 1990-2018 de la *cantidad anual de residuos agrícolas sobre el suelo* (AGR) estimado para la categoría *residuos de cosechas*

(F_{CR}). En el caso de *cereales*, que incluye *maíz* y *arroz*, se utilizó el valor promedio para *maíz* considerando que en promedio representó el 98.6 % de la superficie quemada de *cereales* durante el periodo 1990-2018. Para el C_f de estas categorías de cultivos se utilizaron los valores por defecto del *Refinamiento de 2019* (Cuadro 2.6, Cap. 2, Vol. 4). En el caso de *caña de azúcar* se utilizaron los valores por defecto validados con el ICC, correspondiente al valor de consumo de combustible provocado por incendios ($M_B \cdot C_f$) de las *Directrices del IPCC de 2006* (Cuadro 2.4, Cap. 2, Vol. 4), diferenciado para requemas con base en el dictamen de experto del personal del ICC. Los valores utilizados se presentan en la Tabla 5.34 y Tabla 5.35.

Tabla 5.34.

Quema de residuos agrícolas en el campo: masa de combustible disponible para combustión (t/ha)

Subcategoría	Valor por defecto
Cereales	1.5
Legumbres	1.0
Caña de azúcar (prequema)	6.5
Caña de azúcar (requema)	1.0

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en las *Directrices del IPCC de 2006* e ICC.

Tabla 5.35.

Quema de residuos agrícolas en el campo: factores de combustión utilizados (fracción)

Subcategoría	Valor por defecto
Cereales	0.80
Legumbres	0.85
Caña de azúcar (prequema)	1.0
Caña de azúcar (requema)	1.0

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en el *Refinamiento 2019*.

5.7.2.2. Factores de emisión de la categoría

Se utilizaron los factores de emisión por defecto proporcionadas por las *Directrices del IPCC de 2006* (Cuadro 2.5, Cap. 2, Vol. 4) para *quema de residuos agrícolas* (Tabla 5.36).

Tabla 5.36.

Quema de residuos agrícolas en el campo: factores de emisión aplicados (g GEI/kg ms quemada)

Categoría	Valor para CH_4	Valor para N_2O
Quema de residuos agrícolas	2.7	0.007

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en las *Directrices del IPCC de 2006*.

5.7.3. Incertidumbre y coherencia de la serie temporal de la categoría

Ante la falta de información país específica para las incertidumbres de los datos de actividad y factores de emisión, se utilizaron valores por defecto de las *Directrices del IPCC de 2006*.

Los valores de incertidumbre utilizados y la incertidumbre combinada se presentan en la Tabla 5.37. Se puede apreciar que la incertidumbre combinada está mayormente asociada a los valores por defecto de los factores de emisión.

Tabla 5.37.

Quema de residuos agrícola en el campo: valores de incertidumbre utilizados e incertidumbre combinada

Categorías de fuente de GEI	GEI	Incertidumbre de los DA	Incertidumbre del FE	Incertidumbre combinada
Quema de residuos agrícola en el campo	CH ₄	80.0%	100.0%	128.1%
Quema de residuos agrícola en el campo	N ₂ O	80.0%	100.0%	128.1%

Nota: con fines conservadores y de reporte, cuando el rango de incertidumbre fue asimétrico, se aplicó el valor más distante de la media. Los valores asimétricos pueden consultarse en el Anexo 2.

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en las *Directrices del IPCC 2006*.

Se aplicaron técnicas de empalme (interpolaciones y extrapolaciones lineales) en todas las subcategorías para avanzar en la coherencia de la serie temporal. En todos los casos se utilizó las mismas metodologías de las *Directrices del IPCC de 2006* y los mismos factores de emisión y datos paramétricos para todo el periodo 1990-2018.

5.7.4. Actividades de GCCV de la categoría

Las actividades de GCCV aplicadas a la categoría fueron las siguientes:

- Las bases de datos generadas para los datos de actividad fueron comparadas en al menos en dos ocasiones con los datos de las fuentes de información original.
- Como buena práctica se efectuó una verificación cruzada de los datos de actividad con la base de datos internacional de FAOSTAT.
- Los factores de emisión, conversión y constantes fueron compilados y centralizados en una sola hoja de trabajo, vinculada al resto de las hojas de trabajo. Permitiendo una rápida revisión y actualización.

5.7.5. Nuevos cálculos de la categoría

El INGEI actual realizó mejoras a los datos de actividad, un refinamiento metodológico y correcciones a los datos paramétricos de los INGEI anteriores, con base en la revisión y verificación de las mejores fuentes de información disponibles. En los INGEI 1990, 2000 y 2005 no se especifica la fuente de información utilizada y se utilizaron las *Directrices Revisadas del IPCC de 1996*. Con respecto al INGEI actual, se corrigió un error en la utilización del factor de combustión (C_f) junto a los valores de consumo de combustible provocado por incendios ($M_B \cdot C_f$). Se realizó un refinamiento metodológico utilizando los factores de emisión del *Directrices del IPCC de 2006* que son indistintos a los presentados en su *Refinamiento de 2019*. Las diferencias se deben tanto a las mejoras en los datos de actividad, el refinamiento metodológico y la corrección de los datos paramétricos utilizados (Tabla 5.38).

Tabla 5.38.

Quema de residuos agrícolas en campo: comparación entre los totales anuales de los inventarios (kt CO₂ eq)

INGEI	1990	2000	2005
INGEI - 2CN	123.5	55.1	64.6
INGEI - 1IBA	91.6	112.2	124.4
Diferencia	-31.9	57.1	59.8
Diferencia porcentual	-25.8 %	103.7 %	92.5 %

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en la 2CN de Guatemala.

5.7.6. Plan de mejora de la categoría

Para esta categoría se contempla validar los datos paramétricos para todos los cultivos con los expertos pertinentes, otras bases de datos y estudios publicados. Estas mejoras planificadas dependerán en gran medida de las prioridades y el apoyo nacional e internacional que reciba el país.

5.8. Encalado (FCR 3.G)

El encalado de suelos es una práctica que consiste en la aplicación de sales básicas para controlar la acidez del suelo con el objeto de incrementar y sostener los rendimientos agrícolas. La aplicación de carbonatos a los suelos emite CO₂, ya que las sales se disuelven y liberan bicarbonato, que se convierte en CO₂ y agua. Esta categoría incluye las emisiones de GEI debido a la aplicación de cal en suelos agrícolas, suelos de bosques manejados o lagos. Específicamente, se incluyen emisiones por la aplicación de piedra caliza cálcica o dolomita. Se debe tomar en cuenta que, aunque la cal constituya el material de encalado dominante utilizado en sistemas manejados, hay óxidos (p. ej., CaO) e hidróxidos de cal que se emplean de manera limitada para encalado de suelos. Estos materiales no contienen carbono inorgánico y no se incluyen en los cálculos para estimar las emisiones de CO₂ por aplicación a suelos (IPCC, 2006).

En Guatemala, el encalado es una práctica de manejo de suelos que ocurre, pero no se cuenta con registros ni estadísticas al respecto que permitan estimar las emisiones de GEI para esta categoría. Por lo tanto, se contempla fortalecer la coordinación interinstitucional con los actores del sector de producción, distribución y venta de cal para recopilar y generar los datos de actividad requeridos para estimar las emisiones de esta categoría.

5.9. Aplicación de urea (FCR 3.H)

5.9.1. Descripción y tendencia de los GEI de la categoría

La aplicación 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 se convierte en amonio, ion hidroxilo, y bicarbonato en presencia de agua y de enzimas de ureasa. De manera similar a la reacción del suelo cuando se le agrega cal, el bicarbonato que se forma se convierte en CO₂ y agua. Esta categoría de fuente se incluye porque la absorción de CO₂ de la atmósfera durante la fabricación de urea se estima en el sector IPPU (IPCC, 2006).

En Guatemala, la aplicación de urea es una práctica agrícola que ocurre comúnmente como parte de las actividades de fertilización de los cultivos.

Las emisiones por *aplicación de urea* para 2018 suman 37.3 kt CO₂ eq, representando el 0.6 % de las emisiones de GEI del sector Agricultura (Tabla 5.39 y Figura 5.11). Su principal impulsor es la demanda de urea para la fertilización de cultivos. Las emisiones de esta categoría aumentaron en un 257.8 % desde 1990 y en un 11.2 % desde 2005 derivado del aumento en la superficie cultivada en el país.

Tabla 5.39.

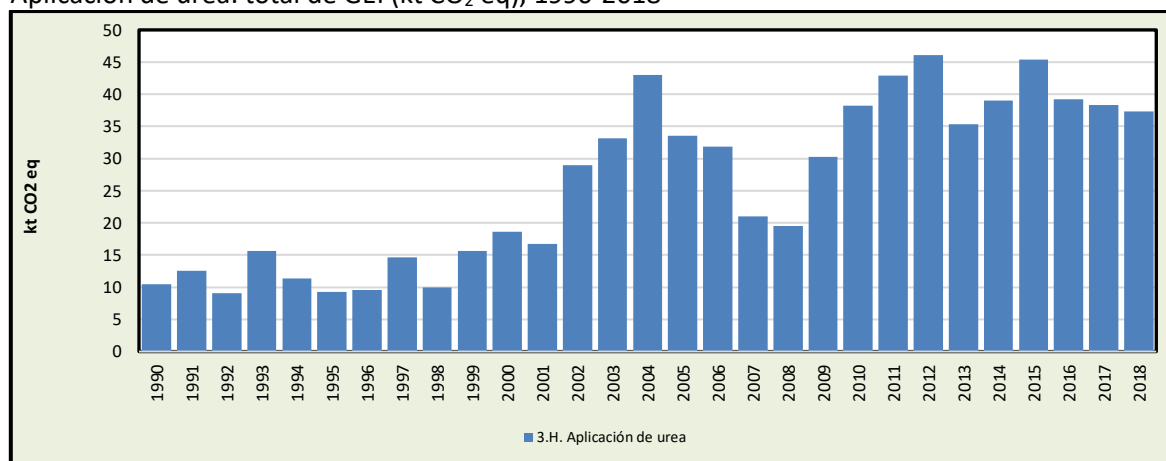
Aplicación de urea: total de GEI (kt CO₂ eq)

Categoría	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
3.H. Aplicación de urea	10.4	9.3	18.6	33.6	38.2	45.4	39.3	38.3	37.3

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

Figura 5.11.

Aplicación de urea: total de GEI (kt CO₂ eq), 1990-2018



Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

5.9.2. Aspectos metodológicos de la categoría

Para la estimación de las emisiones de esta subcategoría se aplicó el método de Nivel 1 del Capítulo 11, Volumen 4 de las *Directrices del IPCC de 2006* (Ecuación 11.13). La ecuación multiplica el factor de emisión por defecto por la cantidad de urea aplicada al suelo.

5.9.2.1. Datos de actividad de la categoría

Los datos de actividad para esta categoría fueron estimados con base en el Registro de Insumos Agrícolas de la Dirección de Sanidad Vegetal del Viceministerio de Sanidad Agropecuaria y Regulaciones del MAGA, que reporta datos para el periodo 2005-2018. Para llenar vacíos de datos se realizó la técnica de empalme de datos sustitutos, utilizando la base de datos *fertilizantes por nutriente* de FAOSTAT (Tabla 5.40).

Tabla 5.40.

Aplicación de urea: cantidad anual de fertilización con urea (toneladas), 1990-2018

Año	Toneladas	Año	Toneladas	Año	Toneladas
1990	52,142.7	2000	92,950.0	2010	190,880.2
1991	62,571.2	2001	83,881.7	2011	214,592.7
1992	45,341.5	2002	144,665.4	2012	230,511.0
1993	78,214.0	2003	165,822.8	2013	176,658.1
1994	56,676.8	2004	214,863.0	2014	195,121.2
1995	46,475.0	2005	167,798.6	2015	227,110.1
1996	47,608.5	2006	159,468.0	2016	196,312.9
1997	73,055.3	2007	105,030.7	2017	191,429.5
1998	49,875.6	2008	97,345.4	2018	186,546.1
1999	78,214.0	2009	151,322.3		

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en el MAGA y FAO.

5.9.2.2. Factores de emisión de la categoría

Se utilizó el factor de emisión por defecto proporcionado por las *Directrices del IPCC de 2006* (Sección 11.4.2, Cap. 11, Vol. 4) y que corresponde a 0.20 t C/t urea.

5.9.3. Incertidumbre y coherencia de la serie temporal de la categoría

Ante la falta de información país específica para las incertidumbres de los datos de actividad y factores de emisión, se utilizaron valores por defecto de las *Directrices del IPCC de 2006*.

Los valores de incertidumbre utilizados y la incertidumbre combinada se presentan en la Tabla 5.41. Se puede apreciar que la incertidumbre combinada está mayormente asociada a los valores por defecto de los factores de emisión.

Tabla 5.41.

Aplicación de urea: valores de incertidumbre utilizados e incertidumbre combinada

Categorías de fuente de GEI	GEI	Incertidumbre de los DA	Incertidumbre del FE	Incertidumbre combinada
Aplicación de urea	CO ₂	20.0%	50.0%	53.9%

Nota: con fines conservadores y de reporte, cuando el rango de incertidumbre fue asimétrico, se aplicó el valor más distante de la media. Los valores asimétricos pueden consultarse en el Anexo 2.

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en las *Directrices del IPCC 2006*.

En la estimación de emisiones del periodo 1990-2018 se utilizó la misma fuente de información y factor de emisión para mantener la coherencia de la serie temporal. Se utilizó la técnica de empalme de datos sustitutos para el llenado de vacíos de datos de actividad.

5.9.4. Actividades de GCCV de la categoría

Las actividades de GCCV aplicadas a la categoría fue la compilación y centralización de todos los factores de emisión, conversión otros parámetros en una sola hoja, la cual está vinculada al resto de las hojas de trabajo. Permitiendo una rápida revisión y actualización.

5.9.5. Nuevos cálculos de la categoría

Esta categoría no fue estimada en la 2CN, por lo tanto, no es posible comparar resultados.

5.9.6. Plan de mejora de la categoría

No se han planificado mejoras para esta subcategoría.

5.10. Otros fertilizantes que contienen carbono (FCR 3.I)

En Guatemala se aplican al suelo otros fertilizantes que contienen carbono y carbono orgánico, pero no hay datos disponibles que permitan estimar las emisiones de GEI para esta categoría. Por lo tanto, se contempla analizar si la información disponible en el balance de importaciones y exportaciones de fertilizantes permite extraer información sobre la cantidad de fertilizantes con contenido de carbono disponible para su aplicación en el país.

CAPÍTULO 6: SECTOR USO DE LA TIERRA, CAMBIO DE USO DE LA TIERRA Y SILVICULTURA (FCR 4)

6.1. Panorama general del sector

6.1.1. Descripción del sector

Este sector incluye las emisiones y absorciones de seis categorías de uso de la tierra (*tierras forestales* [TF], *tierras de cultivo* [TC], *pastizales* [PA], *humedales* [HU], *asentamientos* [AS] y *otras tierras* [OT]) y de los *productos de la madera recolectada* (PMR). Exceptuando los *humedales*, el inventario de GEI implica la estimación de los cambios en las existencias de carbono de cinco depósitos de carbono (biomasa sobre la superficie, biomasa debajo de la superficie, madera muerta, hojarasca y materia orgánica del suelo) en la medida en que fuera adecuado (IPCC, 2006).

En Guatemala se contabilizan y reportan las emisiones de todas las categorías del uso de la tierra, pero solo para los depósitos de biomasa sobre y debajo de la superficie. Así mismo, no se ha estimado el CO₂ de los PMR debido a la falta de información específica.

6.1.2. Tendencia de los GEI del sector

En 2018, el balance de GEI del sector UTCUTS fue 30,513.1 kt CO₂, 8.6 kt CH₄ y 0.3 kt N₂O (Tabla 6.1). En general, destaca la categorías *tierra forestales* como la mayor fuente de emisiones netas de CO₂ del sector.

Tabla 6.1.

Sector UTCUTS: emisiones y absorciones por GEI, categoría y subcategoría para 2018

Código	Categorías de fuente y sumidero de GEI	CO ₂ (kt)	CH ₄ (kt)	N ₂ O (kt)
4.	Uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura	30,513.1	8.6	0.3
4.A.	Tierras forestales	16,036.8	8.6	0.3
4.A.1.	Tierras forestales que permanecen como tales	26,731.6	8.6	0.3
4.A.2.	Tierras convertidas en tierras forestales	-10,694.8	NO	NO
4.A.2.a.	Tierras de cultivo convertidas en tierras forestales	-1,136.4	NO	NO
4.A.2.b.	Pastizales convertidos en tierras forestales	-9,558.4	NO	NO
4.A.2.c.	Humedales convertidos en tierras forestales	NO	NO	NO
4.A.2.d.	Asentamientos convertidos en tierras forestales	NO	NO	NO
4.A.2.e.	Otras tierras convertidas en tierras forestales	NO	NO	NO
4.B.	Tierras de cultivo	3,475.3	NO, IE	NO, IE
4.B.1.	Tierras de cultivo que permanecen como tales	146.5	IE	IE
4.B.2.	Tierras convertidas en tierras de cultivo	3,328.7	NO	NO
4.B.2.a.	Tierras forestales convertidas en tierras de cultivo	3,331.3	NO	NO
4.B.2.b.	Pastizales convertidos en tierras de cultivo	3.5	NO	NO
4.B.2.c.	Humedales convertidos en tierras de cultivo	-1.2	NO	NO
4.B.2.d.	Asentamientos convertidos en tierras de cultivo	-1.9	NO	NO
4.B.2.e.	Otras tierras convertidas en tierras de cultivo	-3.0	NO	NO
4.C.	Pastizales	10,396.0	NO, IE	NO, IE
4.C.1.	Pastizales que permanecen como tales	NE	IE	IE
4.C.2.	Tierras convertidas en pastizales	10,396.0	NO	NO
4.C.2.a.	Tierras forestales convertidas en pastizales	10,388.1	NO	NO
4.C.2.b.	Tierras de cultivo convertidas en pastizales	42.5	NO	NO
4.C.2.c.	Humedales convertidos en pastizales	-13.4	NO	NO
4.C.2.d.	Asentamientos convertidos en pastizales	-1.9	NO	NO

Anexo técnico del IBA de Guatemala: Informe del Inventario Nacional 2022

Código	Categorías de fuente y sumidero de GEI	CO ₂ (kt)	CH ₄ (kt)	N ₂ O (kt)
4.C.2.e.	Otras tierras convertidas en pastizales	-19.2	NO	NO
4.D.	Humedales	90.9	NE, NO	NE, NO
4.D.1.	Humedales que permanecen como tales	NE	NE	NE
4.D.2.	Tierras convertidas en humedales	90.9	NO	NO
4.D.2.a.	Tierras forestales convertidas en humedales	78.6	NO	NO
4.D.2.b.	Tierras de cultivo convertidas en humedales	3.5	NO	NO
4.D.2.c.	Pastizales convertidos en humedales	8.8	NO	NO
4.D.2.d.	Asentamientos convertidos en humedales	NO	NO	NO
4.D.2.e.	Otras tierras convertidas en humedales	NO	NO	NO
4.E.	Asentamientos	167.6	NE, NO	NE, NO
4.E.1.	Asentamientos que permanecen como tales	NE	NE	NE
4.E.2.	Tierras convertidas en asentamientos	167.6	NO	NO
4.E.2.a.	Tierras forestales convertidas en asentamientos	122.6	NO	NO
4.E.2.b.	Tierras de cultivo convertidas en asentamientos	24.0	NO	NO
4.E.2.c.	Pastizales convertidos en asentamientos	21.1	NO	NO
4.E.2.d.	Humedales convertidos en asentamientos	NO	NO	NO
4.E.2.e.	Otras tierras convertidas en asentamientos	NO	NO	NO
4.F.	Otras tierras	346.4	NE, NO	NE, NO
4.F.1.	Otras tierras que permanecen como tales	NE	NE	NE
4.F.2.	Tierras convertidas en otras tierras	346.4	NO	NO
4.F.2.a.	Tierras forestales convertidas en otras tierras	307.8	NO	NO
4.F.2.b.	Tierras de cultivo convertidas en otras tierras	3.5	NO	NO
4.F.2.c.	Pastizales convertidos en otras tierras	35.1	NO	NO
4.F.2.d.	Humedales convertidos en otras tierras	NO	NO	NO
4.F.2.e.	Asentamientos convertidos en otras tierras	NO	NO	NO
4.G.	Productos de madera recolectada	NE		
4.H.	Otros (especificar)	NO	NO	NO

Nota 1: NA = no aplica; NE = no estimado; NO = no ocurre; IE = incluido en otro lugar; C = confidencial.

Nota 2: los GEI reportados como 0.0 corresponden a valores menores a 0.04 kt CO₂ eq.

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

El sector UTCUTS representó un 49.6 % del balance nacional en 2018. En el mismo año, las emisiones netas alcanzaron los 30,804.0 kt CO₂ eq, decreciendo en un 2.7 % desde 1990 y en un 6.7 % con respecto al 2005 (Tabla 6.2 y Figura 6.1). El sector presenta un decrecimiento general del balance tendiente a las emisiones a través de la serie temporal debido al aumento de las tierras que se convierten en *tierras forestales*. Así mismo, se observa una variación significativa del balance en 2003, año en el que se reportaron los mayores incendios en las *tierras forestales*.

Con respecto a la participación de cada una de las categorías de uso de la tierra, las *tierras forestales* son la de mayor relevancia representando un 53.0 %, le sigue con un 33.7 % los *pastizales*, un 11.3 % de las *tierras de cultivo*, un 1.1 % de *otras tierras* y, finalmente, con menos del 1.0 % la suma de *humedales* y *asentamientos*. Es muy importante mencionar que los bosques del país actúan como un emisor neto de CO₂, situación generada debido a la deforestación y degradación forestal.

Tabla 6.2.

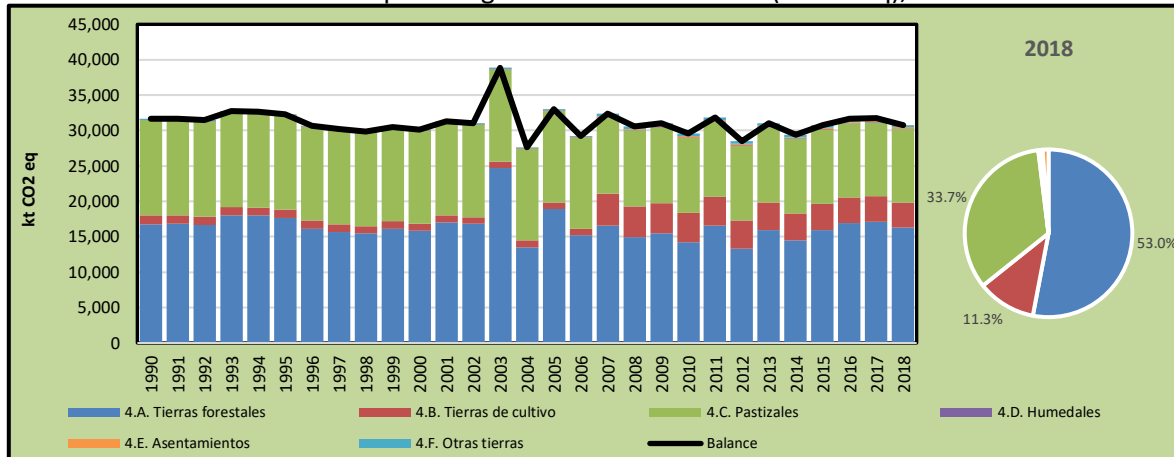
Sector UTCUTS: balance de GEI por categoría de uso de la tierra (kt CO₂ eq)

Categoría de uso de la tierra	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
4.A. Tierras forestales	16,774.8	17,689.7	15,842.4	18,952.4	14,202.9	15,959.3	16,974.6	17,114.0	16,327.8
4.B. Tierras de cultivo	1,218.0	1,114.8	1,011.6	908.4	4,175.0	3,695.8	3,595.9	3,575.2	3,475.3
4.C. Pastizales	13,450.4	13,275.4	13,100.3	12,925.3	10,617.3	10,494.2	10,462.6	10,427.6	10,396.0
4.D. Humedales	67.2	67.2	67.2	67.2	90.9	90.9	90.9	90.9	90.9
4.E. Asentamientos	18.3	18.3	18.3	18.3	167.6	167.6	167.6	167.6	167.6
4.F. Otras tierras	132.3	132.3	132.3	132.3	346.4	346.4	346.4	346.4	346.4
Balance	31,661.0	32,297.6	30,172.1	33,003.8	29,600.1	30,754.3	31,638.1	31,721.8	30,804.0

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

Figura 6.1.

Sector UTCUTS: balance de GEI por categoría de uso de la tierra (kt CO₂ eq), 1990-2018



Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

Respecto a las emisiones por tipo de GEI, estas estuvieron representadas por un muy significativo 99.1 % de CO₂, mientras que el CH₄ y el N₂O representaron en conjunto solo el 0.9 % (Tabla 6.3 y Figura 6.2), estos últimos dos gases relacionados con las emisiones por las áreas de incendios forestales reportadas anualmente en el país.

Tabla 6.3.

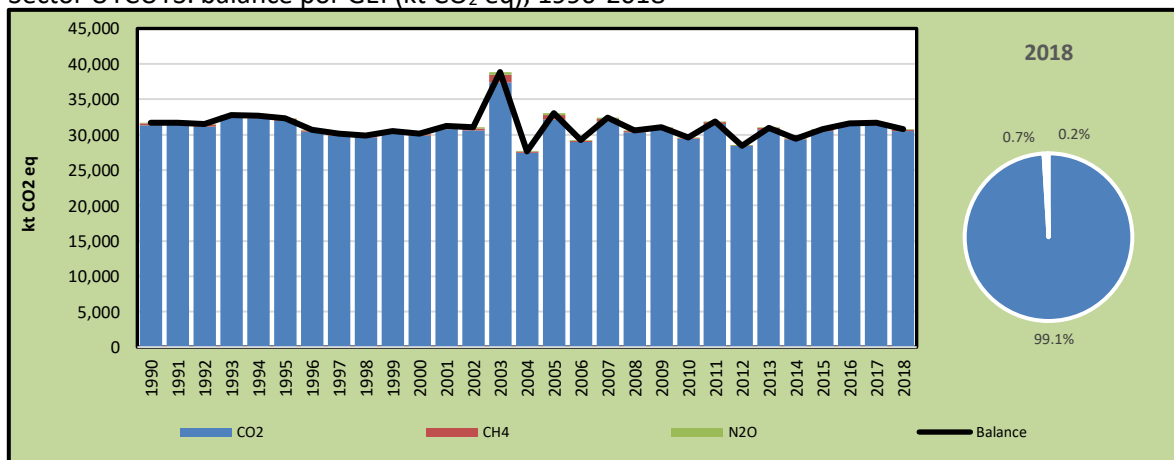
Sector UTCUTS: balance por GEI (kt CO₂ eq)

GEI	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
CO ₂	31,370.1	32,006.7	29,881.1	32,155.9	29,420.5	30,501.4	31,272.1	31,327.2	30,513.1
CH ₄	215.4	215.4	215.4	627.8	133.0	187.2	271.0	292.1	215.4
N ₂ O	75.5	75.5	75.5	220.1	46.6	65.6	95.0	102.4	75.5
Balance	31,661.0	32,297.6	30,172.1	33,003.8	29,600.1	30,754.3	31,638.1	31,721.8	30,804.0

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

Figura 6.2.

Sector UTCUTS: balance por GEI (kt CO₂ eq), 1990-2018



Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

6.1.3. Aspectos metodológicos del sector

Para la estimación de las emisiones y absorciones de GEI del sector UTCUTS se utilizaron los métodos de Nivel 1 y 2 del Volumen 4 de las *Directrices del IPCC de 2006*⁸, aplicando el método de Nivel 2 cuando se contó con información de datos de actividad y factores de emisión específicos del país.

La metodología genérica aplicada a múltiples categorías de uso de la tierra se basó en los cambios en las existencias de carbono en el ecosistema, se estiman para cada una de las categorías de uso de la tierra, incluyendo tanto las tierras que permanecen como tales (uso de la tierra) como las tierras convertidas a otra categoría de uso de la tierra (cambio de uso de la tierra). Los cambios en las existencias de carbono se resumen en la Ecuación 2.1, Capítulo 2, Volumen 4 de las *Directrices del IPCC de 2006*.

Para cada una de las categorías de uso de la tierra, los cambios en las existencias de carbono se estiman respecto a todos los estratos o subdivisiones de la superficie de la tierra seleccionados para una categoría de uso de la tierra, entre los cinco depósitos de carbono (biomasa [biomasa aérea y biomasa subterránea], materia orgánica muerta [madera muerta y hojarasca], y suelos [materia orgánica del suelo]). En general, los cambios en las existencias de carbono dentro de un estrato se estiman sumando los cambios de todos los depósitos, como se resume en la Ecuación 2.3, Capítulo 2, Volumen 4. Debido a la disponibilidad de información, se realizaron únicamente estimaciones para los cambios en la existencia de carbono de la biomasa. Para los depósitos de materia orgánica muerta y suelos se asume el supuesto por defecto de que estos depósitos se mantienen en equilibrio, por lo tanto, no fueron estimados.

En el caso del cambio en la existencia de carbono de la biomasa (biomasa aérea y subterránea), tanto para las tierras que permanecen en la misma categoría de uso y para las tierras que se convierten en una nueva categoría de uso, se aplicó el método de pérdidas y ganancias, el cual requiere que la pérdida de carbono de la biomasa se reste de la ganancia de carbono (Ecuación 2.7, Capítulo 2, Volumen 4). El incremento anual de existencias de carbono en la biomasa se estimó aplicando la Ecuación 2.9 y la Ecuación 2.10, mientras que la reducción anual de carbono en biomasa debido a pérdidas se estimó aplicando la Ecuación 2.11, incluyendo *pérdidas de biomasa y de carbono por la remoción de bosques* (cosecha) (Ecuación 2.12), *pérdidas de biomasa y carbono por remociones de madera combustible* (leña) (Ecuación 2.13) y *pérdidas de biomasa y de carbono por perturbaciones* (principalmente incendios) (Ecuación 2.14 y Ecuación 2.27).

Por otra parte, la representación de las tierras se realizó aplicando el método 1 cuando se contó con información espacialmente referida u obtenida a partir de bases de datos disponible en el país y el método 2 cuando se contó con información espacialmente explícita, como es el caso de la información de cambios de uso de la tierra (ver Sección).

Los principales datos de actividad utilizados corresponden a las áreas de cambios de uso de la tierra para la serie 1990-2018, los cuales corresponden a una caracterización de la dinámica de cambios en el uso de la tierra realizados por el Grupo Interinstitucional de Mapeo de Bosques y Otros Usos de la Tierra (GIMBUT) y datos correspondientes a mapas de escala nacional que únicamente identifican la cobertura forestal (1991-1996, 1996-2001, 2001-2006). Otros datos de actividad, como la recogida de madera y madera combustible, son tomados a partir de las bases de datos

⁸ Disponible en <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/vol4.html>

disponibles en la plataforma FAOSTAT para toda la serie histórica y los de perturbaciones por incendios forestales son obtenidos del sistema de información general de Guatemala (SIFGUA), que hace parte de la Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres (CONRED).

Con respecto a los factores de emisión para *tierras forestales*, *tierras de cultivo* y *pastizales*, estos provienen del documento técnico *Factores de emisión para la construcción de niveles de referencia subnacional de emisiones y absorciones forestales (NRF/NREF para REDD+)* —es importante aclarar que las emisiones por perturbaciones son consideradas como parte del proceso de degradación del bosque, para lo cual se emplean factores de contenidos de carbono en la biomasa en bosques degradados—, para el resto de las categorías se utilizarán factores de emisión por defecto de las *Directrices del IPCC de 2006*. Otros parámetros y variables utilizados en el sector se encuentran en el Anexo 5.4.

Todos los cálculos del sector se realizaron a través de hojas de trabajo propias del país elaboradas con base en las *Directrices del IPCC de 2006*.

6.2. Definiciones de uso de la tierra y los sistemas de clasificación

El GIMBUT, en colaboración con la Agencia de los Estados Unidos de América para el Desarrollo Internacional (USAID) y la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), estableció las definiciones operativas para distintos procesos que requieren de información proveniente del mapeo de los bosques y el uso de la tierra, particularmente para la Estrategia Nacional de Reducción de Emisiones, los inventarios nacionales de GEI, el inventario nacional forestal y la Estrategia Nacional de Desarrollo con Bajas Emisiones, entre otros.

Las definiciones operativas establecidas fueron utilizadas por las entidades miembro del GIMBUT para desarrollar la malla de referencia de cambios de uso de la tierra 2006-2016, cuya información fue utilizada como la principal fuente de datos de actividad para el sector UTCUTS.

La Tabla 6.4 presenta las definiciones utilizadas por Guatemala para las categorías de uso de la tierra que forman parte del sector UTCUTS.

Tabla 6.4.

Definiciones de las categorías y subcategorías de uso de la tierra para el sector UTCUTS.

Categoría de uso de la tierra	Subcategorías de uso de la tierra
Tierras forestales: toda la tierra con vegetación boscosa coherente con los umbrales utilizados para definir las tierras forestales en el inventario nacional de GEI. También incluye los sistemas con una estructura de vegetación que actualmente se encuentra por debajo, pero potencialmente podría alcanzar <i>in situ</i> los valores umbrales utilizados por un país para definir la categoría de tierras forestales.	Bosque: superficie cubierta por árboles (planta leñosa con fuste y copa definida con crecimiento secundario que en su estado de madurez alcanza una altura mínima de 5 m y un diámetro mínimo 10 cm) con un mínimo de cobertura de copa del 30 % al 40 %, formando una masa continua de un mínimo de 0.5 hectáreas con un ancho mínimo de 60 m.
	Plantación forestal: áreas con árboles de uso forestal que han sido sembrados de forma artificial con distanciamientos y distribución espacial regulares, en bloques de edad y tamaño homogéneos y especies seleccionadas. Requieren un constante manejo para su crecimiento y desarrollo.
Tierras de cultivo: tierras cultivadas, incluidos los campos de arroz y sistemas agroforestales donde la estructura de la vegetación se encuentra debajo de los umbrales utilizados para la categoría bosque.	Cultivos anuales: áreas ocupadas por cultivos cuyo ciclo vegetativo es inferior a un año, llegando a ser incluso de pocos meses. Después de la cosecha es necesario volver a sembrar para seguir produciendo.
	Cultivos permanentes: cultivos herbáceos, arbustivos, arbóreos y de plantas o tallos cuyo ciclo de producción es superior a un año. Producen varias cosechas sin volverse a sembrar.

Categoría de uso de la tierra	Subcategorías de uso de la tierra
	<p>Sistemas agroforestales: cultivos permanentes en arreglos agroforestales como la combinación de café y cardamomo; café y banano; y café y macadamia. Para que se incluya en esta categoría es necesario que cuente con un porcentaje mínimo de 20 % de especies maderables, tomando en cuenta que posean valor comercial y con el fin de aumentar la producción del sistema.</p> <p>Barbecho o en descanso: zonas de tierra agrícola que se deja de sembrar periódicamente para que se regenere y se encuentra en la fase de descanso.</p>
<p>Pastizales: tierras de pastoreo, pastizales cultivados y naturales. La categoría también incluye los sistemas silvopastoriles, coherentes con las definiciones nacionales.</p>	<p>Pastos: zonas vinculadas a la explotación ganadera y está constituida por los pastos cultivados y pastos naturales con cobertura principal de gramíneas.</p> <p>Sistemas silvopastoriles: zonas en las que se combina el establecimiento de árboles con pastos para la crianza de ganado vacuno. Las especies forestales más comunes son las maderables que produzcan frutos y leña. Debe contar con al menos el 20 % de las especies maderables para que pueda ser considerado dentro de esta categoría.</p>
<p>Humedales: zonas de extracción de turba y tierras que están cubiertas o saturadas de agua durante todo el año o durante parte de este y que no están dentro de las categorías de tierras forestales, tierras de cultivo, pastizal o asentamientos. Incluye los reservorios como subdivisión gestionada y los ríos naturales y los lagos como subdivisiones no gestionadas.</p>	<p>Lago, laguna o laguneta: superficies de agua natural estancada que puede ocupar desde una a varios cientos de hectáreas.</p> <p>Río: cursos de agua natural o artificial que sirven de vías de salida de aguas, cuyo ancho permite ser presentado según la escala del mapa.</p> <p>Mar u océano: cuerpos de agua salada que bordean la zona litoral y que se extiende a partir de la línea de costa en periodo de bajamar.</p> <p>Humedales: áreas que permanecen la mayor parte del tiempo inundadas por el agua. La vegetación predominante está compuesta de especies hidrófilas. El agua dulce, salobre o salada es el principal factor que controla el medio y la vida vegetal y animal relacionada con él. Se dan en los lugares donde la capa freática se haya en o cerca de la superficie de la tierra o donde la tierra está cubierta de agua poco profunda.</p> <p>Embalse: cuerpos de agua estancada formados artificialmente, en el que generalmente se almacenan aguas de un río o arroyo para su aprovechamiento en generación de electricidad, control de caudales, riego u otros usos.</p>
<p>Asentamientos: toda la tierra desarrollada, incluidas las infraestructuras de transporte y los asentamientos humanos de cualquier tamaño, a menos que ya estén incluidos en otras categorías. Esto debe ser coherente con las definiciones nacionales.</p>	<p>Tejido urbano continuo: espacios estructurados por edificios residenciales o industriales y las vías de comunicación. Los edificios, la vialidad y las superficies recubiertas artificialmente representan más de 80 % de la superficie total. La vegetación no lineal y el suelo desnudo son excepcionales.</p> <p>Zonas urbanizadas discontinuas: espacios con agrupaciones de edificaciones residenciales que no presentan formación de cuadrantes. Por lo general, se encuentran en el área rural, dentro de un radio de 1.5 km fuera del casco urbano. Además, incluye las edificaciones comerciales e industriales que no estén ligadas al casco urbano.</p>
<p>Otras tierras: suelo desnudo, roca, hielo y todas aquellas zonas que no estén incluidas en ninguna de las otras cinco categorías.</p>	<p>Árboles dispersos: se caracteriza por tener una densidad de copas inferior al 30 %.</p> <p>Suelo desnudo: tierras desnudas y degradadas con vegetación escasa o vegetación dispersa de alta altitud, incluyen las partes altas de las faldas de los volcanes.</p> <p>No suelos: áreas en los cuales la cobertura vegetal no existe o es escasa, incluyen las siguientes categorías: playas, arenales, rocas y lavas.</p> <p>Vegetación arbustiva natural: se caracteriza por tener altitudes y diámetros de troncos menores que los bosques y por la abundancia de especies espinosas y deciduas. Se incluyen en esta categoría las áreas de las comunidades de especies xerófilas asociadas al bosque seco.</p> <p>Matorral o guamil: tierras cubiertas con plantas leñosas ramificadas, pero que no alcanzan los 5 m de altura en su madurez, se encuentran asociadas con hierbas y malezas que se ramifican desde la base y que la altura es menor de los 0.5 m.</p> <p>Páramos: terreno con predominio de vegetación de baja altura que se encuentra en zonas montañosas de gran altitud.</p>

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en el GIMBUT.

6.3. Métodos utilizados para la representación de las tierras

En Guatemala existen distintas fuentes de datos que caracterizan el uso y cambio de uso de la tierra, principalmente enfocados en la cobertura forestal. La información general del uso de la tierra y sus cambios se realizó mediante el análisis visual multitemporal de imágenes de sensores remotos de

alta y media resolución espacial, utilizando la plataforma OpenForis y sus herramientas Collect y Collect Earth. Este proceso generó una base de datos de uso y cambio de uso de la tierra 2006-2016 que ha sido utilizada para distintos propósitos, incluyendo la actualización de los Niveles de Referencia Forestal, inventarios nacionales de GEI, entre otros.

A partir del contexto de disponibilidad de datos estadísticos nacionales e internacionales, y de la base de datos 2006-2016, se ha dividido la serie 1990-2018 en dos tramos (1990-2005 y 2006-2018) utilizando una combinación del método 1 y del método 2 de representación de la tierra en línea con las *Directrices del IPCC de 2006*.

Para generar los datos correspondientes al periodo 2006-2018, se utilizó la base de datos 2006-2016 que incluye una malla compuesta por 11,369 unidades de muestreo distribuidas de forma sistemática cubriendo el territorio nacional. La base de datos de la malla de muestreo es espacialmente explícita (se conocen las coordenadas correspondientes a cada una de las unidades de muestreo que la componen) y contiene, para cada unidad de muestreo, el uso de la tierra nacional homologado a la clasificación de las categorías de uso la tierra del IPCC. A partir de esta información se derivó una matriz de uso y cambio de uso de la tierra 2006-2016, lo que corresponde al método 2 de representación de la tierra, y proporciona la capacidad de cuantificar las conversiones de superficie entre las categorías específicas de uso de la tierra.

Para efecto de los cálculos anuales, se asumió que los cambios ocurridos dentro del periodo 2006-2016 se distribuyeron equitativamente (linealmente) entre el número de años contenidos del mismo periodo 2006-2016, o sea 10 años. Los datos para 2017 y 2018 se extrapolaron a partir de la información de los cambios observados entre 2006-2016.

Para el período 1990-2005 se utilizó una representación de tierra correspondiente a la combinación del método 1 y método 2. Para generar los datos del periodo se utilizaron datos estadísticos de las superficies forestales de 1991, 1996 y 2001 extraídas de los mapas del GIMBUT, completando los años faltantes mediante interpolación. Para estimar las superficies no forestales de cada año, se restó la superficie forestal a la superficie nacional total. La desagregación de las categorías de uso de la tierra no forestales, así como la desagregación por estratos de *tierras forestales* y *tierras de cultivo*, se realizó aplicando las proporciones observadas en la matriz 2006-2016. Los datos para 1990 se extrapolaron a partir de esta información, mientras que para 2002-2005 se interpoló con el año 2006 de la matriz 2006-2016. Si bien este método permitió estimar información mínima sobre uso y cambio de uso de la tierra, basados en datos de diferentes periodos de tiempo, produce una alta incertidumbre.

En el Anexo 5.4 se incluyen las matrices de uso y cambio de uso de la tierra para cada año de la serie temporal 1990-2018. En las matrices se observan la superficie de cada uso de la tierra y sus respectivas permanencias y conversiones, resaltando en las diagonales las tierras que se mantienen en el mismo uso, mientras que las áreas por fuera de las diagonales corresponden a las superficies que se encuentran en conversión de una categoría a otra; así mismo, se observa que las sumatorias de los subtotales de cada uso anuales corresponden al área total del país (10,888,900 ha). Estas matrices han sido empleadas como datos de actividad para las estimaciones de GEI en las diferentes categorías de uso y cambio de uso del sector.

6.4. Métodos para las perturbaciones naturales

El presente inventario no incluye la estimación de emisiones de GEI o absorciones de CO₂ de las perturbaciones naturales. La única perturbación considerada en el cálculo de los GEI del sector UTCUTS fueron los incendios forestales. Según INAB, todos los años en Guatemala se sufren incendios forestales provocados, ya sea por la incorporación de nuevas tierras forestales a usos agropecuarios o bien a la quema de grandes extensiones de pastizales y en la gran mayoría de casos por la irresponsabilidad de personas, estos se convierten en un desastre forestal para el país.

6.5. Tierras forestales (FCR 4.A)

6.5.1. Descripción y tendencia de los GEI de la categoría

En esta categoría se reportan las emisiones y absorciones que se generan por los cambios en la biomasa en las tierras forestales que permanecen como tierras forestales, así como en otros usos de la tierra que se convierten en tierras forestales (ganancias en la cobertura forestal). Estas modificaciones en las cantidades de la biomasa existente pueden deberse a diferentes causas:

- Ganancias de biomasa por el crecimiento de nuevos bosques en tierras abandonadas, por el establecimiento de plantaciones forestales, que generan nuevas tierras forestales.
- Ganancias de biomasa debido al crecimiento natural de los bosques que permanecen como bosques, pero que han sufrido algún tipo de disturbio.
- Pérdidas de biomasa debido a los cambios de uso de tierras forestales a otros usos de la tierra.
- Pérdidas de biomasa debido a la extracción selectiva de leña y madera, y los incendios forestales en los bosques que se mantienen como tales.

En 2018, el balance de esta categoría contabilizó 16,327.8 kt CO₂ eq, que equivalen al 53.0 % del balance de emisiones y absorciones de GEI del sector UTCUTS. Estas emisiones han disminuido en un 3.7 % con respecto a 1990 y en un 13.8 % con respecto a 2005. En esta misma categoría se reportan las mayores absorciones del sector UTCUTS debido a los cambios en las existencias de carbono de las tierras de otros usos que se convierten en *tierras forestales* (Tabla 6.5 y Figura 6.3).

Del balance de la categoría, el 71.6 % corresponde a la subcategoría *tierras forestales que permanecen como tales* (TF-TF) y el 28,4 % corresponde a *tierras convertidas en tierras forestales* (Tierras-TF). Así mismo, se observan significativas oscilaciones —especialmente en 2003, 2005 y 2011— que se corresponden con los periodos de mayor área de incendios forestales reportados en toda la serie histórica.

Tabla 6.5.

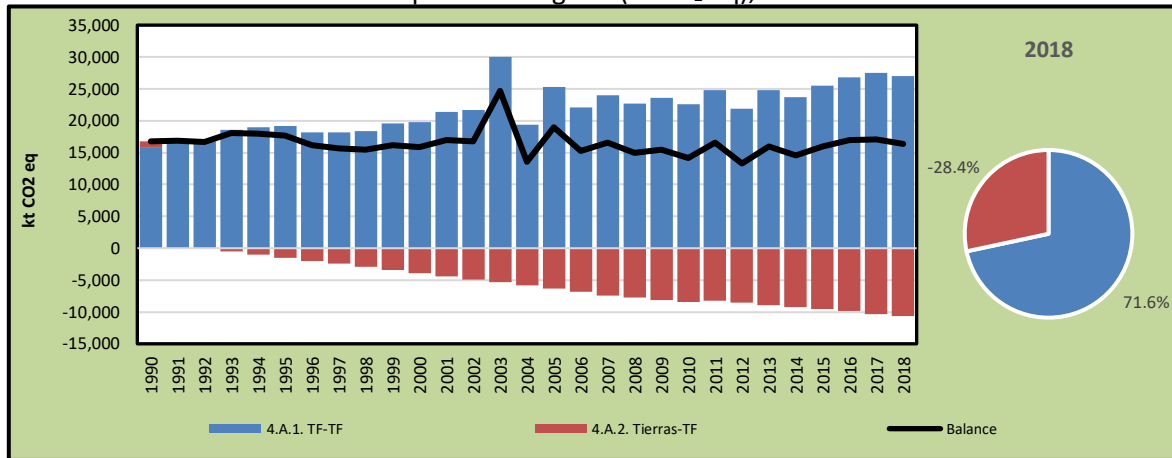
Tierras forestales: balance de GEI por subcategoría (kt CO₂ eq)

Subcategoría	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
4.A.1. TF-TF	15,824.8	19,172.4	19,757.9	25,300.6	22,617.3	25,515.9	26,857.1	27,483.0	27,022.5
4.A.2. Tierras-TF	950.1	-1,482.7	-3,915.4	-6,348.2	-8,414.4	-9,556.7	-9,882.5	-10,369.0	-10,694.8
Balance	16,774.8	17,689.7	15,842.4	18,952.4	14,202.9	15,959.3	16,974.6	17,114.0	16,327.8

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

Figura 6.3.

Tierras forestales: balance de GEI por subcategoría (kt CO₂ eq), 1990-2018



Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

6.5.2. Aspectos metodológicos de la categoría

Para la estimación de los GEI se aplicó el método de Nivel 1 y Nivel 2 de los Capítulos 2 y 4 del Volumen 4 de las *Directrices del IPCC de 2006* según se indica en la Sección 6.1.3 relativa a los aspectos generales del sector.

6.5.2.1. Datos de actividad de la categoría

El detalle de la gestión de datos de actividad se encuentra en la Sección 6.3. Por otra parte, la Tabla 6.6 presenta un resumen de la información de áreas utilizadas como datos de actividad para la estimación de GEI de la categoría.

Tabla 6.6.

Tierras forestales: superficie de uso y cambio de uso de la tierra (ha), 1990-2018

Año	TF-TF	TC-TF	PA-TF
1990	4,011,654	2,642	21,841
1991	3,975,347	2,642	21,841
1992	3,939,039	2,642	21,841
1993	3,902,732	2,642	21,841
1994	3,866,425	2,642	21,841
1995	3,830,117	2,642	21,841
1996	3,793,810	2,642	21,841
1997	3,757,502	2,642	21,841
1998	3,721,195	2,642	21,841
1999	3,684,888	2,642	21,841
2000	3,648,580	2,642	21,841
2001	3,612,273	2,642	21,841
2002	3,575,966	2,642	21,841
2003	3,539,658	2,642	21,841
2004	3,503,351	2,642	21,841
2005	3,467,044	2,642	21,841
2006	3,430,736	2,642	21,841
2007	3,391,563	2,299	15,324
2008	3,352,391	2,299	15,324
2009	3,313,218	2,299	15,324
2010	3,274,045	2,299	15,324

Anexo técnico del IIBA de Guatemala: Informe del Inventario Nacional 2022

Año	TF-TF	TC-TF	PA-TF
2011	3,271,179	2,299	15,324
2012	3,232,007	2,299	15,324
2013	3,192,834	2,299	15,324
2014	3,153,661	2,299	15,324
2015	3,114,488	2,299	15,324
2016	3,075,315	2,299	15,324
2017	3,039,008	2,299	15,324
2018	2,999,835	2,299	15,324

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en GIMBUT.

En la Tabla 6.7 se muestran los datos de actividad empleados para la estimación de pérdidas por cosecha de madera, cosecha de madera combustible (leña), obtenidos a partir de las bases de datos de FAOSTAT y los datos de actividad de áreas afectadas por perturbaciones por fuego (incendios) obtenidos del SIFGUA, para cada año de la serie temporal 1990-2018.

Tabla 6.7.

Tierras forestales: cosecha de madera y leña, y superficie afectada por incendios, 1990-2018

Año	Cosecha de madera (m³)	Cosecha de leña (m³)	Incendios (ha)
1990	227,700	12,813,300	11,722
1991	244,950	13,364,323	11,722
1992	261,050	13,718,723	11,722
1993	812,015	14,153,050	11,722
1994	848,010	14,554,400	11,722
1995	914,710	14,713,100	11,722
1996	337,410	15,225,044	11,722
1997	231,610	15,620,715	11,722
1998	231,610	15,955,504	11,722
1999	581,900	16,333,828	11,722
2000	537,050	16,721,124	11,722
2001	510,600	17,100,302	18,638
2002	595,700	17,488,081	17,888
2003	440,450	17,884,654	59,924
2004	481,850	18,290,223	6,616
2005	465,750	18,704,993	34,157
2006	867,100	19,100,404	12,389
2007	867,100	19,504,115	18,777
2008	867,100	19,916,505	10,973
2009	899,300	20,337,525	12,944
2010	795,800	20,767,462	7,235
2011	979,800	21,171,264	13,301
2012	624,399	21,582,924	1,768
2013	859,569	22,002,594	10,441
2014	751,875	22,430,427	4,029
2015	751,875	22,866,585	10,186
2016	751,875	23,252,027	14,745
2017	751,875	23,643,970	15,895
2018	751,875	24,042,522	11,722

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en FAOSTAT y SIFGUA.

6.5.2.2. Factores de emisión de la categoría

Para estimar las emisiones por cambios en el uso de la tierra, se consideraron los distintos tipos de cambio de manera diferenciada. En el caso de conversiones de *tierras forestales* a otros usos de la tierra, el factor de emisión corresponde al contenido de carbono de los bosques previo a la deforestación, dividido en cuatro estratos a nivel nacional, asignando un valor del contenido de carbono posterior a la deforestación, correspondiente al uso posterior de las áreas a las que son transformados los bosques.

Para las absorciones asociadas al incremento en las reservas de carbono, en áreas que se convierten en plantaciones forestales (*tierras forestales*), se utilizó la información nacional disponible sobre el crecimiento de plantaciones forestales, diferenciado si son de coníferas o latifoliadas.

Para realizar una estimación realista de las emisiones asociadas a las conversiones de *tierras forestales* en otras categorías de tierras, se requiere establecer un valor de existencia de biomasa posterior a la deforestación, dependiendo del uso de la tierra posterior. En Guatemala existen datos para algunos sistemas agroforestales, los cuales se complementaron con valores generales por defecto, para las *tierras convertidas en tierras de cultivo* durante el siguiente año de la conversión, de las *Directrices del IPCC de 2006* para cultivos anuales y cultivos perennes tropicales muy húmedos y su rango de error asociado que se encuentran en el Cuadro 5.9, Cap. 5, Vol. 4 de las *Directrices del IPCC de 2006*.

En la Tabla 6.8 y Tabla 6.9 se presenta la información de las existencias de carbono en la biomasa aérea empleados para la estimación de los cambios en los contenidos de carbono por conversión de otros usos de la tierra a *tierras forestales*.

Tabla 6.8.

Tierras forestales: existencia de carbono acumulado por tipología de bosque (t C/ha)

Tipo	Valor	Fuente
Bosques estrato I	122.1	Tabla 14. Factores de emisión de bosques y otros usos de la tierra, del documento técnico <i>Factores de emisión para la construcción de niveles de referencia subnacional de emisiones y absorciones forestales (NRF/NREF) para REDD+</i> .
Bosques estrato II	101.7	
Bosques estrato III	7.1	
Bosques estrato IV	125.2	
Todos los estratos	101.6	Promedio ponderado a partir de Tabla 14. Factores de emisión de bosques y otros usos de la tierra, del documento técnico <i>Factores de emisión para la construcción de niveles de referencia subnacional de emisiones y absorciones forestales (NRF/NREF) para REDD+</i> .
Bosques degradados	50.8	Promedio ponderado a partir de Tabla 9. Criterios utilizados para clasificar las parcelas con degradación, del documento técnico <i>Factores de emisión para la construcción de niveles de referencia subnacional de emisiones y absorciones forestales (NRF/NREF) para REDD+</i> .
Plantaciones latifoliadas	36.0	Tabla 16. Factores de remoción o absorción de plantaciones forestales, del documento técnico <i>Factores de emisión para la construcción de niveles de referencia subnacional de emisiones y absorciones forestales (NRF/NREF) para REDD+</i> .
Plantaciones coníferas	65.0	

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en las fuentes mencionadas.

Tabla 6.9.

Tierras forestales: existencias de carbono en biomasa presentes en tierras convertidas a tierras forestales durante el año siguiente a la conversión (t C/ha)

Tipo	Valor	Fuente
Cultivo anual	5.0	<i>Directrices del IPCC de 2006</i> (Cuadro 5.9, Cap. 5, Vol. 4)
Cultivo perenne	10.0	
Pastizales	5.0	
Sistemas agroforestales	28.4	ANACAFÉ 1998, Castillo 2016

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en las fuentes mencionadas.

En el Anexo 5.4 se incluyen otros parámetros utilizados

6.5.3. Incertidumbre y coherencia de la serie temporal de la categoría

La estimación de la incertidumbre se realizó como parte del Nivel de Referencia de Emisiones Forestales desarrollado por el GIMBUT y recurrió al método de simulaciones de Montecarlo, tanto para los datos de actividad, como para los factores de emisión.

En el caso de los datos de actividad, la incertidumbre fue estimada para los diferentes tipos de cambio de uso de la tierra caracterizados. La incertidumbre de los factores de emisión fue estimada en función de los contenidos de carbono en los distintos estratos forestales, así como en los contenidos de carbono de los otros usos posterior a la conversión.

Los valores de incertidumbre utilizados y la incertidumbre combinada se presentan en la Tabla 6.10. Se puede apreciar que la mayor incertidumbre combinada está asociada a los datos de actividad de *tierras forestales que permanecen como tales* (en especial a las estimaciones de CH₄ y N₂O), en general, los datos de actividad son los que aportan mayor incertidumbre a las estimaciones de la categoría.

Tabla 6.10.

Tierras forestales: valores de incertidumbre utilizados e incertidumbre combinada

<i>Categorías de fuente y sumidero de GEI</i>	<i>GEI</i>	<i>Incertidumbre de los DA</i>	<i>Incertidumbre del FE</i>	<i>Incertidumbre combinada</i>
Tierras forestales que permanecen como tales	CO ₂	23.4%	23.4%	33.1%
Tierras forestales que permanecen como tales	CH ₄	70.0%	59.0%	91.5%
Tierras forestales que permanecen como tales	N ₂ O	70.0%	53.0%	87.8%
Tierras de cultivo convertidas en tierras forestales	CO ₂	45.8%	18.0%	49.2%
Pastizales convertidos en tierras forestales	CO ₂	45.8%	18.0%	49.2%

Nota: con fines conservadores y de reporte, cuando el rango de incertidumbre fue asimétrico, se aplicó el valor más distante de la media. Los valores asimétricos pueden consultarse en el Anexo 2.

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en las *Directrices del IPCC 2006*.

Para el período 1990-2006 se utilizaron las *Directrices del IPCC de 2006*. Sin embargo, persiste una serie de factores que afecta la coherencia de la serie temporal para esta categoría a lo largo del periodo 1990-2016. Estos factores corresponden principalmente a diferencias entre las fuentes de información utilizadas para los dos subperiodos que componen la serie. Adicionalmente, la coherencia de la serie temporal también se ve afectada por la utilización de algunos datos de actividad que no están disponibles para toda la serie temporal, como es el caso del área anual afectada por incendios en tierras forestales. Caso similar ocurre con los datos correspondientes a recogida de madera y recogida de madera combustible, que fueron obtenidos de FAOSTAT. Para avanzar en la coherencia de la serie temporal se aplicaron técnicas de empalme para completar brechas de la información.

6.5.4. Actividades de GCCV de la categoría

Las actividades de GCCV aplicadas a la categoría fueron las siguientes:

- Las bases de datos generadas para los datos de actividad fueron comparadas al menos en dos ocasiones con los datos de las fuentes de información original.

- Como buena práctica se efectuó una verificación cruzada fuentes de información internacional, como los datos de uso de la tierra y cosecha de productos forestales de FAOSTAT.
- Los factores de emisión, conversión y constantes fueron compilados y centralizados en una sola hoja de trabajo, vinculada al resto de las hojas de trabajo. Permitiendo una rápida revisión y actualización.

6.5.5. Nuevos cálculos de la categoría

Los nuevos cálculos presentan diferencias significativas frente a los realizados en la 2CN, teniendo en cuenta que se incluyeron estimaciones de emisiones debidas a perturbaciones por incendios forestales, recogida de madera y madera combustible en los nuevos cálculos, lo que se ve reflejado en un aumento de las emisiones del 167.8% para 1994 y 220.8% para el año 2005 (Tabla 6.11). De acuerdo con los nuevos cálculos la subcategoría se convierte en un emisor neto constituyéndose en la principal fuente de emisión del sector. Otras diferencias se atribuyen a la actualización en los nuevos cálculos de parámetros como los potenciales de calentamiento global y algunos factores de emisión y expansión, así como la inclusión del reservorio de biomasa subterránea no incluido en el INGEI anterior.

Tabla 6.11.

Tierras forestales: comparación entre los balances anuales de los inventarios (kt CO₂ eq)

INGEI	1994	2000	2005
INGEI - 2CN	-26,523.4	-14,503.7	-15,690.9
INGEI - 1IBA	17,983.1	15,842.4	18,952.4
Diferencia	-44,506.5	-30,346.1	-34,643.3
Diferencia porcentual	167.8%	209.2%	220.8%

Nota: para la comparativa de tierras forestales se homologaron las categorías 5.A. cambios en los bosques y otra biomasa leñosa, 5.B. conversión de bosques y praderas y 5.D. emisiones y absorciones de CO₂ de los suelos de la 2CN con 5.A. tierras forestales del IIBA.

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en la 2CN de Guatemala.

6.5.6. Plan de mejora de la categoría

Para esta categoría se contemplan las siguientes mejoras:

- Definir la mejor fuente de datos de actividad para los cambios en el uso de la tierra para toda la serie temporal; actualmente existen dos fuentes de información: los mapas de uso de la tierra y un sistema de muestreo con una malla de referencia.
- Validar los datos de actividad utilizados en las estimaciones de la categoría con los actores relacionados a los diferentes usos de la tierra, a fin de poder refinarlos.
- Validar la información sobre la cosecha de productos forestales en todas las categorías de uso de la tierra, incluyendo la extracción de leña y otros productos forestales, ya que para el presente inventario se contempla información de bases de datos de FAOSTAT, las cuales pueden tener algún rango de incertidumbre que puede ser susceptible a ser disminuido.
- Apoyar y acelerar los procesos de obtención de datos de contenidos de carbono en los diferentes usos de la tierra y en las transiciones entre los usos de la tierra.

Estas mejoras planificadas dependerán en gran medida de las prioridades y el apoyo nacional e internacional que reciba el país.

6.6. Tierras de cultivo (FCR 4.B)

6.6.1. Descripción y tendencia de los GEI de la categoría

Dentro de esta categoría se reportan las emisiones y absorciones que se generan por los cambios en las tierras de cultivo, las cuales en su mayoría generan emisiones netas de CO₂. Estos cambios se dan principalmente como producto de la conversión de tierras (deforestación) que se presenta en las dinámicas de uso.

En 2018, el balance de la subcategoría contabilizó 3,475.3 kt CO₂ eq, que equivalen al 11.3% del total de emisiones y absorciones de GEI del sector UTCUTS. Los datos obtenidos muestran un aumento respecto a lo emitido en 1990 de 185.3 % y un 282.6 % desde 2005 (Tabla 6.12 y Figura 6.4).

Respecto a la contribución de cada subcategoría, resalta por completo las *tierras convertidas en tierras de cultivo* (tierras-TC), representando el 95.8 % y que son productos principalmente de la conversión de *tierras forestales a tierras de cultivo*, mientras que las *tierras de cultivo que permanecen como tales* (TC-TC) representa el restante 4.2 %. De acuerdo con las estimaciones, se observa que sobresalen dos periodos claros en la línea de tendencia, el primero entre 1990-2006 y un segundo periodo entre 2007-2018, estos cambios pueden estar asociados a los cambios de metodología para el establecimiento de los datos de actividad empleados.

Tabla 6.12.

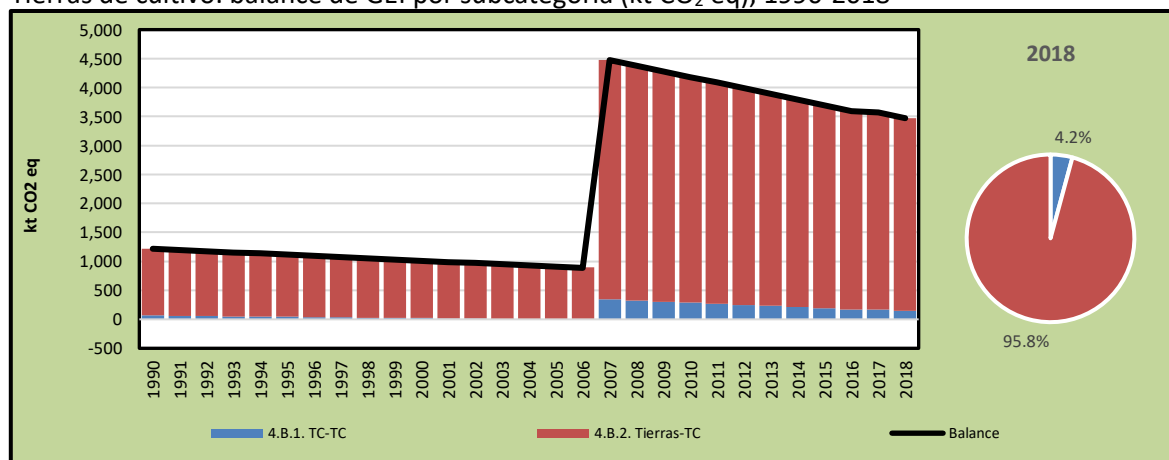
Tierras de cultivo: balance de GEI por subcategoría (kt CO₂ eq)

Subcategoría	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
4.B.1. TC-TC	66.2	43.2	20.2	-2.9	286.6	191.2	171.2	166.6	146.5
4.B.2. Tierras-TC	1,151.8	1,071.6	991.4	911.2	3,888.3	3,504.6	3,424.7	3,408.7	3,328.7
Balance	1,218.0	1,114.8	1,011.6	908.4	4,175.0	3,695.8	3,595.9	3,575.2	3,475.3

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

Figura 6.4.

Tierras de cultivo: balance de GEI por subcategoría (kt CO₂ eq), 1990-2018



Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

6.6.2. Aspectos metodológicos de la categoría

Para la estimación de los GEI se aplicó el método de Nivel 1 y Nivel 2 de los Capítulos 2 y 5 del Volumen 4 de las *Directrices del IPCC de 2006* según se indica en la Sección 6.1.3 relativa a los aspectos generales del sector.

6.6.2.1. Datos de actividad de la categoría

Para efecto de los cálculos anuales de la serie temporal, se asumió que los cambios ocurridos dentro del período 2006-2016 se distribuyeron equitativamente (linealmente) entre el número de años contenidos en el periodo. Los datos para 2017 y 2018 se extrapolaron a partir de la información de los cambios observados entre 2006-2016. En la Tabla 6.13 se presentan los datos de actividad de áreas de uso y cambio de uso utilizados para la estimación de GEI en *tierras de cultivo*.

Tabla 6.13.

Tierras de cultivo: superficie de uso y cambio de uso de la tierra (ha), 1990-2018

Año	TC-TC	TF-TC	PA-TC	HU-TC	AS-TC	OT-TC
1990	1,363	2,602	6,465	19	4	23
1991	1,363	2,602	6,465	19	4	23
1992	1,363	2,602	6,465	19	4	23
1993	2,726	2,602	6,465	19	4	23
1994	4,089	2,602	6,465	19	4	23
1995	5,452	2,602	6,465	19	4	23
1996	6,815	2,602	6,465	19	4	23
1997	8,178	2,602	6,465	19	4	23
1998	9,541	2,602	6,465	19	4	23
1999	10,904	2,602	6,465	19	4	23
2000	12,268	2,602	6,465	19	4	23
2001	13,631	2,602	6,465	19	4	23
2002	14,994	2,602	6,465	19	4	23
2003	16,357	2,602	6,465	19	4	23
2004	17,720	2,602	6,465	19	4	23
2005	19,083	2,602	6,465	19	4	23
2006	20,446	2,602	6,465	19	4	23
2007	21,809	9,290	42,238	96	96	192
2008	30,142	9,290	42,238	96	96	192
2009	38,474	9,290	42,238	96	96	192
2010	46,807	9,290	42,238	96	96	192
2011	53,776	9,290	42,238	96	96	192
2012	62,109	9,290	42,238	96	96	192
2013	70,441	9,290	42,238	96	96	192
2014	78,774	9,290	42,238	96	96	192
2015	87,107	9,290	42,238	96	96	192
2016	95,439	9,290	42,238	96	96	192
2017	96,802	9,290	42,238	96	96	192
2018	105,135	9,290	42,238	96	96	192

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en GIMBUT.

6.6.2.2. Factores de emisión de la categoría

En el caso de conversiones de *tierras forestales* a *tierras de cultivo*, el factor de emisión corresponde al contenido de carbono de los bosques previo a la deforestación menos el correspondiente al uso posterior (*tierras de cultivo*). En Guatemala existen datos para algunos sistemas agroforestales, los cuales complementaron a los valores generales por defecto de las *Directrices del IPCC de 2006* para

cultivos anuales y cultivos perennes tropicales muy húmedos que se encuentran en Cuadro 5.9, Cap. 5, Vol. 4 (Tabla 6.14).

Tabla 6.14.

Tierras de cultivo: existencias de carbono en biomasa presentes en tierras convertidas a tierras de cultivo durante el año siguiente a la conversión (t C/ha)

Tipo de cultivo	Valor	Fuente
Cultivos anuales	5.0	Directrices del IPCC de 2006 (Cuadro 5.9, Cap. 5, Vol. 4)
Cultivo de café (intensivo), asimilado a tropical muy húmedo	10.0	Directrices del IPCC de 2006 (Cuadro 5.9, Cap. 5, Vol. 4)
Cultivo de palma africana, asimilado a tropical muy húmedo	10.0	Directrices del IPCC de 2006 (Cuadro 5.9, Cap. 5, Vol. 4)
Cultivo de hule, asimilado a tropical muy húmedo	10.0	Directrices del IPCC de 2006 (Cuadro 5.9, Cap. 5, Vol. 4)
Sistemas agroforestales	28.4	ANACAFÉ 1998, Castillo 2016.

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en las fuentes indicadas.

6.6.3. Incertidumbre y coherencia de la serie temporal de la categoría

La estimación de la incertidumbre se realizó como parte del Nivel de Referencia de Emisiones Forestales desarrollado por el GIMBUT y recurrió al método de simulaciones de Montecarlo, tanto para los datos de actividad, como para los factores de emisión.

En el caso de los datos de actividad, la incertidumbre fue estimada para los diferentes tipos de cambio de uso de la tierra caracterizados. La incertidumbre de los factores de emisión fue estimada en función de los contenidos de carbono en los distintos estratos forestales, así como en los contenidos de carbono de los otros usos posterior a la conversión.

Los valores de incertidumbre utilizados y la incertidumbre combinada se presentan en la Tabla 6.15. Se puede apreciar que las mayores incertidumbres combinadas están asociadas principalmente a las incertidumbres de los factores de emisión utilizados.

Tabla 6.15.

Tierras de cultivo: valores de incertidumbre utilizados e incertidumbre combinada

Categorías de fuente y sumidero de GEI	GEI	Incertidumbre de los DA	Incertidumbre del FE	Incertidumbre combinada
Tierras de cultivo que permanecen como tales	CO ₂	45.8%	75.0%	87.9%
Tierras forestales convertidas en tierras de cultivo	CO ₂	45.8%	18.0%	49.2%
Pastizales convertidos en tierras de cultivo	CO ₂	45.8%	75.0%	87.9%
Humedales convertidos en tierras de cultivo	CO ₂	45.8%	75.0%	87.9%
Asentamientos convertidos en tierras de cultivo	CO ₂	45.8%	75.0%	87.9%
Otras tierras convertidas en tierras de cultivo	CO ₂	45.8%	75.0%	87.9%

Nota: con fines conservadores y de reporte, cuando el rango de incertidumbre fue asimétrico, se aplicó el valor más distante de la media. Los valores asimétricos pueden consultarse en el Anexo 2.

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en las *Directrices del IPCC 2006*.

Para el período 1990-2006 se utilizaron las *Directrices del IPCC de 2006*. Sin embargo, persiste una serie de factores que afecta la coherencia de la serie temporal para esta categoría a lo largo del periodo 1990-2018. Estos factores corresponden principalmente a diferencias entre las fuentes de información utilizadas para los dos subperiodos que componen la serie.

Para el periodo 1990-2005 se utilizaron las superficies de *tierras forestales* extraídas de los mapas del GIMBUT de 1991, 1996 y 2001. Se estimaron para esos años, las superficies de los usos forestales (tipos de bosque) y no forestales (incluyendo a las *tierras de cultivo*), aplicando las proporciones

observadas en la malla de puntos de 2006. Esto permitió obtener superficies totales para las 6 categorías de tierras del IPCC para 1991, 1996 y 2001. Los datos del 2010-2016 fueron obtenidos de la malla de referencia de utilizada para los Niveles de Referencia REDD+, para anualizar la información se asumió una tasa anual de cambio constante dividiendo los 10 años sobre el total de la superficie de cambio registrada durante el periodo 2006-2016. Esta misma tasa, se utilizó para estimar las superficies de uso y cambio de uso de la tierra de 2017-2018.

6.6.4. Actividades de GCCV de la categoría

Las actividades de GCCV aplicadas a la categoría fueron las siguientes:

- Las bases de datos generadas para los datos de actividad fueron comparadas en al menos en dos ocasiones con los datos de las fuentes de información original.
- Los factores de emisión, conversión y constantes fueron compilados y centralizados en una sola hoja de trabajo, vinculada al resto de las hojas de trabajo. Permitiendo una rápida revisión y actualización.

6.6.5. Nuevos cálculos de la categoría

De acuerdo con los datos se observa que para el periodo 1994 a 2005 las emisiones presentan un aumento de 125.6% para 1994 y de 443.8% para 2005 (Tabla 6.16), de acuerdo con los nuevos cálculos la subcategoría se convierte en un emisor neto a diferencia de las estimaciones presentadas en la 2CN donde la subcategoría es un sumidero de emisiones. Estos cambios están relacionados con la inclusión de mayor y mejor información de los cambios en las áreas de cultivos en el país, permitiendo diferenciar las *tierras de cultivo* de los *pastizales* y diferentes tipos de cultivos. Otras diferencias se atribuyen a la actualización en los nuevos cálculos de parámetros como los potenciales de calentamiento global y algunos factores de emisión y expansión, así como la inclusión del reservorio de biomasa subterránea no incluido en el INGEI anterior.

Tabla 6.16.

Tierras de cultivo: comparación entre los balances anuales de los inventarios (kt CO₂ eq)

INGEI	1994	2000	2005
INGEI - 2CN	-4,443.7	-10,170.5	-264.2
INGEI - 1IBA	1,135.5	1,011.6	908.4
Diferencia	-5,579.2	-11,182.1	-1,172.6
Diferencia porcentual	125.6%	109.9%	443.8%

Nota: para la comparativa de tierras de cultivo se homologó la categoría 5.C. *abandono de tierras cultivadas* de la 2CN con 5.B. *tierras de cultivo* del 1IBA.

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en la 2CN de Guatemala.

6.6.6. Plan de mejoramiento de la categoría

Para esta categoría se contemplan las siguientes mejoras:

- Definir la mejor fuente de datos de actividad para los cambios en el uso de la tierra para toda la serie temporal; actualmente, existen dos fuentes de información: los mapas de uso de la tierra y un sistema de muestreo con una malla de referencia.

- Validar los datos de actividad utilizados en las estimaciones de la categoría con los actores relacionados a los diferentes usos de la tierra, a fin de poder refinarlos.
- Apoyar y acelerar los procesos de obtención de datos de contenidos de carbono en los diferentes usos de la tierra y en las transiciones entre los usos de la tierra.
- Generar datos desagregados de áreas de incendios en tierras de cultivo; ya que en los reportes actuales del SIFGUA, esta información se encuentra incluida dentro de los datos de incendios reportados como incendios forestales.

Estas mejoras planificadas dependerán en gran medida de las prioridades y el apoyo nacional e internacional que reciba el país.

6.7. Pastizales (FCR 4.C)

6.7.1. Descripción y tendencia de los GEI de la categoría

Dentro de esta categoría se reportan las emisiones y absorciones que se generan por los cambios en los pastizales, los cuales generan emisiones netas de CO₂. Estos cambios se dan como producto de la conversión de tierras (deforestación) que se presenta en las dinámicas de uso de la tierra y se convierten en pastizales.

En el 2018, el balance de esta categoría contabilizó 10,396.0 kt CO₂ eq, que equivalen al 33.7% del total de emisiones y absorciones de GEI del sector UTCUTS. Se observa que el balance tendió al decrecimiento, registrando una disminución de 22.7 % desde 1990 y un 19.6 % desde 2005, por otra parte, el inventario de Guatemala solo incluye la subcategoría *tierras convertidas en pastizales* (tierras-PA). De acuerdo con las estimaciones realizadas, se observa que sobresalen dos periodos en la línea de tendencia, el primero entre 1990-2006 y un segundo entre 2007-2018, estos cambios en los resultados están asociados a los cambios de metodología para el establecimiento de los datos de actividad empleados (Tabla 6.17 y Figura 6.5).

Tabla 6.17.

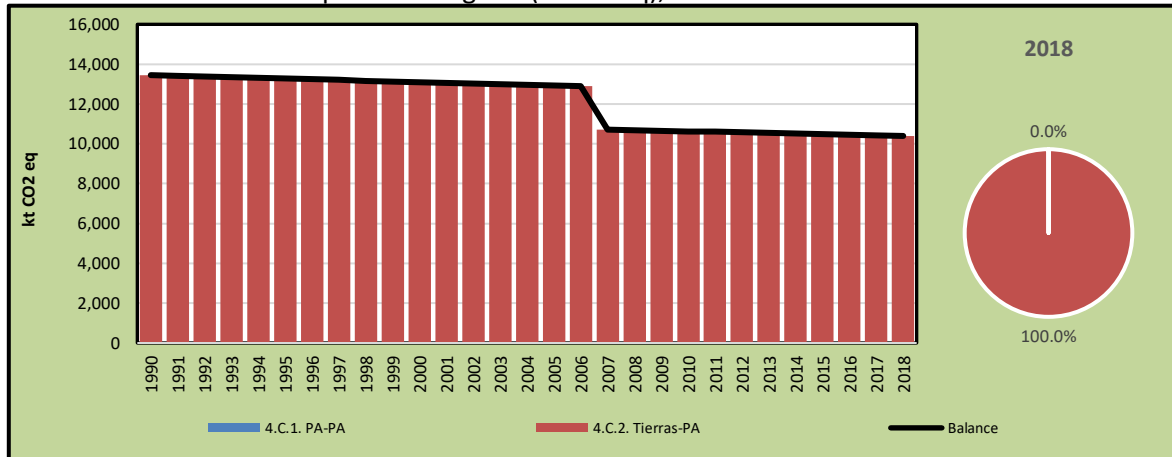
Pastizales: balance de GEI por subcategoría (kt CO₂ eq), 1990-2018

Subcategoría	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
4.C.1. PA-PA	IE, NE	IE, NE	IE, NE	IE, NE	IE, NE	IE, NE	IE, NE	IE, NE	IE, NE
4.C.2. Tierras-PA	13,450.4	13,275.4	13,100.3	12,925.3	10,617.3	10,494.2	10,462.6	10,427.6	10,396.0
Balance	13,450.4	13,275.4	13,100.3	12,925.3	10,617.3	10,494.2	10,462.6	10,427.6	10,396.0

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

Figura 6.5.

Pastizales: *balance* de GEI por subcategoría (kt CO₂ eq), 1990-2018



Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

6.7.2. Aspectos metodológicos de la categoría

Para la estimación de los GEI se aplicó el método de Nivel 1 y Nivel 2 de los Capítulos 2 y 6 del Volumen 4 de las *Directrices del IPCC de 2006* según se indica en la Sección 6.1.3 relativa a los aspectos generales del sector.

6.7.2.1. Datos de actividad de la categoría

Para efecto de los cálculos anuales de la serie temporal, se asumió que los cambios ocurridos dentro del período 2006-2016 se distribuyeron equitativamente (linealmente) entre el número de años contenidos en el periodo. Los datos para 2017 y 2018 se extrapolaron a partir de la información de los cambios observados entre 2006-2016. En la Tabla 6.18 se presentan los datos de actividad de áreas de uso y cambio de uso utilizados para la estimación de los GEI en *pastizales*.

Tabla 6.18.

Pastizales: superficie de uso y cambio de uso de la tierra (ha), 1990-2018

Año	TF-PA	TC-PA	HU-PA	AS-PA	OT-PA
1990	33,215	3,696	498	71	711
1991	33,215	3,696	498	71	711
1992	33,215	3,696	498	71	711
1993	33,215	3,696	498	71	711
1994	33,215	3,696	498	71	711
1995	33,215	3,696	498	71	711
1996	33,215	3,696	498	71	711
1997	33,215	3,696	498	71	711
1998	33,215	3,696	498	71	711
1999	33,215	3,696	498	71	711
2000	33,215	3,696	498	71	711
2001	33,215	3,696	498	71	711
2002	33,215	3,696	498	71	711
2003	33,215	3,696	498	71	711
2004	33,215	3,696	498	71	711
2005	33,215	3,696	498	71	711
2006	33,215	3,696	498	71	711
2007	27,775	4,980	670	96	958
2008	27,775	4,980	670	96	958

Año	TF-PA	TC-PA	HU-PA	AS-PA	OT-PA
2009	27,775	4,980	670	96	958
2010	27,775	4,980	670	96	958
2011	27,775	4,980	670	96	958
2012	27,775	4,980	670	96	958
2013	27,775	4,980	670	96	958
2014	27,775	4,980	670	96	958
2015	27,775	4,980	670	96	958
2016	27,775	4,980	670	96	958
2017	27,775	4,980	670	96	958
2018	27,775	4,980	670	96	958

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en GIMBUT.

6.7.2.2. Factores de emisión de la categoría

En el caso del contenido de carbono de los pastizales se optó por la aplicación del valor por defecto de 5.0 t C/ha según el Cuadro 5.9, Cap. 5, Vol. 4 de las *Directrices del IPCC de 2006*.

6.7.3. Incertidumbre y coherencia de la serie temporal de la categoría

La estimación de la incertidumbre se realizó como parte del Nivel de Referencia de Emisiones Forestales desarrollado por el GIMBUT y recurrió al método de simulaciones de Montecarlo, tanto para los datos de actividad, como para los factores de emisión.

En el caso de los datos de actividad, la incertidumbre fue estimada para los diferentes tipos de cambio de uso de la tierra caracterizados. La incertidumbre de los factores de emisión fue estimada en función de los contenidos de carbono en los distintos estratos forestales, así como en los contenidos de carbono de los otros usos posterior a la conversión.

Los valores de incertidumbre utilizados y la incertidumbre combinada se presentan en la Tabla 6.19. Se puede apreciar que las mayores incertidumbres combinadas están asociadas principalmente a las incertidumbres de los factores de emisión utilizados.

Tabla 6.19.

Pastizales: valores de incertidumbre utilizados e incertidumbre combinada

Categorías de fuente y sumidero de GEI	GEI	Incertidumbre de los DA	Incertidumbre del FE	Incertidumbre combinada
Tierras forestales convertidas en pastizales	CO ₂	45.8%	18.0%	49.2%
Tierras de cultivo convertidas en pastizales	CO ₂	45.8%	75.0%	87.9%
Humedales convertidos en pastizales	CO ₂	45.8%	75.0%	87.9%
Asentamientos convertidos en pastizales	CO ₂	45.8%	75.0%	87.9%
Otras tierras convertidas en pastizales	CO ₂	45.8%	75.0%	87.9%

Nota: con fines conservadores y de reporte, cuando el rango de incertidumbre fue asimétrico, se aplicó el valor más distante de la media. Los valores asimétricos pueden consultarse en el Anexo 2.

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en las *Directrices del IPCC 2006*.

Para el período 1990-2018 se utilizaron las *Directrices del IPCC de 2006*. Sin embargo, persiste una serie de factores que afecta la coherencia de la serie temporal para esta categoría a lo largo del periodo 1990-2018. Estos factores corresponden principalmente a diferencias entre las fuentes de información utilizadas para los dos subperiodos que componen la serie.

Para el periodo 1990-2005 se utilizaron las superficies de *tierras forestales* extraídas de los mapas del GIMBUT de 1991, 1996 y 2001. Se estimaron para esos años, las superficies de los usos forestales (tipos de bosque) y no forestales (incluyendo a las *tierras de cultivo*), aplicando las proporciones observadas en la malla de puntos de 2006. Esto permitió obtener superficies totales para las 6 categorías de tierras del IPCC para 1991, 1996 y 2001. Los datos del 2010-2016 fueron obtenidos de la malla de referencia de utilizada para los Niveles de Referencia REDD+.

6.7.4. Actividades de GCCV de la categoría

Las actividades de GCCV aplicadas a la categoría fueron las siguientes:

- Las bases de datos generadas para los datos de actividad fueron comparadas en al menos en dos ocasiones con los datos de las fuentes de información original.
- Los factores de emisión, conversión y constantes fueron compilados y centralizados en una sola hoja de trabajo, vinculada al resto de las hojas de trabajo. Permitiendo una rápida revisión y actualización.

6.7.5. Nuevos cálculos de la categoría

Esta categoría no fue estimada en la 2CN, por lo tanto, no es posible comparar resultados.

6.7.6. Plan de mejora de la categoría

Para esta categoría se contemplan las siguientes mejoras:

- Definir la mejor fuente de datos de actividad para los cambios en el uso de la tierra para toda la serie temporal; actualmente existen dos fuentes de información: los mapas de uso de la tierra y un sistema de muestreo con una malla de referencia.
- Validar los datos de actividad utilizados en las estimaciones de la categoría con los actores relacionados a los diferentes usos de la tierra, a fin de poder refinarlos.
- Apoyar y acelerar los procesos de obtención de datos de contenidos de carbono en los diferentes usos de la tierra y en las transiciones entre los usos de la tierra.
- Recopilar información de datos de actividad y factores de país para la estimación en *pastizales que permanecen como tales* a partir de información del establecimiento de sistemas silvopastoriles en el país.
- Generar datos desagregados de áreas de incendios en áreas de pastizales; ya que en los reportes actuales del SIFGUA, esta información se encuentra incluida dentro de los datos de incendios reportados como incendios forestales.

Estas mejoras planificadas dependerán en gran medida de las prioridades y el apoyo nacional e internacional que reciba el país.

6.8. Humedales (FCR 4.D)

6.8.1. Descripción y tendencia de los GEI de la categoría

En esta categoría se reportan las emisiones generadas por la conversión de tierras a humedales.

En el inventario de Guatemala solo se reporta la subcategoría *tierras convertidas en humedales* (tierras-HU). Por esta conversión se genera la cantidad de 90.9 kt CO₂ eq en 2008, estas equivalen al 0.3 % del total de emisiones y absorciones absolutas de GEI del sector UTCUTS. El balance de GEI de humedales tiende al incremento, aumentando en un 35.3 % desde 1990. De acuerdo con los datos obtenidos, se observa que sobresalen dos periodos en la línea de tendencia, el primero entre 1990-2006 y un segundo entre 2007-2018, estos cambios están asociados a los cambios de metodología para el establecimiento de los datos de actividad empleados (Tabla 6.20 y Figura 6.6).

Tabla 6.20.

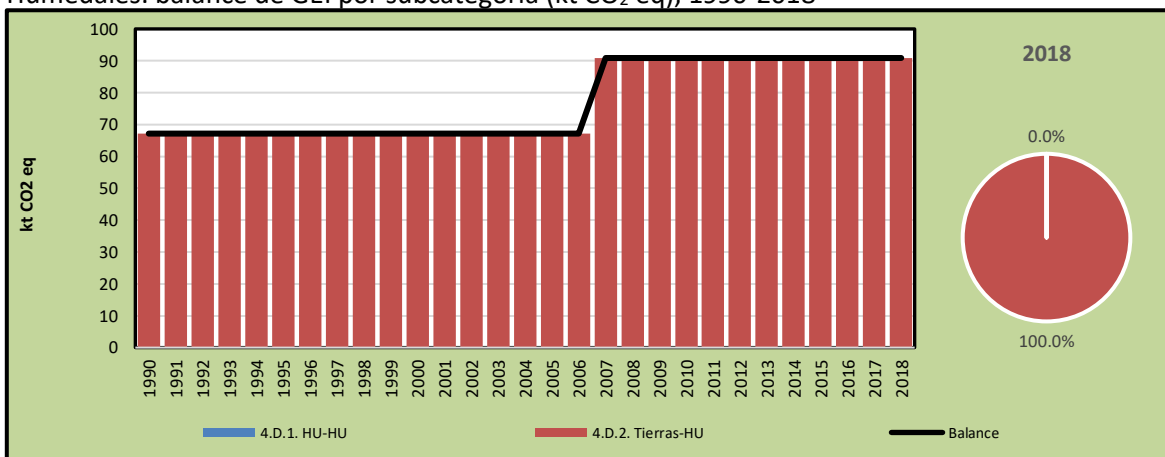
Humedales: balance de GEI por subcategoría (kt CO₂ eq)

Subcategoría	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
4.D.1. HU-HU	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
4.D.2. Tierras-HU	67.2	67.2	67.2	67.2	90.9	90.9	90.9	90.9	90.9
Balance	67.2	67.2	67.2	67.2	90.9	90.9	90.9	90.9	90.9

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

Figura 6.6.

Humedales: balance de GEI por subcategoría (kt CO₂ eq), 1990-2018



Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

6.8.2. Aspectos metodológicos de la categoría

Para la estimación de los GEI se aplicó el método de Nivel 1 y Nivel 2 de los Capítulos 2 y 7 del Volumen 4 de las *Directrices del IPCC de 2006* según se indica en la Sección 6.1.3 relativa a los aspectos generales del sector.

6.8.2.1. Datos de actividad de la categoría

Para efecto de los cálculos anuales de la serie temporal, se asumió que los cambios ocurridos dentro del período 2006-2016 se distribuyeron equitativamente (linealmente) entre el número de años contenidos en el periodo. Los datos para 2017 y 2018 se extrapolaron a partir de la información de

los cambios observados entre 2006-2016. En la Tabla 6.21 se presentan los datos de actividad de áreas de uso y cambio de uso utilizados para la estimación de GEI en *humedales*.

Tabla 6.21.

Humedales: superficie de uso y cambio de uso de la tierra (ha), 1990-2018

Año	TF-HU	TC-HU	PA-HU	AS-HU	OT-HU
1990	149.2	92.6	231.5	46.3	138.9
1991	149.2	92.6	231.5	46.3	138.9
1992	149.2	92.6	231.5	46.3	138.9
1993	149.2	92.6	231.5	46.3	138.9
1994	149.2	92.6	231.5	46.3	138.9
1995	149.2	92.6	231.5	46.3	138.9
1996	149.2	92.6	231.5	46.3	138.9
1997	149.2	92.6	231.5	46.3	138.9
1998	149.2	92.6	231.5	46.3	138.9
1999	149.2	92.6	231.5	46.3	138.9
2000	149.2	92.6	231.5	46.3	138.9
2001	149.2	92.6	231.5	46.3	138.9
2002	149.2	92.6	231.5	46.3	138.9
2003	149.2	92.6	231.5	46.3	138.9
2004	149.2	92.6	231.5	46.3	138.9
2005	149.2	92.6	231.5	46.3	138.9
2006	149.2	92.6	231.5	46.3	138.9
2007	191.6	191.6	478.9	95.8	287.3
2008	191.6	191.6	478.9	95.8	287.3
2009	191.6	191.6	478.9	95.8	287.3
2010	191.6	191.6	478.9	95.8	287.3
2011	191.6	191.6	478.9	95.8	287.3
2012	191.6	191.6	478.9	95.8	287.3
2013	191.6	191.6	478.9	95.8	287.3
2014	191.6	191.6	478.9	95.8	287.3
2015	191.6	191.6	478.9	95.8	287.3
2016	191.6	191.6	478.9	95.8	287.3
2017	191.6	191.6	478.9	95.8	287.3
2018	191.6	191.6	478.9	95.8	287.3

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en GIMBUT.

6.8.2.2. Factores de emisión de la categoría

Las *Directrices del IPCC de 2006* no incluyen valores por defecto de existencias de carbono en biomasa presentes en tierras convertidas a humedales durante el año siguiente a la conversión, por lo tanto, se asumió un valor de cero.

6.8.3. Incertidumbre y coherencia de la serie temporal de la categoría

La estimación de la incertidumbre se realizó como parte del Nivel de Referencia de Emisiones Forestales desarrollado por el GIMBUT y recurrió al método de simulaciones de Montecarlo, tanto para los datos de actividad, como para los factores de emisión.

En el caso de los datos de actividad, la incertidumbre fue estimada para los diferentes tipos de cambio de uso de la tierra caracterizados. La incertidumbre de los factores de emisión fue estimada en función de los contenidos de carbono en los distintos estratos forestales, así como en los contenidos de carbono de los otros usos posterior a la conversión.

Los valores de incertidumbre utilizados y la incertidumbre combinada se presentan en la Tabla 6.22. Se puede apreciar que las mayores incertidumbres combinadas están asociadas principalmente a las incertidumbres de los factores de emisión utilizados.

Tabla 6.22.

Humedales: valores de incertidumbre utilizados e incertidumbre combinada

Categorías de fuente y sumidero de GEI	GEI	Incertidumbre de los DA	Incertidumbre del FE	Incertidumbre combinada
Tierras forestales convertidas en humedales	CO ₂	45.8%	18.0%	49.2%
Tierras de cultivo convertidas en humedales	CO ₂	45.8%	75.0%	87.9%
Pastizales convertidos en humedales	CO ₂	45.8%	75.0%	87.9%

Nota: con fines conservadores y de reporte, cuando el rango de incertidumbre fue asimétrico, se aplicó el valor más distante de la media. Los valores asimétricos pueden consultarse en el Anexo 2.

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en las *Directrices del IPCC 2006*.

Para el período 1990-2018 se utilizaron las *Directrices del IPCC de 2006*. Sin embargo, persiste una serie de factores que afecta la coherencia de la serie temporal para esta categoría a lo largo del periodo 1990-2018. Estos factores corresponden principalmente a diferencias entre las fuentes de información utilizadas para los dos subperiodos que componen la serie.

Para el periodo 1990-2005 se utilizaron las superficies de *tierras forestales* extraídas de los mapas del GIMBUT de 1991, 1996 y 2001. Se estimaron para esos años, las superficies de los usos forestales (tipos de bosque) y no forestales (incluyendo a las *tierras de cultivo*), aplicando las proporciones observadas en la malla de puntos de 2006. Esto permitió obtener superficies totales para las 6 categorías de tierras del IPCC para 1991, 1996 y 2001. Los datos del 2010-2016 fueron obtenidos de la malla de referencia de utilizada para los Niveles de Referencia REDD+.

6.8.4. Actividades de GCCV de la categoría

Las actividades de GCCV aplicadas a la categoría fueron las siguientes:

- Las bases de datos generadas para los datos de actividad fueron comparadas en al menos dos ocasiones con los datos de las fuentes de información original.
- Los factores de emisión, conversión y constantes fueron compilados y centralizados en una sola hoja de trabajo, vinculada al resto de las hojas de trabajo. Permitiendo una rápida revisión y actualización.

6.8.5. Nuevos cálculos de la categoría

Esta categoría no fue estimada en la 2CN, por lo tanto, no es posible comparar resultados.

6.8.6. Plan de mejora de la categoría

Para esta categoría se contemplan las siguientes mejoras:

- Definir la mejor fuente de datos de actividad para los cambios en el uso de la tierra para toda la serie temporal; actualmente, existen dos fuentes de información: los mapas de uso de la tierra y un sistema de muestreo con una malla de referencia.

- Validar los datos de actividad utilizados en las estimaciones de la categoría con los actores relacionados a los diferentes usos de la tierra, a fin de poder refinarlos.
- Apoyar y acelerar los procesos de obtención de datos de contenidos de carbono en los diferentes usos de la tierra y en las transiciones entre los usos de la tierra.
- Revisar y levantar información de datos de actividad para la estimación de *humedales que permanecen como tales*, (embalses u otro tipo de reservorios similares, manglares, turberas, etc.).

Estas mejoras planificadas dependerán en gran medida de las prioridades y el apoyo nacional e internacional que reciba el país.

6.9. Asentamientos (FCR 4.E)

6.9.1. Descripción y tendencia de los GEI de la categoría

En esta categoría se reportan las emisiones que se generan por la conversión de tierras a asentamientos.

En el inventario de Guatemala solo se reporta la subcategoría *tierras convertidas a asentamiento* (tierras-AS), conversión que emitió 167.6 kt CO₂ eq en 2018. Estas emisiones equivalen al 0.5 % del total de emisiones y absorciones GEI del sector UTCUTS, incrementándose en un 815.4 % desde 1990. De acuerdo con las estimaciones realizadas, se observa que sobresalen dos periodos en la línea de tendencia, el primero entre 1990-2006 y un segundo entre 2007-2018, estos cambios en los resultados de las estimaciones están asociados a los cambios de metodología para el establecimiento de los datos de actividad empleados (Tabla 6.23 y Figura 6.7).

Tabla 6.23.

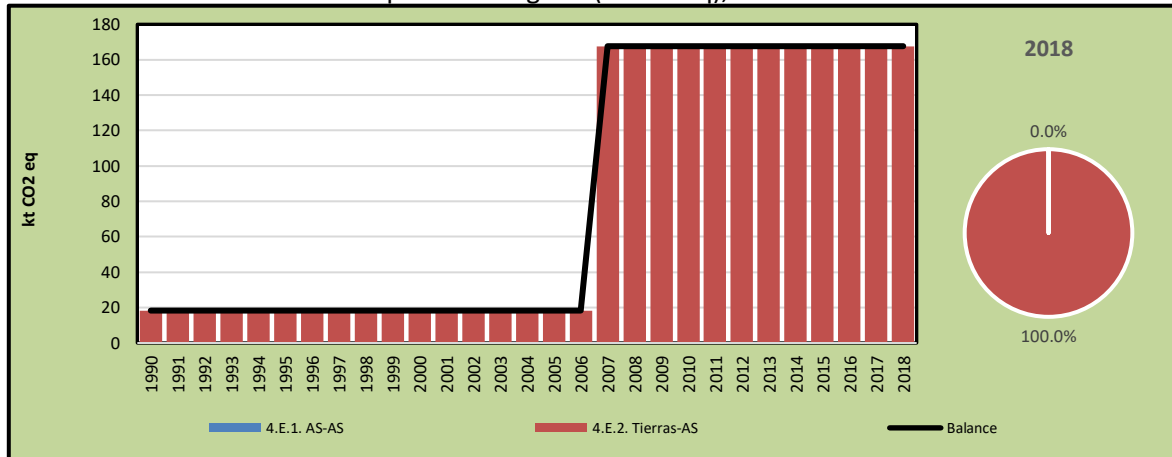
Asentamientos: *balance* de GEI por subcategoría (kt CO₂ eq)

Subcategoría	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
4.E.1. AS-AS	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
4.E.2. Tierras-AS	18.3	18.3	18.3	18.3	167.6	167.6	167.6	167.6	167.6
Balance	18.3	18.3	18.3	18.3	167.6	167.6	167.6	167.6	167.6

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

Figura 6.7.

Asentamientos: *balance* de GEI por subcategoría (kt CO₂ eq), 1990-2018



Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

6.9.2. Aspectos metodológicos de la categoría

Para la estimación de los GEI se aplicó el método de Nivel 1 y Nivel 2 de los Capítulos 2 y 8 del Volumen 4 de las *Directrices del IPCC de 2006* según se indica en la Sección 6.1.3 relativa a los aspectos generales del sector.

6.9.2.1. Datos de actividad de la categoría

Para efecto de los cálculos anuales de la serie temporal, se asumió que los cambios ocurridos dentro del período 2006-2016 se distribuyeron equitativamente (linealmente) entre el número de años contenidos en el periodo. Los datos para 2017 y 2018 se extrapolaron a partir de la información de los cambios observados entre 2006-2016. En la Tabla 6.24 se presentan los datos de actividad de áreas de uso y cambio de uso utilizados para la estimación de GEI en *asentamientos*.

Tabla 6.24.

Asentamientos: superficie de uso y cambio de uso de la tierra (ha), 1990-2018

Año	TF-AS	TC-AS	PA-AS
1990	35	58	87
1991	35	58	87
1992	35	58	87
1993	35	58	87
1994	35	58	87
1995	35	58	87
1996	35	58	87
1997	35	58	87
1998	35	58	87
1999	35	58	87
2000	35	58	87
2001	35	58	87
2002	35	58	87
2003	35	58	87
2004	35	58	87
2005	35	58	87
2006	35	58	87
2007	287	766	1,149
2008	287	766	1,149

Año	TF-AS	TC-AS	PA-AS
2009	287	766	1,149
2010	287	766	1,149
2011	287	766	1,149
2012	287	766	1,149
2013	287	766	1,149
2014	287	766	1,149
2015	287	766	1,149
2016	287	766	1,149
2017	287	766	1,149
2018	287	766	1,149

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en GIMBUT.

6.9.2.2. Factores de emisión de la categoría

Las *Directrices del IPCC de 2006* no incluyen valores por defecto de existencias de carbono en biomasa presentes en tierras convertidas a asentamientos durante el año siguiente a la conversión, por lo tanto, se asumió un valor de cero.

6.9.3. Incertidumbre y coherencia de la serie temporal de la categoría

La estimación de la incertidumbre se realizó como parte del Nivel de Referencia de Emisiones Forestales desarrollado por el GIMBUT y recurrió al método de simulaciones de Montecarlo, tanto para los datos de actividad, como para los factores de emisión.

En el caso de los datos de actividad, la incertidumbre fue estimada para los diferentes tipos de cambio de uso de la tierra caracterizados. La incertidumbre de los factores de emisión fue estimada en función de los contenidos de carbono en los distintos estratos forestales, así como en los contenidos de carbono de los otros usos posterior a la conversión.

Los valores de incertidumbre utilizados y la incertidumbre combinada se presentan en la Tabla 6.25. Se puede apreciar que las mayores incertidumbres combinadas están asociadas principalmente a las incertidumbres de los factores de emisión utilizados.

Tabla 6.25.

Asentamientos: valores de incertidumbre utilizados e incertidumbre combinada

Categorías de fuente y sumidero de GEI	GEI	Incertidumbre de los DA	Incertidumbre del FE	Incertidumbre combinada
Tierras forestales convertidas en asentamientos	CO ₂	45.8%	18.0%	49.2%
Tierras de cultivo convertidas en asentamientos	CO ₂	45.8%	75.0%	87.9%
Pastizales convertidos en asentamientos	CO ₂	45.8%	75.0%	87.9%

Nota: con fines conservadores y de reporte, cuando el rango de incertidumbre fue asimétrico, se aplicó el valor más distante de la media. Los valores asimétricos pueden consultarse en el Anexo 2.

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en las *Directrices del IPCC 2006*.

Para el período 1990-2018 se utilizaron las *Directrices del IPCC de 2006*. Sin embargo, persiste una serie de factores que afecta la coherencia de la serie temporal para esta categoría a lo largo del periodo 1990-2018. Estos factores corresponden principalmente a diferencias entre las fuentes de información utilizadas para los dos subperiodos que componen la serie.

Para el periodo 1990-2005 se utilizaron las superficies de *tierras forestales* extraídas de los mapas del GIMBUT de 1991, 1996 y 2001. Se estimaron para esos años, las superficies de los usos forestales (tipos de bosque) y no forestales (incluyendo a las *tierras de cultivo*), aplicando las proporciones

observadas en la malla de puntos de 2006. Esto permitió obtener superficies totales para las 6 categorías de tierras del IPCC para 1991, 1996 y 2001. Los datos del 2010-2016 fueron obtenidos de la malla de referencia de utilizada para los Niveles de Referencia REDD+.

6.9.4. Actividades de GCCV de la categoría

Las actividades de GCCV aplicadas a la categoría fueron las siguientes:

- Las bases de datos generadas para los datos de actividad fueron comparadas en al menos en dos ocasiones con los datos de las fuentes de información original.
- Los factores de emisión, conversión y constantes fueron compilados y centralizados en una sola hoja de trabajo, vinculada al resto de las hojas de trabajo. Permitiendo una rápida revisión y actualización.

6.9.5. Nuevos cálculos de la categoría

Esta categoría no fue estimada en la 2CN, por lo tanto, no es posible comparar resultados.

6.9.6. Plan de mejora de la categoría

Para esta categoría se contemplan las siguientes mejoras:

- Definir la mejor fuente de datos de actividad para los cambios en el uso de la tierra para toda la serie temporal; actualmente, existen dos fuentes de información: los mapas de uso de la tierra y un sistema de muestreo con una malla de referencia.
- Validar los datos de actividad utilizados en las estimaciones de la categoría con los actores relacionados a los diferentes usos de la tierra, a fin de poder refinarlos.
- Apoyar y acelerar los procesos de obtención de datos de contenidos de carbono en los diferentes usos de la tierra y en las transiciones entre los usos de la tierra.
- Revisar y levantar información de datos de actividad para la estimación de *asentamientos que permanecen como tales*, a partir de datos de arbolado y áreas verdes en ciudades principales, que pueden ser implementadas o mejoradas como medida de mitigación.

Estas mejoras planificadas dependerán en gran medida de las prioridades y el apoyo nacional e internacional que reciba el país.

6.10. Otras tierras (FCR 4.F)

6.10.1. Descripción y tendencia de los GEI de la categoría

Esta categoría incluye las emisiones generadas por la conversión hacia otras tierras que no fueron reportadas en los usos de la tierra anteriores.

En el inventario de Guatemala solo se reportan emisiones de la subcategoría *tierras convertidas en otras tierras* (tierras-OT), las cuales emitieron 346.4 kt CO₂ eq y representan el 1.1 % del total de emisiones y absorciones de GEI del sector UTCUTS, incrementándose en un 161.9 % desde 1990. De acuerdo las estimaciones realizadas, se observan dos periodos en la línea de tendencia, el primero entre 1990-2006 y un segundo entre 2007-2018, estos cambios están asociados a los cambios de metodología para el establecimiento de los datos de actividad empleados (Tabla 6.26 y Figura 6.8).

Tabla 6.26.

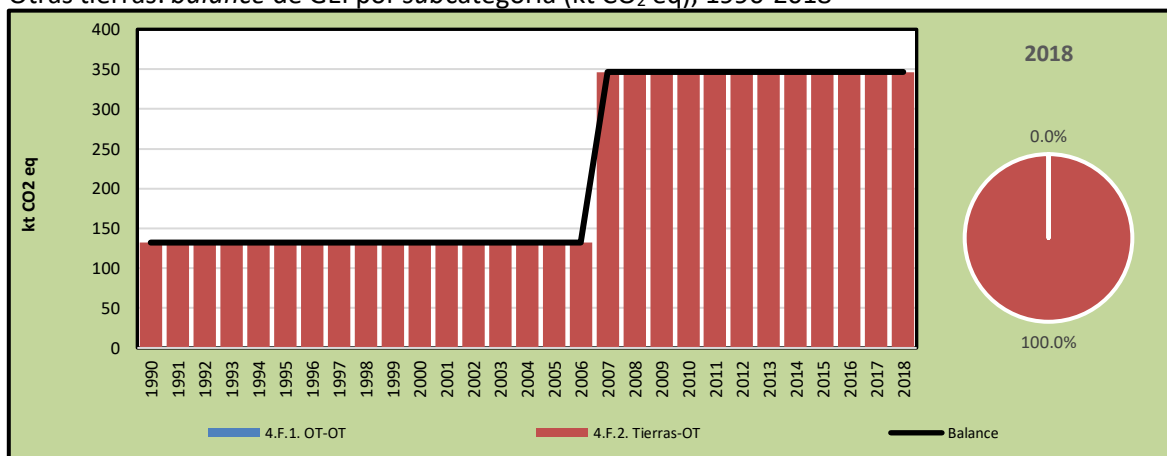
Otras tierras: balance de GEI por subcategoría (kt CO₂ eq)

Subcategoría	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
4.F.1. OT-OT	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
4.F.2. Tierras-OT	132.3	132.3	132.3	132.3	346.4	346.4	346.4	346.4	346.4
Balance	132.3	132.3	132.3	132.3	346.4	346.4	346.4	346.4	346.4

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

Figura 6.8.

Otras tierras: *balance* de GEI por subcategoría (kt CO₂ eq), 1990-2018



Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

6.10.2. Aspectos metodológicos de la categoría

Para la estimación de los GEI se aplicó el método de Nivel 1 y Nivel 2 de los Capítulos 2 y 9 del Volumen 4 de las *Directrices del IPCC de 2006* según se indica en la Sección 6.1.3 relativa a los aspectos generales del sector.

6.10.2.1. Datos de actividad de la categoría

Para efecto de los cálculos anuales de la serie temporal, se asumió que los cambios ocurridos dentro del período 2006-2016 se distribuyeron equitativamente (linealmente) entre el número de años contenidos en el periodo. Los datos para 2017 y 2018 se extrapolaron a partir de la información de los cambios observados entre 2006-2016. En la Tabla 6.27 se presentan los datos de actividad de áreas de uso y cambio de uso utilizados para la estimación de GEI en *otras tierras*.

Tabla 6.27.

Otras tierras: superficie de uso y cambio de uso de la tierra (ha), 1990-2018

Año	TF-OT	TC-OT	PA-OT	HU-OT
1990	305	47	474	71
1991	305	47	474	71
1992	305	47	474	71
1993	305	47	474	71
1994	305	47	474	71
1995	305	47	474	71
1996	305	47	474	71
1997	305	47	474	71
1998	305	47	474	71
1999	305	47	474	71
2000	305	47	474	71
2001	305	47	474	71
2002	305	47	474	71
2003	305	47	474	71
2004	305	47	474	71
2005	305	47	474	71
2006	305	47	474	71
2007	766	192	1,916	287
2008	766	192	1,916	287
2009	766	192	1,916	287
2010	766	192	1,916	287
2011	766	192	1,916	287
2012	766	192	1,916	287
2013	766	192	1,916	287
2014	766	192	1,916	287
2015	766	192	1,916	287
2016	766	192	1,916	287
2017	766	192	1,916	287
2018	766	192	1,916	287

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en GIMBUT.

6.10.2.2. Factores de emisión de la categoría

Las *Directrices del IPCC de 2006* no incluyen valores por defecto de existencias de carbono en biomasa presentes en tierras convertidas a otras tierras durante el año siguiente a la conversión, por lo tanto, se asumió un valor de cero.

6.10.3. Incertidumbre y coherencia de la serie temporal de la categoría

La estimación de la incertidumbre se realizó como parte del Nivel de Referencia de Emisiones Forestales desarrollado por el GIMBUT y recurrió al método de simulaciones de Montecarlo, tanto para los datos de actividad, como para los factores de emisión.

En el caso de los datos de actividad, la incertidumbre fue estimada para los diferentes tipos de cambio de uso de la tierra caracterizados. La incertidumbre de los factores de emisión fue estimada en función de los contenidos de carbono en los distintos estratos forestales, así como en los contenidos de carbono de los otros usos posterior a la conversión.

Los valores de incertidumbre utilizados y la incertidumbre combinada se presentan en la Tabla 6.28. Se puede apreciar que las mayores incertidumbres combinadas están asociadas principalmente a las incertidumbres de los factores de emisión utilizados.

Tabla 6.28.

Otras tierras: valores de incertidumbre utilizados e incertidumbre combinada

<i>Categorías de fuente y sumidero de GEI</i>	<i>GEI</i>	<i>Incertidumbre de los DA</i>	<i>Incertidumbre del FE</i>	<i>Incertidumbre combinada</i>
Tierras forestales convertidas en otras tierras	CO ₂	45.8%	18.0%	49.2%
Tierras de cultivo convertidas en otras tierras	CO ₂	45.8%	75.0%	87.9%
Pastizales convertidos en otras tierras	CO ₂	45.8%	75.0%	87.9%

Nota: con fines conservadores y de reporte, cuando el rango de incertidumbre fue asimétrico, se aplicó el valor más distante de la media. Los valores asimétricos pueden consultarse en el Anexo 2.

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en las *Directrices del IPCC 2006*.

Para el período 1990-2018 se utilizaron las *Directrices del IPCC de 2006*. Sin embargo, persiste una serie de factores que afecta la coherencia de la serie temporal para esta categoría a lo largo del periodo 1990-2018. Estos factores corresponden principalmente a diferencias entre las fuentes de información utilizadas para los dos subperiodos que componen la serie.

Para el periodo 1990-2005 se utilizaron las superficies de *tierras forestales* extraídas de los mapas del GIMBUT de 1991, 1996 y 2001. Se estimaron para esos años, las superficies de los usos forestales (tipos de bosque) y no forestales (incluyendo a las *tierras de cultivo*), aplicando las proporciones observadas en la malla de puntos de 2006. Esto permitió obtener superficies totales para las 6 categorías de tierras del IPCC para 1991, 1996 y 2001. Los datos del 2010-2016 fueron obtenidos de la malla de referencia de utilizada para los Niveles de Referencia REDD+.

6.10.4. Actividades de GCCV de la categoría

Las actividades de GCCV aplicadas a la categoría fueron las siguientes:

- Las bases de datos generadas para los datos de actividad fueron comparadas en al menos en dos ocasiones con los datos de las fuentes de información original.
- Los factores de emisión, conversión y constantes fueron compilados y centralizados en una sola hoja de trabajo, vinculada al resto de las hojas de trabajo. Permitiendo una rápida revisión y actualización.

6.10.5. Nuevos cálculos de la categoría

Esta categoría no fue estimada en la 2CN, por lo tanto, no es posible comparar resultados.

6.10.6. Plan de mejora de la categoría

Para esta categoría se contemplan las siguientes mejoras:

- Definir la mejor fuente de datos de actividad para los cambios en el uso de la tierra para toda la serie temporal; actualmente, existen dos fuentes de información: los mapas de uso de la tierra y un sistema de muestreo con una malla de referencia.
- Validar los datos de actividad utilizados en las estimaciones de la categoría con los actores relacionados a los diferentes usos de la tierra, a fin de poder refinarlos.

- Apoyar y acelerar los procesos de obtención de datos de contenidos de carbono en los diferentes usos de la tierra y en las transiciones entre los usos de la tierra.

Estas mejoras planificadas dependerán en gran medida de las prioridades y el apoyo nacional e internacional que reciba el país.

6.11. Productos de madera recolectada (FCR 4.G)

Gran parte de la madera cosechada de las tierras forestales, de cultivo y de otros tipos de usos de la tierra permanece en los productos durante períodos de tiempo de diferente duración, a estas maderas cosechadas se les denomina *productos de madera recolectada* (PMR). Los PMR incluye todo el material de madera (incluida la corteza) que abandona los sitios de recolección, mientras que la broza y otros materiales que queda en los sitios de recolección debe considerarse materia orgánica muerta en la categoría correspondiente de uso de la tierra.

Esta categoría no fue estimada en el inventario de Guatemala por carecer de datos históricos para su estimación, sin embargo, como plan de mejora en el corto plazo se contempla estimar las emisiones y absorciones de esta categoría a partir de datos históricos de FAOSTAT como una primera aproximación y a mediano y largo plazo se trabajará en la recopilación o construcción de los datos requeridos para su estimación.

CAPÍTULO 7: SECTOR RESIDUOS (FCR 5)

7.1. Panorama general del sector

7.1.1. Descripción del sector

El sector Residuos⁹ incluye las emisiones de GEI generadas por el manejo y la disposición final de residuos, ya sean estos sólidos o líquidos. Estas emisiones pueden provenir de la eliminación de residuos sólidos, el tratamiento biológico, la incineración de residuos sólidos y por el tratamiento y eliminación de las aguas residuales (IPCC, 2006).

En Guatemala se contabilizan y reportan emisiones de GEI de todas las categorías anteriormente mencionadas, sin embargo, no se han estimado y reportado emisiones de CO₂, CH₄ y N₂O de *incineración de residuos* debido a la falta de datos de actividad.

7.1.2. Tendencia de los GEI del sector

En 2018, las emisiones por GEI del sector Residuos fueron 171.5 kt CO₂, 50.0 kt CH₄ y 1.1 kt N₂O (Tabla 7.1). En general, destaca la categoría de *disposición de residuos sólidos* como la mayor fuente de emisiones de GEI del sector.

Tabla 7.1.

Sector Residuos: emisiones por GEI, categoría y subcategoría para 2018

Código	Categorías de fuente de GEI	CO ₂ (kt)	CH ₄ (kt)	N ₂ O (kt)
5.	Residuos	171.5	50.0	1.1
5.A.	Disposición de residuos sólidos	NA	36.2	
5.A.1.	Sitios de disposición de residuos gestionados	NA	20.5	
5.A.2.	Sitios de disposición de residuos no gestionados	NA	15.7	
5.A.3.	Sitios de disposición de residuos no categorizados	NA	NO	
5.B.	Tratamiento biológico de residuos sólidos		1.8	0.1
5.B.1.	Compostaje		1.8	0.1
5.B.2.	Digestión anaeróbica en instalaciones de biogás		NE	NE
5.C.	Incineración y quema abierta de residuos	171.5	6.9	0.2
5.C.1.	Incineración de residuos	NE	NE	NE
5.C.2.	Incineración abierta de residuos	171.5	6.9	0.2
5.D.	Tratamiento y descarga de aguas residuales		5.1	0.8
5.D.1.	Aguas residuales domésticas		3.2	0.8
5.D.2.	Aguas residuales industriales		2.0	NE
5.D.3.	Otros (especificar)		NO	NO
5.E.	Otros (especificar)	NO	NO	NO

Nota 1: NA = no aplica; NE = no estimado; NO = no ocurre; IE = incluido en otro lugar; C = confidencial.

Nota 2: los GEI reportados como 0.0 corresponden a valores menores a 0.04 kt CO₂ eq.

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

⁹ Aunque las *Directrices del IPCC 2006* denomina a este sector «Desechos», en este capítulo se utilizará el concepto «Residuos», haciendo referencia a los materiales o productos que son desechados (Fernando do Rosario, Concepción Toledo, Barrios Castillo, & González Suárez, 2014).

El sector Residuos representó un 2.8 % del balance nacional en 2018 o el 5.6 % de las emisiones totales (excluyendo UTCUTS). En ese mismo año, sus emisiones alcanzaron 1,750.8 kt CO₂ eq, incrementándose en un 179.1 % desde 1990 y un 63.8 % desde 2005 (Tabla 7.2 y Figura 7.1). La tendencia muestra un incremento sostenido en las emisiones atribuible al crecimiento poblacional que incide proporcionalmente con la generación de residuos sólidos y del uso de sistemas de tratamiento para aguas residuales.

Con respecto a la participación de cada categoría, un 51.7 % corresponde a *disposición de residuos sólidos*, un 22.4 % a *incineración y quema abierta de residuos*, un 21.1 % al *tratamiento y eliminación de aguas residuales* y, finalmente, un 4.9 % corresponde a *tratamiento biológico de residuos sólidos*. Esto muestra la relevancia significativa que tiene la actividad de *disposición de residuos sólidos* a nivel nacional, muestra de esto es que la disminución de las emisiones en 2017 se debe a que en el vertedero El Trébol, el de mayor magnitud de Guatemala, se instaló una planta de generación de electricidad utilizando el gas de vertedero producido.

Tabla 7.2.

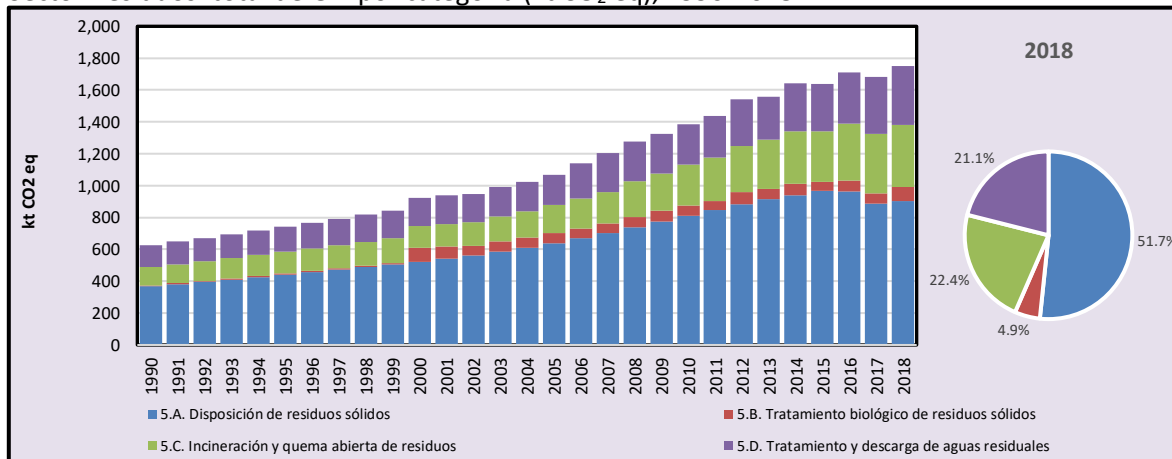
Sector Residuos: total de GEI por categoría (kt CO₂ eq)

Categoría	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
5.A. Disposición de residuos sólidos	368.1	439.9	522.3	639.5	809.2	966.4	962.5	887.9	904.4
5.B. Tratamiento biológico de residuos sólidos	6.7	8.0	85.6	61.9	67.4	58.5	67.9	62.6	85.5
5.C. Incineración y quema abierta de residuos	114.9	135.8	136.8	176.6	253.9	314.8	358.8	375.2	392.1
5.D. Tratamiento y descarga de aguas residuales	137.6	158.1	179.3	191.0	255.4	299.9	320.6	358.7	368.8
Total	627.3	741.8	924.0	1,069.0	1,386.0	1,639.5	1,709.7	1,684.3	1,750.8

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

Figura 7.1.

Sector Residuos: total de GEI por categoría (kt CO₂ eq), 1990-2018



Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

Respecto a las emisiones por tipo de GEI, estas estuvieron representadas por un 71.4 % de CH₄, un 18.8 % de N₂O y un 9.8 % de CO₂ (Tabla 7.3 y Figura 7.2).

Tabla 7.3.

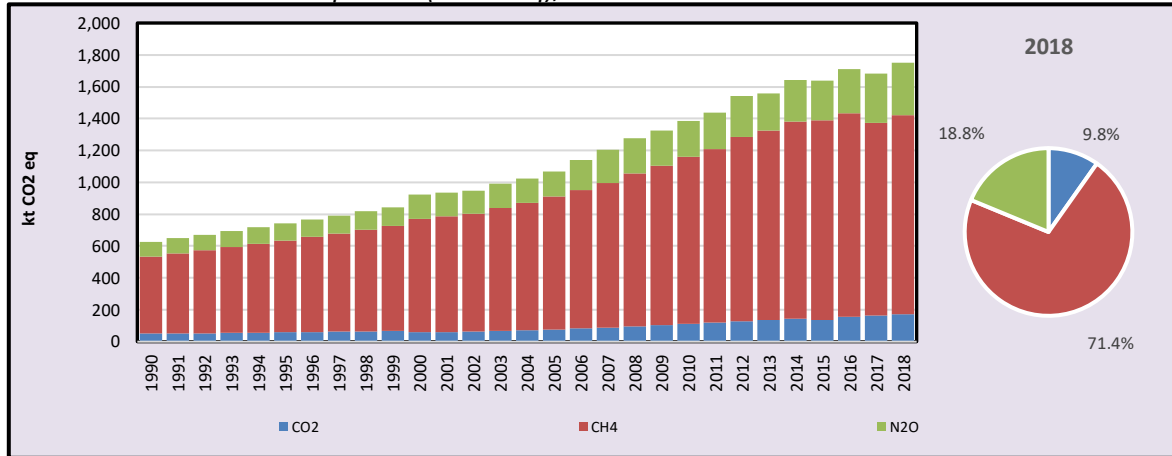
Sector Residuos: emisiones por GEI (kt CO₂ eq)

GEI	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
CO ₂	50.3	59.4	59.9	77.2	111.1	137.7	156.9	164.1	171.5
CH ₄	483.3	575.1	711.7	835.6	1,048.4	1,251.3	1,278.0	1,207.3	1,250.7
N ₂ O	93.7	107.3	152.4	156.2	226.5	250.5	274.8	313.0	328.6
Total	627.3	741.8	924.0	1,069.0	1,386.0	1,639.5	1,709.7	1,684.3	1,750.8

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

Figura 7.2.

Sector Residuos: emisiones por GEI (kt CO₂ eq), 1990-2018



Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

7.1.3. Aspectos metodológicos del sector

Para la estimación de los GEI del sector Residuos se utilizó el método de Nivel 1 y factores de emisión por defecto del Volumen 5 de las *Directrices del IPCC de 2006*¹⁰. Se destaca que se estimaron las categorías de *tratamiento biológico de residuos* y la subcategoría *incineración abierta de residuos* por primera vez.

Respecto a los datos de actividad, la información sobre el manejo de residuos sólidos (*disposición de residuos sólidos, tratamiento biológico de residuos e incineración abierta de residuos*) y aguas residuales que se da a nivel hogar (*aguas residuales domésticas*) se obtuvo desde las Encuestas Nacionales de Condiciones de Vida (ENCOVI) y del Censo 2002 y 2018 (población urbana y rural, nivel socioeconómico, etc.). Además, se utilizó información de ANACAFÉ e INFORM, en conjunto con el dictamen de expertos.

Para la estimación de los GEI se utilizaron hojas de trabajo propias del país, las cuales fueron elaboradas con base en las hojas de trabajo de las *Directrices del IPCC de 2006*, además del modelo de residuos del IPCC.

¹⁰ Disponible en <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/vol5.html>

7.2. Disposición de residuos sólidos (FCR 5.A)

7.2.1. Descripción y tendencia de los GEI de la categoría

Las emisiones de GEI de esta categoría provienen principalmente de la descomposición de los residuos orgánicos y el nivel de su generación depende del manejo que reciban los residuos en los sitios de disposición final y la composición de estos. Los diferentes tipos de residuos contienen diferentes cantidades de carbono, pudiendo diferenciarse entre el carbono orgánico degradable y de carbono fósil (IPCC, 2006). En esta categoría se incluyen las siguientes subcategorías: sitios de disposición de residuos gestionados, sitios de disposición de residuos no gestionados y sitios de disposición de residuos no categorizados.

En el caso de Guatemala, se incluye solo sitios de disposición de residuos gestionados y no gestionados. No se reportan emisiones en la subcategoría no categorizados dado que el total de residuos son asignados a sitios de disposición de residuos sólidos (SDRS) gestionados o no gestionados. Además, las emisiones estimadas corresponden únicamente a los residuos generados en hogares y depositados en sitios de disposición. No se cuenta con información de otros residuos dispuestos en sitios, como ser lodos o industriales.

En 2018, la categoría emitió 904.4 kt CO₂ eq, la cual representan el 51.7 % de las emisiones del sector Residuos. Las emisiones de esta categoría han mostrado una tendencia creciente, aumentando un 145.7 % desde 1990 y en un 41.4 % desde 2005. Desde 2016, se presenta una reducción de emisiones, la cual se debe a que en el vertedero El Trébol —el de mayor magnitud de Guatemala— se instaló una planta de generación de energía eléctrica utilizando el gas de vertedero producido. Esta recuperación de metano, de acuerdo con la metodología, fueron descontadas del total de emisiones estimadas (Tabla 7.4 y Figura 7.3).

Con respecto a las subcategorías, el 56.5 % de las emisiones corresponden a *sitios de disposición de residuos gestionados* y el 43.5 % a los *sitios de disposición de residuos no gestionados*.

Tabla 7.4.

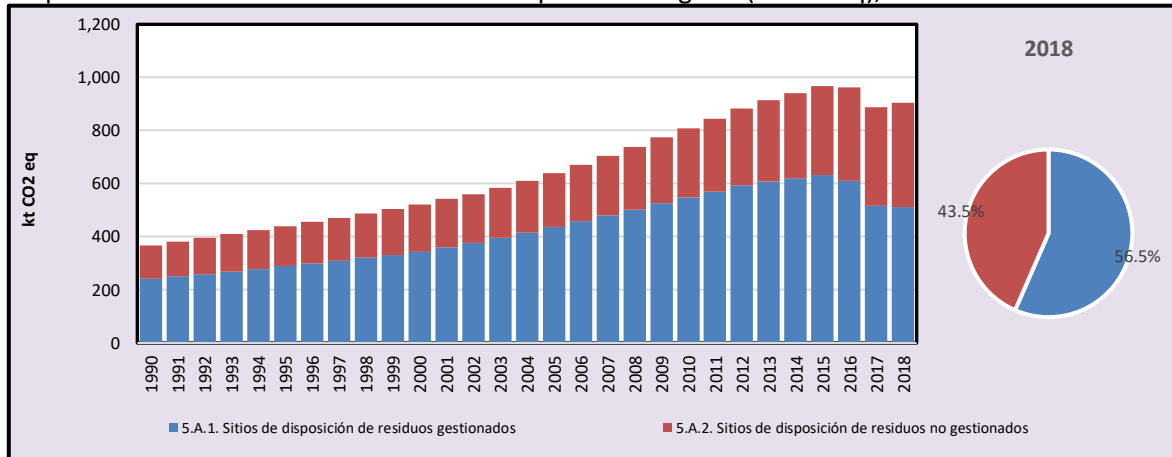
Disposición de residuos sólidos: total de GEI por subcategoría (kt CO₂ eq)

Subcategoría	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
5.A.1. Sitios de disposición de residuos gestionados	241.8	289.0	343.1	436.9	547.5	631.4	609.9	515.9	511.3
5.A.2. Sitios de disposición de residuos no gestionados	126.3	150.9	179.2	202.6	261.7	335.0	352.5	372.0	393.1
Total	368.1	439.9	522.3	639.5	809.2	966.4	962.5	887.9	904.4

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

Figura 7.3.

Disposición de residuos sólidos: total de GEI por subcategoría (kt CO₂ eq), 1990-2018



Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

7.2.2. Aspectos metodológicos de la categoría

Para la estimación de emisiones de GEI de la categoría se utilizó el método de Nivel 1 de acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006*. Este método está basado en el modelo de descomposición de primer orden (FOD), el cual considera un factor exponencial que describe la fracción de material degradable que se descompone cada año para generar biogás.

Las estimaciones se realizan utilizando el libro de cálculo «Modelo de residuos del IPCC» (IPCC, 2006), la cual se desarrolló sobre la base de las Ecuaciones 3.2, 3.4, 3.5, 3.6 y 3.7 del Capítulo 3, Volumen 5 de las *Directrices del IPCC de 2006*. Adicionalmente se utilizaron libros de cálculo auxiliares para el procesamiento de los datos de actividad relacionados con la estimación de la cantidad de residuos sólidos depositados.

Para utilizar el método FOD se requiere contar con datos de población, generación per cápita y composición de residuos sólidos del país desde 1950. La información sobre la población anual se obtuvo de las estimaciones y proyecciones de población a largo plazo 1950-2050 (INE, 2019), la generación per cápita por nivel socio económico y región (división administrativa y área) se obtuvo por medio de criterio de experto (Barrientos, 2020), y la composición de los residuos se obtuvo de la *Guía de identificación de residuos sólidos comunes* (MARN, 2018).

Para obtener el dato W_T , se utiliza además de lo anterior, la información de manejo (destino) de residuos sólidos a nivel hogar, extraído de la ENCOVI y los Censos de 2002 y 2018. Además, se utiliza el supuesto de que todos los residuos generados a nivel hogar con servicio de recolección (clasificado en la encuesta como *servicio privado* o *servicio municipal*) llegan a un SDRS aprobado o reconocido por la municipalidad, pudiendo ser estos sitios gestionados o no gestionados, con base en los criterios de clasificación de las *Directrices del IPCC del 2006*.

Adicionalmente, se toma en cuenta la información sobre la clasificación extraída de la ENCOVI sobre el tipo de manejo *la tiran en cualquier lado* y *la entierran*, cuyas emisiones se estiman asimiladas a un sitio de disposición no manejado.

Para años previos al 2000 no se cuenta con información desagregada. Se utiliza información de población y tasas de generación de residuos agregadas a nivel nacional y se asume que la distribución de manejo de residuos permanece constante e igual a la distribución promedio nacional de 2000.

7.2.3. Sitios de disposición de residuos gestionados (FCR 5.A.1)

7.2.3.1. Descripción y tendencia de los GEI de la subcategoría

Las tasas de generación de emisiones de GEI que se reportan en esta categoría dependen del tipo de manejo que reciban los residuos en los sitios de disposición gestionados. Por esta razón, dependiendo del tipo de manejo los sitios pueden ser clasificados en dos categorías (IPCC, 2006):

- Sitios gestionados anaeróbicos, estos se definen como aquellos que deben tener colocación controlada de los residuos, es decir, los residuos son dirigidos a áreas específicas de deposición en el cual se ejerce cierto control en la recuperación informal de residuos reciclables y la quema de basura y debe incluir uno de los siguientes elementos: (i) material protector de la cubierta; (ii) compactación mecánica o (iii) nivelación de los residuos.
- Sitios gestionados semiaeróbicos, son aquellos que deben garantizar la ubicación controlada de los residuos e incluir todas las estructuras siguientes para introducir aire en las capas de residuos: (i) material de la cubierta permeable; (ii) sistema de drenaje para la lixiviación; (iii) estanques de regulación y (iv) sistema de ventilación de gases.

En 2018, esta categoría emitió 511.39 kt CO₂ eq (la totalidad de estas emisiones provienen de sitios gestionados anaeróbicos), incrementándose 111.4 % desde 1990 y un 17.0 % desde 2005. Tal como se mencionó previamente, desde 2016 se observa una disminución de las emisiones debido a que el vertedero El Trébol —el de mayor magnitud de Guatemala— instaló una planta de captura de metano para generación de energía eléctrica. Esta planta inicio operaciones en 2015, y para 2016, reportó la generación de 4.93 GWh de energía. Para lograr esta generación se consumieron 3,976,667.2 m³ de gas de vertedero, equivalentes a una recuperación de 1.50 kt CH₄. Para el siguiente año entra en operación una segunda planta de generación de energía eléctrica generada por ambas plantas en total 13.38 GWh de energía, consumiendo un volumen de 5,049,479 m³ de gas de vertedero equivalente a 5.9 kt CH₄. Finalmente, en 2018 se reportó una generación de energía de 23.89 GWh, consumiendo en total 19,270,300 m³ de gas de vertedero, recuperando 6.9 kt CH₄. El metano capturado se deduce de las emisiones de metano total generadas por la categoría y dado que se genera energía eléctrica dichas emisiones se reportan en el sector Energía.

7.2.3.2. Aspectos metodológicos de la subcategoría

Para la estimación de GEI se aplicó el método de Nivel 1, para ello se utilizó el modelo FOD siguiendo la metodología y ecuaciones descritas en la Sección 7.2.2, con parámetros por defecto del Capítulo 3, Volumen 5 de las *Directrices del IPCC 2006*, los cuales están complementados con información de tasa de generación per cápita, manejo de residuos (destino) y composición a nivel nacional para algunos años.

Las estimaciones incluyen únicamente las emisiones de metano generadas por residuos depositados originados en hogares, no se contemplan emisiones de otros tipos de residuos depositados en SDRS gestionados como ser lodos o industriales u otros.

El metano recuperado de los SDRS se estima a partir del volumen biogás capturado reportado por las plantas de recuperación de biogás del relleno para generación de energía eléctrica.

7.2.3.2.1. Datos de actividad de la subcategoría

Para estimar la cantidad de residuos sólidos depositados en SDRS gestionados se utilizó información sobre la población anual (INE, 2019); generación per cápita por nivel socio económico, división administrativa y área (Barrientos, 2020) y la información de manejo de residuos sólidos (a nivel hogar) extraído de la ENCOVI 2000, 2006, 2011 y 2014 y del Censo 2002 y 2018. Se utilizó el supuesto de que todos los residuos generados a nivel hogar con servicio de recolección clasificado en la encuesta como *servicio privado* o *servicio municipal*, llegan a un SDRS aprobado o reconocido por la municipalidad. Se asume que solo los residuos generados en el departamento de Guatemala son dispuestos en SDRS gestionados.

Para años previos al 2000 (1950-1999) no se cuenta con la información desagregada antes descrita. Se utiliza información de población y tasas de generación de residuos agregadas a nivel nacional y se asume que la distribución de manejo de residuos permanece constante e igual a la distribución promedio nacional del 2000.

Las series obtenidas fueron empalmadas utilizando el método de la superposición parcial. En la Tabla 7.5 se presenta la cantidad de residuos depositados en SDRS gestionados.

Más información con respecto al procesamiento de los datos y parámetros nacionales para estimar la cantidad de residuos depositados se presenta en el Anexo 5.5.

Tabla 7.5.

Sitios de disposición de residuos gestionados: cantidad de residuos depositados (kt), 1990-2018

Año	Kilotoneladas	Año	Kilotoneladas	Año	Kilotoneladas
1990	255.8	2000	377.3	2010	585.2
1991	262.8	2001	388.9	2011	609.2
1992	272.4	2002	415.3	2012	606.2
1993	282.2	2003	435.0	2013	603.0
1994	292.2	2004	461.2	2014	607.7
1995	302.4	2005	482.6	2015	628.9
1996	312.7	2006	503.6	2016	656.6
1997	323.2	2007	525.4	2017	678.4
1998	334.1	2008	548.3	2018	709.5
1999	345.3	2009	562.7		

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

La composición de los residuos se obtiene de la *Guía para la identificación de los residuos sólidos comunes* elaborado por el MARN en 2014. Se asume que la composición de los residuos permanece constante a lo largo de la serie temporal (Tabla 7.6).

Tabla 7.6.

Sitios de disposición de residuos gestionados: composición de residuos (%)

<i>Tipo de residuos</i>	<i>Composición (%)</i>
Desechos de alimentos	53.0
Jardín	0.0
Papel	6.0
Madera	0.0
Textiles	0.0
Pañales	14.0
Plásticos y otros inertes	27.0

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

La cantidad de metano recuperado para generación de energía eléctrica se estima a partir del volumen de biogás capturado en las plantas (Tabla 7.7).

Tabla 7.7.

Sitios de disposición de residuos gestionados: metano recuperado (kt)

<i>Año</i>	<i>Kilotoneladas</i>
2016	1.4
2017	5.9
2018	6.9

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

7.2.3.2.2. Factores de emisión de la subcategoría

Los parámetros y factores utilizados en el modelo FOD para la estimación de emisiones de metano de SDRS gestionados fueron tomados de los valores por defecto del Capítulo 2 y 3, Volumen 5 de las *Directrices del IPCC de 2006*. En particular, los valores del índice de generación o constante de reacción (k) fueron tomados por defecto por tipo de residuos para clima tropical húmedo (Tabla 7.8 y Tabla 7.9).

Tabla 7.8.

Sitios de disposición de residuos gestionados: DOC y constante de reacción por tipo de residuo

<i>Tipo de residuos</i>	<i>DOC</i>	<i>k (años⁻¹)</i>
Desechos de alimentos	0.15	0.4
Jardín	0.2	0.7
Papel	0.4	0.07
Madera	0.43	0.035
Textiles	0.24	0.17
Pañales	0.24	0.4
Plásticos y otros inertes	0.0	0

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en las *Directrices del IPCC de 2006*.

Se considera para esta subcategoría que el 100 % de los residuos son depositados en SDRS gestionados anaeróbicos y que por sus características constructivas y de manejo cumplen los requisitos establecidos en el Cuadro 3.1, Cap. 3, Vol. 5 para ser clasificados con un MCF de 1.

Tabla 7.9.

Sitios de disposición de residuos gestionados: parámetros del modelo FOD (fracción)

Parámetro	Valor por defecto
DOCf	0.5
F	0.5
Ox	0
MCF	1

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en las *Directrices del IPCC de 2006*.

7.2.3.3. Incertidumbre y coherencia de la serie temporal de la subcategoría

Para estimar las incertidumbres de la subcategoría, se utilizaron los valores de incertidumbre por defecto incluidos en el Cuadro 3.5, Cap. 3, Vol. 5 de las *Directrices del IPCC de 2006*.

Dado que el método FOD no es una estimación lineal de datos de actividad y factores de emisión, sino una serie de variables y parámetros, son aplicados a un modelo de decaimiento exponencial y se agrupan los diferentes elementos (datos, parámetros) utilizados para reportar la incertidumbre como datos de actividad y factores de emisión. A su vez se combinan las incertidumbres como si todos los elementos se estuvieran multiplicando (Tabla 7.10).

Tabla 7.10.

Sitios de disposición de residuos gestionados: incertidumbres de parámetros del método FOD

Elemento del modelo FOD	Incertidumbre	
	(-)%	(+)%
Total de residuos sólidos municipales (MSWT)	100.0 %	100.0 %
Fracción del MSWT enviado a SDRS	100.0 %	100.0 %
Composición de desechos	100.0 %	100.0 %
Carbono orgánico degradable (DOC)	20.0 %	20.0 %
Fracción del carbono orgánico degradable que se descompone DOCf	20.0 %	20.0 %
Factor de corrección de metano (MCF)	10.0 %	0
Fracción de CH ₄ en el gas de vertedero generado (F)	5.0 %	5.0 %
Recuperación de metano (R)	10.0 %	10.0 %
Vida media ($t_{1/2} = \ln 2/k$)	50.0 %	100.0 %

Nota: con fines conservadores y de reporte, cuando el rango de incertidumbre fue asimétrico, se aplicó el valor más distante de la media. Los valores asimétricos pueden consultarse en el Anexo 2.

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en las *Directrices del IPCC 2006*.

Los valores de incertidumbre utilizados y la incertidumbre combinada se presentan en la Tabla 7.11. Se puede apreciar que la incertidumbre combinada está asociada principalmente a las incertidumbres de los datos de actividad utilizados.

Tabla 7.11.

Sitios de disposición de residuos gestionados: valores de incertidumbre utilizados e incertidumbre combinada

Categorías de fuente de GEI	GEI	Incertidumbre de los DA	Incertidumbre del FE	Incertidumbre combinada
Sitios de disposición de residuos gestionados	CH ₄	173.2%	104.5%	202.3%

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en las *Directrices del IPCC de 2006*.

Para asegurar la serie temporal se utilizó un único método (FOD) para la estimación de las emisiones. Los parámetros del modelo se mantuvieron constantes en la serie.

Para estimar la cantidad de residuos sólidos depositados en SDRS gestionados se cuenta con información desagregada a partir del 2000 (generación per cápita por nivel socio económico, división administrativa y área (Barrientos, 2020) y la información de manejo de residuos sólidos (a nivel hogar) extraído de la ENCOVI 2000, 2006, 2011 y 2014 y del Censo 2002 y 2018) y agregada a nivel nacional para años previos. Para completar los años en los cuales no se cuenta con información en el período entre 2000 y 2018 se realizan interpolaciones entre los datos obtenidos en los diferentes ENCOVI y CENSOS.

Dado que se cuenta con información agregada a nivel nacional para toda la serie temporal, se utiliza el método de superposición parcial para empalmar los datos agregados a nivel nacional con los datos desagregados de 2000-2018, avanzando en garantizar de esta forma la coherencia de la serie.

7.2.3.4. Actividades de GCCV de la subcategoría

Las actividades de GCCV aplicadas a la subcategoría fueron las siguientes:

- Verificación que las unidades de emisiones y parámetros se registraron correctamente y que los factores de conversión se utilizaron de manera apropiada.
- Verificación que el movimiento de datos de inventario entre los pasos de procesamiento fue el correcto.
- Verificación de los cambios metodológicos y de datos que resultan en nuevos cálculos.
- Verificación de la tendencia y coherencia de la serie temporal y análisis de la exhaustividad.

7.2.3.5. Nuevos cálculos de la subcategoría

Se presentan los nuevos cálculos en la Sección 7.2.6 de la categoría *disposición de residuos sólidos*, sin distinción por subcategoría, ya que no se dispone de las emisiones desagregadas en la 2CN.

7.2.3.6. Plan de mejora de la subcategoría

Para esta subcategoría se contemplan las siguientes mejoras:

- Mejorar la información sobre el tipo de gestión y características constructivas de los sitios de disposición final especialmente aquellas que se requieren para clasificar al sitio como gestionado, especialmente en los primeros años de la serie dado que se podrían estar sobrestimando emisiones.
- Mejorar los datos sobre producción per cápita de residuos sólidos y cantidades depositadas a lo largo de la serie temporal.
- Mejorar los datos sobre la composición de los residuos a lo largo de la serie temporal.
- Obtener datos de otros residuos depositados como ser residuos industriales y lodos e incluirlos en las emisiones de esta categoría.

- Obtener datos de la fracción de metano en biogás de las plantas que capturan y generan energía eléctrica.
- Mejorar los libros de cálculo auxiliares para facilitar la estimación y control de calidad

Estas mejoras planificadas dependerán en gran medida de las prioridades y el apoyo nacional e internacional que reciba el país.

7.2.4. Sitios de disposición de residuos no gestionados (FCR 5.A.2)

7.2.4.1. Descripción y tendencia de los GEI de la subcategoría

En esta categoría las emisiones de GEI dependen del tipo de manejo que reciban los residuos dentro de un sitio de disposición no gestionado, los cuales se clasifican en:

- Sitios de disposición no gestionados profundos y con capa freática elevada, estos sitios son todos aquellos que no cumplen con los criterios de los SDRS gestionados y que tienen profundidades mayores o iguales a 5 m y una capa freática elevada cercana al nivel del suelo, esta última corresponde al llenado con residuos de un terreno con aguas fluviales, como un estanque, río o humedal.
- Sitios de disposición no gestionados poco profundos, son todos aquellos que no cumplen con los criterios de los SDRS gestionados y que tienen profundidades de menos de 5 m.

En Guatemala se considera como *sitios de disposición de residuos no gestionados* aquellos que son poco profundos y que pueden ser reconocidos por las municipalidades pero que no tienen un manejo, así como también aquellos que son tirados en cualquier lado y enterrados fuera de SDRS. Estos SDRS producen una menor cantidad de metano que los sitios gestionados, ya que una mayor fracción de residuos se descompone aeróbicamente en la capa superior.

En 2018, las emisiones de la subcategoría alcanzaron los 393.1 kt CO₂ eq incrementándose en un 211.3 % desde 1990 y en un 94.0 % desde 2005. Este aumento en las emisiones está dado por el incremento de la población que deposita los residuos sólidos en estos sitios de disposición.

7.2.4.2. Aspectos metodológicos de la subcategoría

Se utilizó el modelo FOD siguiendo la metodología y ecuaciones descritas en la Sección 7.2.2 con parámetros por defecto del Capítulo 3, Volumen 5 de las *Directrices del IPCC 2006* complementados con información de tasa de generación per cápita, manejo de residuos (destino) y composición a nivel nacional para algunos años. Las estimaciones incluyen únicamente las emisiones de metano generadas por residuos depositados originados en hogares, no se contemplan emisiones de otros tipos de residuos depositados en SDRS no gestionados como ser lodos o industriales u otros.

7.2.4.2.1. Datos de actividad de la subcategoría

Para estimar la cantidad de residuos sólidos depositados en SDRS no gestionados se utilizó información sobre la población anual (INE, 2019); generación per cápita por nivel socio económico,

división administrativa y área (Barrientos, 2020) y la información de manejo de residuos sólidos (a nivel hogar) extraído de la ENCOVI 2000, 2006, 2011 y 2014 y del Censo 2002 y 2018. Se utilizó el supuesto de que todos los residuos generados a nivel hogar con servicio de recolección clasificado en la encuesta como *servicio privado* o *servicio municipal*, llegan a un SDRS aprobado o reconocido por la municipalidad. Se asume que solo los residuos generados en el departamento de Guatemala son dispuestos en SDRS gestionados y el resto son dispuestos en SDRS no gestionados. Adicionalmente, se agregan a esta subcategoría todos los residuos generados a nivel hogar clasificados en la encuesta como *lo tiran en cualquier lado* y *lo entierran*.

Para años previos al 2000 (1950-1999) no se cuenta con la información desagregada antes descrita. Se utiliza información de población y tasas de generación de residuos agregadas a nivel nacional y se asume que la distribución de manejo de residuos permanece constante e igual a la distribución promedio nacional de 2000.

Las series obtenidas fueron empalmadas utilizando el método de la superposición parcial. En la Tabla 7.12 se presenta la cantidad de residuos depositados en SDRS no gestionados.

Más información con respecto al procesamiento de los datos y parámetros nacionales para estimar la cantidad de residuos depositados se presenta en el Anexo 5.5.

Tabla 7.12.

Sitios de disposición de residuos no gestionados: cantidad de residuos depositados (kt), 1990-2018

Año	Kilotoneladas	Año	Kilotoneladas	Año	Kilotoneladas
1990	333.9	2000	433.7	2010	730.6
1991	343.0	2001	436.8	2011	775.0
1992	355.7	2002	456.5	2012	806.1
1993	368.5	2003	488.8	2013	838.1
1994	381.5	2004	513.4	2014	874.2
1995	394.7	2005	548.6	2015	933.1
1996	408.2	2006	579.4	2016	991.8
1997	421.9	2007	621.8	2017	1,052.7
1998	436.1	2008	662.5	2018	1,122.8
1999	450.7	2009	692.0		

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

Se considera la misma composición de residuos utilizada para la estimación de emisiones de los sitios de disposición gestionados.

7.2.4.2.2. Factores de emisión de la subcategoría

Todos los parámetros y variables fueron tomados por defecto de los Capítulos 2 y 3, Vol. 5 de las *Directrices del IPCC de 2006*. En particular, los valores del índice de generación o constante de reacción (k) fueron tomados por defecto por tipo de residuos para clima tropical húmedo (Tabla 7.13 y Tabla 7.14).

Tabla 7.13.

Sitios de disposición de residuos no gestionados: DOC y constante de reacción por tipo de residuo

Tipo de residuos	DOC	k (años ⁻¹)
Desechos de alimentos	0.15	0.4
Jardín	0.2	0.7
Papel	0.4	0.07

Tipo de residuos	DOC	k (años ⁻¹)
Madera	0.43	0.035
Textiles	0.24	0.17
Pañales	0.24	0.4
Plásticos y otros inertes	0.0	0

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en las *Directrices del IPCC de 2006*.

Se considera para esta subcategoría que el 100 % de los residuos son depositados en SDRS no gestionados tienen una profundidad menor 5 m y cumplen los requisitos establecidos en el Cuadro 3.1, Cap. 3, Vol. 5 de las *Directrices del IPCC* para ser clasificados con un MCF de 0.4.

Tabla 7.14.

Sitios de disposición de residuos no gestionados: parámetros del modelo FOD (fracción)

Parámetro	Valor por defecto
DOCf	0.5
F	0.5
Ox	0
MCF	0.4

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en las *Directrices del IPCC de 2006*.

7.2.4.3. Incertidumbre y coherencia de la serie temporal de la subcategoría

Para estimar las incertidumbres de la subcategoría, se utilizaron los valores de incertidumbre por defecto incluidos en el Cuadro 3.5, Cap. 3, Vol. 5 de las *Directrices del IPCC de 2006*.

Dado que el método FOD no es una estimación lineal de datos de actividad y factores de emisión, sino una serie de variables y parámetros, son aplicados a un modelo de decaimiento exponencial y se agrupan los diferentes elementos (datos, parámetros) utilizados para reportar la incertidumbre como datos de actividad y factores de emisión. A su vez se combinan las incertidumbres como si todos los elementos se estuvieran multiplicando (Tabla 7.15).

Tabla 7.15.

Sitios de disposición de residuos no gestionados: incertidumbres de variables y parámetros del método FOD

Elemento del modelo FOD	Incertidumbre	
	(-)%	(+)%
Total de residuos sólidos municipales (MSWT)	100.0 %	100.0 %
Fracción del MSWT enviado a SDRS	100.0 %	100.0 %
Composición de desechos	100.0 %	100.0 %
Carbono orgánico degradable (DOC)	20.0 %	20.0 %
Fracción del carbono orgánico degradable que se descompone DOCf	20.0 %	20.0 %
Factor de corrección de metano (MCF)	30.0 %	30.0 %
Fracción de CH ₄ en el gas de vertedero generado (F)	5.0 %	5.0 %
Vida media (t _{1/2} =Ln2/k)	50.0 %	100.0 %

Nota: con fines conservadores y de reporte, cuando el rango de incertidumbre fue asimétrico, se aplicó el valor más distante de la media. Los valores asimétricos pueden consultarse en el Anexo 2.

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en las *Directrices del IPCC 2006*.

Los valores de incertidumbre utilizados y la incertidumbre combinada se presentan en la Tabla 7.16. Se puede apreciar que la incertidumbre combinada está asociada principalmente a las incertidumbres de los datos de actividad utilizados.

Tabla 7.16.

Sitios de disposición de residuos no gestionados: valores de incertidumbre utilizados e incertidumbre combinada

<i>Categorías de fuente de GEI</i>	<i>GEI</i>	<i>Incertidumbre de los DA</i>	<i>Incertidumbre del FE</i>	<i>Incertidumbre combinada</i>
Sitios de disposición de residuos no gestionados	CH ₄	173.2%	108.3%	204.3%

Nota: con fines conservadores y de reporte, cuando el rango de incertidumbre fue asimétrico, se aplicó el valor más distante de la media. Los valores asimétricos pueden consultarse en el Anexo 2.

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en las *Directrices del IPCC 2006*.

Para asegurar la serie temporal se utilizó un único método (FOD) para la estimación de las emisiones. Los parámetros del modelo se mantuvieron constantes en la serie.

Para estimar la cantidad de residuos sólidos depositados en SDRS gestionados se cuenta con información desagregada a partir del 2000 (generación per cápita por nivel socio económico, división administrativa y área (Barrientos, 2020) y la información de manejo de residuos sólidos (a nivel hogar) extraído de la ENCOVI 2000, 2006, 2011 y 2014 y del Censo 2002 y 2018) y agregada a nivel nacional para años previos. Para completar los años en los cuales no se cuenta con información en el período entre 2000 y 2018 se realizan interpolaciones entre los datos obtenidos en los diferentes ENCOVI y CENSOS.

Dado que se cuenta con información agregada a nivel nacional para toda la serie temporal, se utiliza el método de superposición parcial para empalmar los datos agregados a nivel nacional con los datos desagregados de 2000-2018, avanzando en garantizar de esta forma la coherencia de la serie.

7.2.4.4. Actividades de GCCV de la subcategoría

Las actividades de GCCV aplicadas a la subcategoría fueron las siguientes:

- Verificación que las unidades de emisiones y parámetros se registraron correctamente y que los factores de conversión se utilizaron de manera apropiada.
- Verificación que el movimiento de datos de inventario entre los pasos de procesamiento fue el correcto.
- Verificación de los cambios metodológicos y de datos que resultan en nuevos cálculos.
- Verificación de la tendencia y coherencia de la serie temporal y análisis de la exhaustividad.

7.2.4.5. Nuevos cálculos de la subcategoría

Se presentan los nuevos cálculos en la Sección 7.2.6 de la categoría *disposición de residuos sólidos*, sin distinción por subcategoría, ya que no se dispone de las emisiones desagregadas en la 2CN.

7.2.4.6. Plan de mejora de la subcategoría

Para esta subcategoría se contemplan las siguientes mejoras:

- Mejorar la información sobre el tipo de gestión y características constructivas de los sitios de disposición final de modo de verificar que el MCF de 0.4 aplique para todos los vertederos no controlados del país.
- Verificar los supuestos realizados para incluir las fracciones de residuos que «son tiradas en cualquier lado» y las «enterradas» en función de la clasificación de la encuesta de forma de seleccionar un MCF adecuado para ese tipo de manejo (si corresponde).
- Mejorar los datos sobre producción per cápita de residuos sólidos y cantidades depositadas a lo largo de la serie temporal.
- Mejorar los datos sobre la composición de los residuos a lo largo de la serie temporal.
- Obtener datos de otros residuos depositados como ser residuos industriales y lodos e incluirlos en las emisiones de esta categoría.
- Mejorar los libros de cálculo de forma de facilitar la estimación y las actividades de control de calidad.

Estas mejoras planificadas dependerán en gran medida de las prioridades y el apoyo nacional e internacional que reciba el país.

7.2.5. Sitios de disposición de residuos sólidos no categorizados (FCR 5.A.3)

Las emisiones por el manejo de residuos sólidos fueron distribuidas en las subcategorías *sitios de disposición de residuos gestionados* y *sitios de disposición de residuos no gestionados*, razón por la cual, esta categoría es reportada como no ocurre.

7.2.6. Nuevos cálculos de la categoría

El principal cambio que justifica la realización de nuevos cálculos fue la implementación de las *Directrices del IPCC de 2006* ya que para la 2CN se utilizaron *las Directrices Revisadas del IPCC de 1996*. Adicionalmente a la implementación del método FOD, se obtuvieron nuevas fuentes de información que contribuyeron a la mejora en la estimación de las emisiones. En la Tabla 7.17 se resumen los resultados obtenidos, los cuales tienden a la baja para todos los años comparados.

Tabla 7.17.

Disposición de residuos sólidos: comparación entre los totales anuales de los inventarios (kt CO₂ eq)

Categoría	1994	2000	2005
INGEI - 2CN	803.8	958.0	1,144.1
INGEI - 1IBA	424.7	522.3	639.5
Diferencia	-379.1	-435.7	-504.6
Diferencia porcentual	-47.2%	-45.5%	-44.1%

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en la 2CN de Guatemala.

7.3. Tratamiento biológico de residuos sólidos (FCR 5.B)

7.3.1. Descripción y tendencia de los GEI de la categoría

Las emisiones de GEI que se reportan en esta categoría se generan a partir de la fabricación de abono orgánico (*compostaje*) y otros tratamientos biológicos de los residuos sólidos (*digestión anaeróbica en instalaciones de biogás*) (IPCC, 2006).

A nivel nacional, la categoría incluye las emisiones de compostaje provenientes la fabricación de abono doméstico y del tratamiento biológico de la pulpa de café (residuo del procesamiento industrial de café). No se han identificado para este inventario, actividades relacionadas a la *digestión anaeróbica en instalaciones de biogás*.

En 2018, las emisiones de la categoría contabilizaron 85.5 kt CO₂ eq, representando un crecimiento del 1,166.8 % desde 1990 y del 38.4 % con respecto a 2005. La principal subcategoría es compostaje de pulpa de café con 81.3 % de las emisiones de la categoría, mientras que la subcategoría compostaje doméstico aporta el restante 18.7 %. Las emisiones por *compostaje de pulpa de café* se reportan desde 2000, no fue posible estimar los años anteriores debido a falta de datos de actividad (Tabla 7.18 y Figura 7.4).

Tabla 7.18.

Tratamiento biológico de residuos sólidos: total de GEI por subcategoría (kt CO₂ eq)

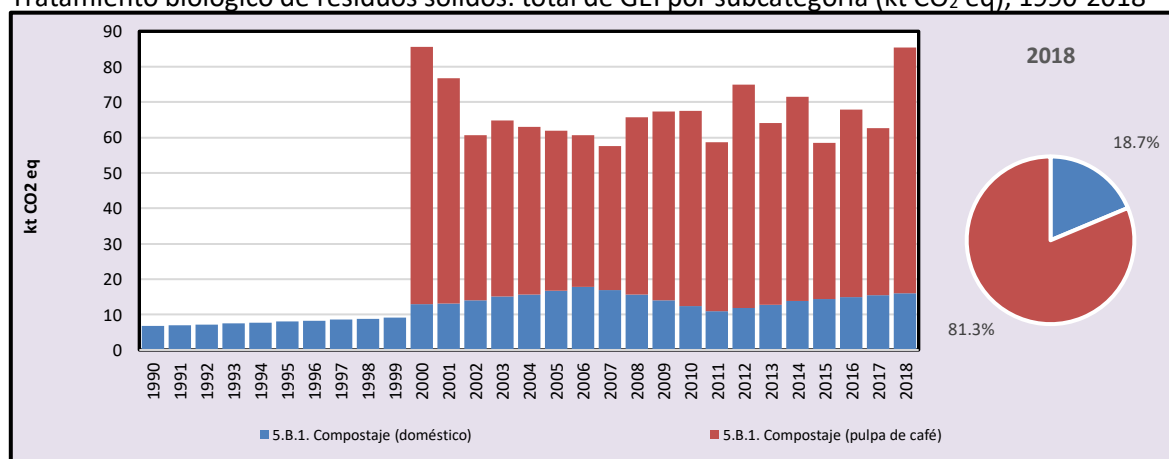
Subcategoría	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
5.B.1. Compostaje (doméstico)	6.7	8.0	12.9	16.7	12.5	14.4	14.9	15.4	16.0
5.B.1. Compostaje (pulpa de café)	NE	NE	72.7	45.2	55.0	44.1	53.1	47.2	69.5
Total	6.7	8.0	85.6	61.9	67.4	58.5	67.9	62.6	85.5

Nota: NE = No estimado.

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

Figura 7.4.

Tratamiento biológico de residuos sólidos: total de GEI por subcategoría (kt CO₂ eq), 1990-2018



Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

7.3.2. Aspectos metodológicos de la categoría

Para la estimación de las emisiones de GEI de la categoría *tratamiento biológico de residuos sólidos* se utilizó el método de Nivel 1 para las emisiones de CH₄ y N₂O de acuerdo con las *Directrices del*

IPCC de 2006 y con factores de emisión por defecto. Para la estimación de emisiones de metano se utilizó la Ecuación 4.1, Cap. 4, Vol. 5. Para el óxido nitroso se utiliza la Ecuación 4.2, Cap. 4, Vol. 5.

7.3.2.1. Datos de actividad de la categoría

Para estimar la cantidad de residuos sólidos destinados a *compostaje* doméstico se utilizó información sobre la población anual (INE, 2019); generación per cápita por nivel socio económico, división administrativa y área (Barrientos, 2020) y la información de manejo de residuos sólidos (a nivel hogar) extraído de la ENCOVI 2000, 2006, 2011 y 2014 y del Censo 2002 y 2018. Se utilizó el supuesto de que todos los residuos generados a nivel hogar clasificados en la encuesta como *abonera/reciclan* tienen como destino el *compostaje* doméstico.

Para años previos al 2000 (1990-1999) no se cuenta con la información desagregada antes descrita. Se utiliza información de población y tasas de generación de residuos agregadas a nivel nacional y se asume que la distribución de manejo de residuos para *compostaje* permanece constante e igual a la distribución promedio nacional de 2000. Las series obtenidas fueron empalmadas utilizando el método de la superposición parcial.

Más información con respecto al procesamiento de los datos y parámetros nacionales para estimar la cantidad de residuos compostados se presenta en el Anexo 5.5.

Los datos de actividad para la actividad de *compostaje* de pulpa de café fueron provistos por ANACAFE. En la Tabla 7.19 se presenta la cantidad de residuos depositados en SDRS no gestionados.

Tabla 7.19.

Tratamiento biológico de residuos sólidos: cantidad de residuos compostado (kt), 1990-2018

Año	Compostaje doméstico	Compostaje de pulpa de café
1990	35.6	NE
1991	36.6	NE
1992	37.9	NE
1993	39.3	NE
1994	40.7	NE
1995	42.1	NE
1996	43.5	NE
1997	45.0	NE
1998	46.5	NE
1999	48.1	NE
2000	67.9	384.0
2001	69.0	336.6
2002	73.9	246.0
2003	79.4	263.0
2004	82.2	250.9
2005	88.2	238.8
2006	93.9	226.7
2007	89.0	214.6
2008	82.8	263.9
2009	73.6	282.0
2010	65.9	290.2
2011	57.5	252.5

Año	Compostaje doméstico	Compostaje de pulpa de café
2012	62.3	333.7
2013	67.5	270.7
2014	72.9	304.5
2015	75.8	232.8
2016	78.4	280.2
2017	81.4	248.4
2018	84.3	366.8

Nota: NE = No estimado.

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

7.3.2.2. Factores de emisión de la categoría

Los factores de emisión utilizados para la estimación de emisiones de esta categoría son los valores por defecto del Cuadro 4.1, Cap. 4, Vol. 5 de las *Directrices del IPCC de 2006* (Tabla 7.20). Estos factores de emisión se utilizan tanto para el tratamiento biológico de residuos doméstico como para el tratamiento biológico de la pulpa de café.

Tabla 7.20.

Tratamiento biológico de residuos sólidos: factores de emisión utilizados (g GEI/kg residuo tratado (base húmeda))

Tipo de tratamiento	Valor para CH ₄	Valor para N ₂ O
Compostaje	4.0	0.3

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en las *Directrices del IPCC de 2006*.

7.3.3. Incertidumbre y coherencia de la serie temporal de la categoría

Para la incertidumbre en los datos de actividad, los valores por defecto se obtienen del Cuadro 3.5, Cap. 3, Vol. 5 de las *Directrices del IPCC de 2006*. Las incertidumbres para los factores de emisión se obtienen a partir del Cuadro 4.1, Cap. 4, Vol. 5.

Los valores de incertidumbre utilizados y la incertidumbre combinada se presentan en la Tabla 7.21. Se puede apreciar que las incertidumbres combinadas están asociadas de igual forma a las incertidumbres de los datos de actividad y los factores de emisión utilizados.

Tabla 7.21.

Tratamiento biológico de residuos sólidos: valores de incertidumbre utilizados e incertidumbre combinada

Categorías de fuente de GEI	GEI	Incertidumbre de los DA	Incertidumbre del FE	Incertidumbre combinada
Compostaje	CH ₄	100.0%	100.0%	141.4%
Compostaje	N ₂ O	100.0%	100.0%	141.4%

Nota: con fines conservadores y de reporte, cuando el rango de incertidumbre fue asimétrico, se aplicó el valor más distante de la media. Los valores asimétricos pueden consultarse en el Anexo 2.

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en las *Directrices del IPCC 2006*.

Para asegurar la serie temporal se utilizó la misma metodología para la estimación de las emisiones. Los factores de emisión utilizados se mantuvieron constantes en la serie.

Para estimar la cantidad de residuos sólidos compostados a nivel doméstico se cuenta con información desagregada a partir del 2000 (generación per cápita por nivel socio económico,

división administrativa y área (Barrientos, 2020) y la información de manejo de residuos sólidos (a nivel hogar) extraído de la ENCOVI 2000, 2006, 2011 y 2014 y del Censo 2002 y 2018) y agregada a nivel nacional para años previos. Para completar los años en los cuales no se cuenta con información en el período entre 2000 y 2018 se realizan interpolaciones entre los datos obtenidos en los diferentes ENCOVI y CENSOS.

Dado que se cuenta con información agregada a nivel nacional para toda la serie temporal, se utiliza el método de superposición parcial para empalmar los datos agregados a nivel nacional con los datos desagregados de 2000-2018, avanzando en garantizar de esta forma la coherencia de la serie.

La fuente de información utilizada para el compostaje de pulpa de café es el mismo (ANACAFE) para los años en los cuales se dispone de información. No se posee información para toda la serie temporal por lo que no se logró estimar la serie completa.

7.3.4. Actividades de GCCV de la categoría

Las actividades de GCCV aplicadas a la categoría fueron las siguientes:

- Verificación que las unidades de emisiones y parámetros se registraron correctamente y que los factores de conversión se utilizaron de manera apropiada.
- Verificación que el movimiento de datos de inventario entre los pasos de procesamiento fue el correcto.
- Verificación de los cambios metodológicos y de datos que resultan en nuevos cálculos.
- Verificación de la tendencia y coherencia de la serie temporal y análisis de la exhaustividad.

7.3.5. Nuevos cálculos de la categoría

Esta categoría no fue estimada en la 2CN, por lo tanto, no es posible comparar resultados.

7.3.6. Plan de mejora de la categoría

Para esta categoría se contemplan las siguientes mejoras:

- Mejorar los datos y parámetros utilizados para la estimación de los residuos domésticos compostados.
- Obtener los datos de actividad necesarios para estimar las emisiones del compostaje de pulpa de café en toda la serie temporal o utilizar una técnica de resolución de vacíos de datos de forma de obtener una serie temporal completa.
- Verificar la exhaustividad de la categoría, especialmente verificar la ocurrencia de digestión anaeróbica de residuos con o sin recuperación de metano y otras actividades de compostaje.

Estas mejoras planificadas dependerán en gran medida de las prioridades y el apoyo nacional e internacional que reciba el país.

7.4. Incineración y quema abierta de residuos (FCR 5.C)

7.4.1. Descripción y tendencia de los GEI de la categoría

Las emisiones de GEI que se reportan en esta categoría se generan a partir del tipo de incineración a los que se someten los residuos sólidos y en la composición que tengan los mismos. Por esta razón, en esta categoría, se presenta información de las emisiones generadas a partir de la cantidad de residuos que se incineran, tomando en cuenta las siguientes subcategorías: *incineración de residuos* e *incineración abierta de residuos*.

A nivel nacional ocurren ambas subcategorías, sin embargo, para el presente el inventario solo se contó con información para estimar las emisiones GEI de la subcategoría *de incineración abierta de residuos*, reportándose la subcategoría de incineración de residuos como no estimada.

En 2018, esta categoría generó 392.1 kt CO₂ eq, incrementándose en un 241.2 % desde 1990 y en un 122.0 % desde 2005. Este aumento está asociado al incremento de la práctica de incineración de la población (Tabla 7.22 y Figura 7.5).

Tabla 7.22.

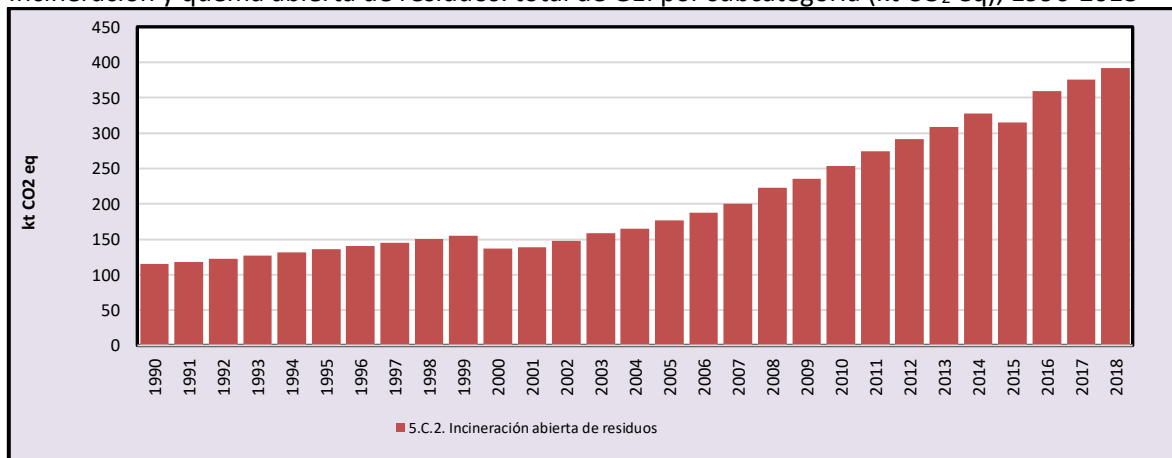
Incineración y quema abierta de residuos: total de GEI por subcategoría (kt CO₂ eq)

Subcategoría	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
5.C.2. Incineración abierta de residuos	114.9	135.8	136.8	176.6	253.9	314.8	358.8	375.2	392.1

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

Figura 7.5.

Incineración y quema abierta de residuos: total de GEI por subcategoría (kt CO₂ eq), 1990-2018



Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

7.4.2. Aspectos metodológicos de la categoría

Para la estimación de las emisiones de GEI de *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. La subcategoría incineración de residuos no fue estimada debido a falta de datos de actividad.

7.4.3. Incineración de residuos (FCR 5.C.1)

La incineración se define como la combustión de los residuos sólidos y líquidos en instalaciones de incineración controladas. Los incineradores de desperdicios poseen grandes chimeneas y cámaras de combustión, especialmente diseñadas que producen altas temperaturas de combustión, tiempos largos de residencia y agitación eficiente de los residuos al tiempo que introducen aire para una combustión más completa (IPCC, 2006).

A pesar de que se tiene conocimiento que la incineración de residuos ocurre en Guatemala, principalmente con residuos hospitalarios y farmacéuticos, no se ha tenido acceso a esta información, por lo tanto, se contempla realizar contacto directo con las empresas que realizan incineración controlada. Además, a partir de las licencias que el MARN provee a las empresas que realizan incineración controlada, solicitar información sobre el tipo de tecnología con la que se trabaja, la cantidad de residuos tratados y el tipo de residuos tratados (composición). Finalmente, se promoverán arreglos institucionales con las empresas que realizan esta actividad para proveer datos de actividad y otra información relevante para la estimación de emisiones.

7.4.4. Incineración abierta de residuos (FCR 5.C.2)

7.4.4.1. Descripción y tendencia de los GEI de la subcategoría

La incineración abierta de residuos evalúa la cantidad de residuos que son incinerados a cielo abierto, en esta práctica la combustión de materiales combustibles no deseados, tales como papel, madera, plástico, textiles, caucho, residuos de aceites y otros residuos al aire libre o en vertederos abiertos, liberan el humo y otras emisiones directamente al aire, sin pasar por una chimenea o columna (IPCC, 2006).

En esta categoría se debe tomar en cuenta que una fracción que llega a los vertederos se quema a cielo abierto, sin embargo, no se cuenta con información sobre esta práctica dentro los sitios de disposición, por lo que no se considera en la estimación de emisiones para estos inventarios. Se consideran para esta subcategoría las emisiones generadas por la población que declara en ENCOVI y censos quemar los residuos generados en el hogar.

En 2018, esta categoría emitió 392.1 kt CO₂ eq, presentando un aumento de 241.2 % desde 1990. Este aumento en las emisiones en la categoría es el aumento en la práctica de incineración abierta de los residuos a nivel hogar.

7.4.4.2. Aspectos metodológicos de la subcategoría

Para la estimación de las emisiones de CO₂, CH₄ y de N₂O de la subcategoría se utilizó el método de Nivel 1 de acuerdo con las *Directrices del IPCC* de 2006 con factores de emisión por defecto. Para la estimación de las emisiones de CO₂ se utilizó la Ecuación 5.1, Cap. 5, Vol. 5. Las emisiones de CH₄ se estimaron utilizando la Ecuación 5.4, Cap. 5, Vol. 5. Finalmente, en cuanto a la estimación de las emisiones de N₂O, se toma en cuenta la entrada de residuos a la incineración abierta utilizando la Ecuación 5.5, Cap. 5, Vol. 5.

7.4.4.2.1. Datos de actividad de la subcategoría

Para estimar la cantidad total de residuos sólidos municipales incinerados de forma abierta se utilizó información sobre la población anual (INE, 2019); generación per cápita por nivel socio económico, división administrativa y área (Barrientos, 2020) y la información de manejo de residuos sólidos (a nivel hogar) extraído de la ENCOVI 2000, 2006, 2011 y 2014 y del Censo 2002 y 2018. Se utilizó el supuesto de que todos los residuos generados a nivel hogar clasificados en la encuesta como *lo queman* tienen como destino la *incineración abierta de residuos*.

Para años previos al 2000 (1990-1999) no se cuenta con la información desagregada antes descrita. Se utiliza información de población y tasas de generación de residuos agregadas a nivel nacional y se asume que la distribución de manejo de residuos para incineración abierta permanece constante e igual a la distribución promedio nacional de 2000.

Las series obtenidas fueron empalmadas utilizando el método de la superposición parcial. En la Tabla 7.23 se presenta la cantidad de residuos quemados en incineración abierta.

Más información con respecto al procesamiento de los datos y parámetros nacionales para estimar la cantidad de residuos depositados se presenta en el Anexo 5.5.

Tabla 7.23.

Incineración abierta: cantidad de residuos quemados (kt), 1990-2018

Año	Kilotoneladas	Año	Kilotoneladas	Año	Kilotoneladas
1990	495.5	2000	371.6	2010	689.5
1991	509.0	2001	376.6	2011	744.2
1992	527.7	2002	400.1	2012	790.6
1993	546.7	2003	429.5	2013	839.1
1994	566.0	2004	447.7	2014	890.3
1995	585.7	2005	479.6	2015	854.7
1996	605.7	2006	509.2	2016	974.3
1997	626.1	2007	543.7	2017	1,018.8
1998	647.1	2008	606.0	2018	1,064.8
1999	668.8	2009	639.0		

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

7.4.4.2.2. Factores de emisión de la subcategoría

Los parámetros de los residuos domiciliarios utilizados para la estimación de emisiones de CO₂ son los valores por defecto de acuerdo con las *Directrices del IPCC* de 2006 (Cuadro 2.6, Cap. 2, Vol. 2 y Cuadro 5.3, Cap. 5, Vol. 5) excepto por la fracción de composición en que utilizan datos país específico (Tabla 7.24).

Tabla 7.24.

Incineración abierta: parámetros utilizados para estimación de emisiones de CO₂

Tipo de residuo	Composición (%)	Materia seca (dm) (fracción)	Fracción de carbono en la materia seca (CF) (fracción)	Fracción de carbono fósil en el carbono total (FCF) (fracción)	Factor de oxidación (OF) (fracción)
Materia orgánica	53	40	38	-	-
Desechos sanitarios	14	40	70	10	58
Plásticos	9	100	75	100	58
Papel/cartón	6	90	46	1	58
Desechos peligrosos	1	55	0	25	58
latas	1	-	-	-	-
Otros	16	90	3	100	58

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en las *Directrices del IPCC de 2006*.

Los factores de emisión para el CH₄ y N₂O utilizados para la estimación de las emisiones de GEI de la subcategoría fueron valores por defecto de las *Directrices del IPCC de 2006* (Sección 5.4.2 para CH₄ y Cuadro 5.6 para N₂O, ambos en Cap. 5, Vol. 5) (Tabla 7.25).

Tabla 7.25.

Incineración abierta: factores de emisión utilizados

Subcategoría	CH ₄		N ₂ O	
	Valor	Unidad	Valor	Unidad
Incineración abierta	6,500	g CH ₄ /t DSM peso húmedo	150	g N ₂ O/t residuos

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en las *Directrices del IPCC de 2006*.

7.4.4.3. Incertidumbre y coherencia de la serie temporal de la subcategoría

Debido a que los datos sobre residuos incinerados se estiman con los mismos parámetros que los dispuestos en sitios de disposición final (población, generación de residuos per cápita y la fracción de residuos por tipo de gestión) se considera la incertidumbre del dato de actividad estimadas para las categorías de *disposición de residuos gestionados y no gestionados*.

Las incertidumbres de los factores de emisión de CO₂, CH₄ y N₂O de esta categoría se obtienen a partir de la Sección 5.7.15 y de la Sección 5.7.2, Cap. 5, Vol. 5 de las *Directrices del IPCC de 2006*.

Los valores de incertidumbre utilizados y la incertidumbre combinada se presentan en la Tabla 7.26. Se puede apreciar que las mayores incertidumbres combinadas están asociadas a las incertidumbres de los datos de actividad utilizados.

Tabla 7.26.

Incineración abierta: valores de incertidumbre utilizados e incertidumbre combinada

Categorías de fuente de GEI	GEI	Incertidumbre de los DA	Incertidumbre del FE	Incertidumbre combinada
Incineración abierta de residuos	CO ₂	173.2%	40.0%	177.8%
Incineración abierta de residuos	CH ₄	173.2%	100.0%	200.0%
Incineración abierta de residuos	N ₂ O	173.2%	100.0%	200.0%

Nota: con fines conservadores y de reporte, cuando el rango de incertidumbre fue asimétrico, se aplicó el valor más distante de la media. Los valores asimétricos pueden consultarse en el Anexo 2.

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en las *Directrices del IPCC 2006*.

Para asegurar la serie temporal se utilizó la misma metodología para la estimación de las emisiones. Los factores de emisión utilizados se mantuvieron constantes en la serie.

Para estimar la cantidad de residuos sólidos con quema abierta a nivel doméstico se cuenta con información desagregada a partir del 2000 (generación per cápita por nivel socio económico, división administrativa y área (Barrientos, 2020) y la información de manejo de residuos sólidos (a nivel hogar) extraído de la ENCOVI 2000, 2006, 2011 y 2014 y del Censo 2002 y 2018) y agregada a nivel nacional para años previos. Para completar los años en los cuales no se cuenta con información en el período entre 2000 y 2018 se realizan interpolaciones entre los datos obtenidos en los diferentes ENCOVI y CENSOS.

Dado que se cuenta con información agregada a nivel nacional para toda la serie temporal, se utiliza el método de superposición parcial para empalmar los datos agregados a nivel nacional con los datos desagregados de 2000-2018, avanzando en garantizar de esta forma la coherencia de la serie.

7.4.4.4. Actividades de GCCV de la subcategoría

Las actividades de GCCV aplicadas a la subcategoría fueron las siguientes:

- Verificación que las unidades de emisiones y parámetros se registraron correctamente y que los factores de conversión se utilizaron de manera apropiada.
- Verificación que el movimiento de datos de inventario entre los pasos de procesamiento fue el correcto.
- Verificación de los cambios metodológicos y de datos que resultan en nuevos cálculos.
- Verificación de la tendencia y coherencia de la serie temporal y análisis de la exhaustividad.

7.4.4.5. Nuevos cálculos de la subcategoría

Esta subcategoría no fue estimada en la 2CN, por lo tanto, no es posible comparar resultados.

7.4.4.6. Plan de mejora de la subcategoría

Para esta subcategoría se contemplan las siguientes mejoras:

- Mejorar información sobre quema de los residuos dentro de los sitios de disposición gestionados y no gestionados, incluyendo información de la incineración abierta de residuos en estos sitios.
- Mejorar datos sobre producción per cápita de residuos sólidos en el país y la fracción y composición de los residuos quemada de forma abierta.

Estas mejoras planificadas dependerán en gran medida de las prioridades y el apoyo nacional e internacional que reciba el país.

7.5. Tratamiento y descarga de aguas residuales (FCR 5.D)

7.5.1. Descripción y tendencia de los GEI de la categoría

Las aguas residuales se originan en una variedad de fuentes domésticas, comerciales e industriales y pueden tratarse *in situ* (no recolectadas), transferirse por alcantarillado a una instalación central (recolectadas), o eliminarse sin tratamiento en las cercanías o por medio de desagües (IPCC, 2006). En esta categoría está subdividida por dos subcategorías: *aguas residuales domésticas* y *aguas residuales industriales*. En este sentido, se entiende por aguas residuales domésticas (o aguas servidas) los residuos de aguas utilizadas en los hogares (puede incluir a las aguas residuales comerciales e industriales que son vertidas al alcantarillado doméstico), mientras que las aguas residuales industriales derivan exclusivamente de las prácticas industriales.

A nivel nacional se estiman las emisiones tanto de las aguas residuales doméstica como las aguas residuales industriales.

En 2018, esta categoría emitió 368.8 kt CO₂ eq, las cuales representan el 21.1 % de las emisiones del sector Residuos, incrementándose en un 168.1 % desde 1990 y en un 93.1 % desde 2005. Estos aumentos se deben principalmente al incremento en la población del país y a las aguas residuales industriales reportadas en esta serie, las cuales dependen del volumen de producción industrial (Tabla 7.27 y Figura 7.6).

A nivel de subcategoría, el 86.8 % de esta categoría se generan por las *aguas residuales domésticas*, mientras que el 13.2 % es generada por la disposición y tratamiento de *aguas residuales*.

Tabla 7.27.

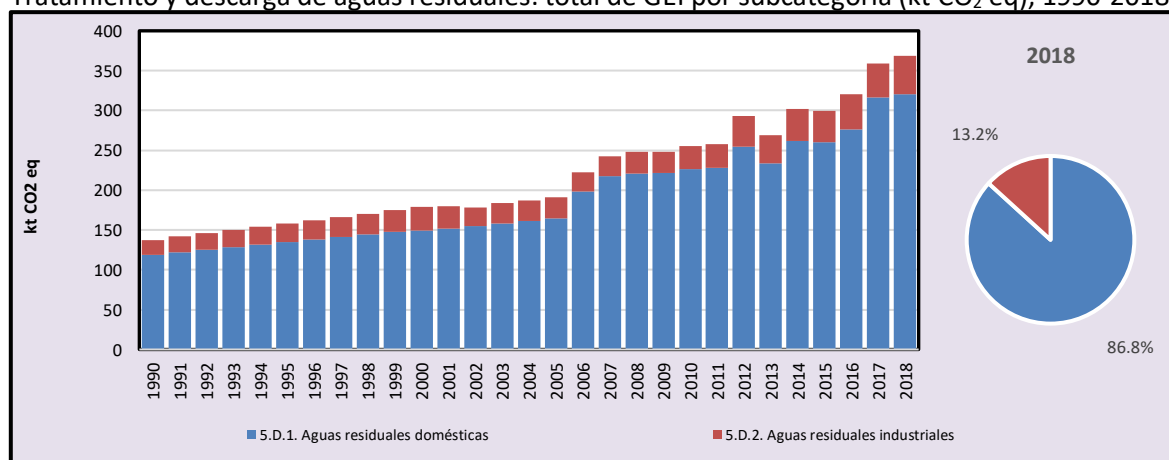
Tratamiento y descarga de aguas residuales: total de GEI por subcategoría (kt CO₂ eq)

Subcategoría	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
5.D.1. Aguas residuales domésticas	118.4	134.6	148.9	164.6	226.1	260.4	276.2	316.0	320.0
5.D.2. Aguas residuales industriales	19.2	23.5	30.4	26.4	29.3	39.5	44.4	42.6	48.8
Total	137.6	158.1	179.3	191.0	255.4	299.9	320.6	358.7	368.8

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

Figura 7.6.

Tratamiento y descarga de aguas residuales: total de GEI por subcategoría (kt CO₂ eq), 1990-2018



Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

7.5.2. Aspectos metodológicos de la categoría

Para la estimación de las emisiones de GEI de las subcategorías de *tratamiento y descarga de aguas residuales* se utilizó el método de Nivel 1 para las emisiones de CH₄ y de N₂O, de acuerdo con el Capítulo 6, Volumen 5 de las *Directrices del IPCC de 2006*, incluyendo factores de emisión por defecto y algunos parámetros y datos de actividad nacionales que se detallan en la metodología específica de cada subcategoría.

7.5.3. Aguas residuales domésticas (FCR 5.D.1)

7.5.3.1. Descripción y tendencia de los GEI 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).

A nivel nacional se categorizan los sistemas de tratamiento y eliminación de aguas domésticas de acuerdo con ENCOVI en red de drenaje (con o sin tratamiento centralizado), fosa séptica, excusado lavable, letrina/pozo ciego, y no tiene (tratamiento).

En 2018, esta categoría emitió 320.0 kt CO₂ eq, las cuales equivalen al 86.8 % del total de emisiones de la categoría *tratamiento y disposición de aguas residuales*, representando un aumento del 170.3 % desde 1990 y un aumento de 94.4 % desde 2005. Este incremento en las emisiones está asociado al aumento de la población en el país y al incremento del manejo de las aguas residuales por sistemas centralizados y fosas sépticas, a la vez que ha disminuido el porcentaje de la población que no cuenta con tratamiento (Tabla 7.27 y Figura 7.6).

7.5.3.2. Aspectos metodológicos de la subcategoría

Para la estimación de las emisiones de metano se utilizó el método de Nivel 1 de acuerdo con el Capítulo 5, Volumen 5 de las *Directrices del IPCC de 2006* (Ecuaciones 6.1 a 6.6), con parámetros por defecto y DBO per cápita específico del país (dictamen experto) y la proporción de utilización de los distintos tipos de tratamiento o vías de eliminación basada en encuestas y censos nacionales. Las emisiones de metano 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. Se estimó el contenido total de carbono orgánico degradable en las aguas servidas de cada tipo de tratamiento que genera metano, el contenido total depende de la población total atendida y la generación de DBO por persona.

Las emisiones de óxido nitroso también se estimaron utilizando el método de Nivel 1 de acuerdo con el Capítulo 6, Volumen 5 de las *Directrices del IPCC de 2006* (Ecuaciones 6.7 y 6.8). En el caso nacional, no se lleva a cabo el proceso de nitrificación y desnitrificación en plantas de tratamiento de aguas domésticas, por lo que las emisiones de óxido nitroso se generan después de la eliminación de los efluentes en cursos de agua.

7.5.3.2.1. Datos de actividad de la subcategoría

Se utilizó información de población anual del INE (2019). Adicionalmente, se contó con información de la disposición de aguas residuales a nivel hogar, la cual se obtiene de la ENCOVI para los años 2000, 2006, 2011 y 2014 y Censo 2002 y 2018. Esta información se utiliza para la construcción de la serie 2000-2018 y se encuentra desagregada según el tipo de servicio sanitario que tiene el hogar: inodoro conectado a la red de drenajes, inodoro conectado a fosa séptica, excusado lavable, letrina o pozo ciego, y no tiene. Esta información se presenta por división administrativa (departamento), área (urbano y rural) y nivel socio económico (pobre extremo, pobre y no pobre).

Para estimar la DBO per cápita se utiliza una concentración de DBO obtenida por dictamen de experto de 0.22 g/L y el volumen efluente doméstico por día y habitante. Para estimar el volumen de efluente doméstico se asume que, del agua consumida en los hogares, el 80 % se convierte en agua residual. Se asume, además, que en el área urbana el 5 % del agua residual eliminada por drenajes es dirigida a una planta de tratamiento centralizada y el restante 95 % es eliminado en curso de agua.

El consumo de agua per cápita depende del tipo de sistema de abastecimiento de agua de los hogares. La distribución de población por tipos de sistema de abastecimiento de agua también se encuentra disponible en ENCOVI para 2000, 2006, 2011 y 2014 y Censo 2002 y 2018 y se obtienen en conjunto con la información de servicio sanitario y con el mismo nivel de desagregación.

Los valores de consumo per cápita son proporcionados por INFOM y se asumen constantes para toda la serie temporal (Tabla 7.28).

Tabla 7.28.

Aguas residuales domésticas: consumo de agua por tipo de abastecimiento de agua (L/persona día)

Abastecimiento de agua (según clasificación ENCOVI)	Consumo de agua
Tubería (Red) dentro de vivienda	150
Tubería (red) fuera de la vivienda	100
Chorro público	50
Pozo perforado público o privado	50
Rio, lago, manantial	50
Camión cisterna	50
Agua lluvia	50
Otro	50

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en INFOM.

Para la estimación de emisiones de metano (en base a las prácticas nacionales de servicios sanitarios) se consideran: inodoro conectado a la red de drenajes (el 5 % con destino a planta de tratamiento) e inodoro conectado a fosa séptica

Para efectos del cálculo del contenido total de carbono orgánico degradable en las aguas servidas (TOW), se asumió que no existe aporte de aguas por parte del área industrial, por lo que el valor del factor de corrección para DBO industrial eliminado en las cloacas (*I*) fue de 1 para toda la serie temporal. Los resultados de TOW por tipo de tratamiento se presenta en la Tabla 7.29 siguiente.

Tabla 7.29.

Aguas residuales domésticas: TOW (kg DBO/año) y grado de utilización de los sistemas

Año	Red de drenajes (el 5 % con destino a planta de tratamiento)		Fosa séptica	
	TOW	Grado de utilización	TOW	Grado de utilización
2000	1,613,588.2	0.344872	6,167,637.4	0.066108
2001	1,639,698.9	0.341825	6,291,193.4	0.066339
2002	1,664,125.0	0.338917	6,409,876.8	0.066559
2003	1,718,130.8	0.341451	6,535,784.0	0.066429
2004	1,771,307.2	0.343879	6,661,742.6	0.066304
2005	1,823,795.8	0.346205	6,787,983.8	0.066183
2006	1,875,584.3	0.348438	6,914,096.6	0.066068
2007	1,943,777.0	0.354678	6,938,967.1	0.065992
2008	2,011,770.2	0.360680	6,963,037.8	0.065918
2009	2,079,565.7	0.368601	6,986,418.0	0.066998
2010	2,147,142.5	0.372024	7,009,197.5	0.065779
2011	2,215,068.1	0.377389	7,033,062.7	0.065713
2012	2,249,700.4	0.379400	7,533,640.0	0.068832
2013	2,284,583.5	0.381337	8,034,997.9	0.071843
2014	2,319,506.1	0.383210	8,536,551.7	0.074750
2015	2,405,305.7	0.388720	8,649,893.5	0.074322
2016	2,490,981.3	0.394050	8,762,779.3	0.073908
2017	2,576,570.4	0.399206	8,875,292.4	0.073507
2018	2,662,123.4	0.404199	8,987,731.7	0.073119

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

Para años previos al 2000 (1990-1999) no se cuenta con la información desagregada antes descrita. Se utiliza información agregadas a nivel a nacional y se asume que la distribución de servicio sanitario y abastecimiento de agua permanece constante e igual a la distribución promedio nacional del 2000. Las series obtenidas fueron empalmadas utilizando el método de la superposición parcial.

Para la estimación de emisiones de óxido nitroso y en base a las prácticas nacionales de servicios sanitarios se considera la población que cuenta con los siguientes servicios: inodoro conectado a la red de drenajes (el 95 % con destino curso de agua), excusado lavable, letrina, y no tiene tratamiento.

Para el consumo de proteína per cápita necesario para la estimación de emisiones de N₂O, se utilizó información del INE obtenida del documento «hoja de balance de alimentos», donde se encuentra información desde el 2006 al 2018. Para los años entre 1990-2005 se toma el valor de 2006 (Tabla 7.30).

Tabla 7.30.

Aguas residuales domésticas: consumo de proteína per cápita, 2005-2018

Año	Proteína total (g/persona/día)	Proteína (kg/persona/año)
2005	46.4	16.9
2006	59.5	21.7
2007	66.4	24.2
2008	66.0	24.1
2009	65.1	23.8
2010	65.5	23.9
2011	65.0	23.7
2012	72.6	26.5
2013	62.2	22.7
2014	70.5	25.7

2015	68.2	25.0
2016	72.3	26.4
2017	84.9	31.0
2018	84.5	30.8

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en INE.

7.5.3.2.2. Factores de emisión de la subcategoría

En general, se utilizaron los parámetros por defecto de las *Directrices del IPCC de 2006*.

El factor de emisión para 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 utilizado corresponde a 0.6 kg CH₄/kg DBO (Cuadro 6.2, Cap. 6, Vol. 5), mientras que los valores de MFC utilizados fueron 0.5 para fosa séptica y 0.3 para planta de tratamiento centralizada aeróbico mal operada (Cuadro 6.3, Cap. 6, Vol. 5).

El factor de emisión por defecto para el óxido nitroso fue de 0,005 kg N₂O-N/kg N (Sección 6.3.1.2, Cap. 6, Vol. 5).

7.5.3.3. Incertidumbre y coherencia de la serie temporal de la subcategoría

Las incertidumbres para esta categoría se obtienen a partir del Cuadro 6.7, Cap. 6, Vol. 5 de las *Directrices del IPCC de 2006*. Este cuadro proporciona estimaciones generales de la incertidumbre y presenta intervalos de incertidumbre por defecto para el factor de emisión y los datos de actividad y otros parámetros utilizados en la estimación de *aguas residuales domésticas*.

Para el caso de la incertidumbre para la metodología del N₂O, se utilizan los datos proporcionados en el Cuadro 6.11, Cap. 6, Vol. 5 de las *Directrices del IPCC de 2006*. Este cuadro presenta incertidumbres asociadas a los valores por defecto del IPCC para emisiones de N₂O procedentes del efluente.

Los valores de incertidumbre utilizados y la incertidumbre combinada se presentan en la Tabla 7.31. Se puede apreciar que la mayor incertidumbres combinada está asociada de igual forma a la incertidumbre de los datos de actividad y los factores de emisión utilizados.

Tabla 7.31.

Aguas residuales domésticas: valores de incertidumbre utilizados e incertidumbre combinada

Categorías de fuente de GEI	GEI	Incertidumbre de los DA	Incertidumbre del FE	Incertidumbre combinada
Aguas residuales domésticas	CH ₄	87.7%	87.7%	124.1%
Aguas residuales domésticas	N ₂ O	33.5%	90.0%	96.0%

Nota: con fines conservadores y de reporte, cuando el rango de incertidumbre fue asimétrico, se aplicó el valor más distante de la media. Los valores asimétricos pueden consultarse en el Anexo 2.

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en las *Directrices del IPCC 2006*.

Para asegurar la serie temporal se utilizó el mismo método para la estimación de las emisiones. Los parámetros del modelo se mantuvieron constantes en la serie tanto para la estimación de metano como óxido nitroso.

Para estimar el TOW se utilizó información desagregada de la ENCOVI 2000, 2006, 2011 y 2014 y del Censo 2002 y 2018 y agregada a nivel nacional para años previos. Para completar los años en los cuales no se cuenta con información de ENCOVI y Censos en el período entre 2000 y 2018 se realizan interpolaciones.

Dado que se cuenta con información agregada a nivel nacional para toda la serie temporal, se utiliza el método de superposición parcial para empalmar los datos agregados a nivel nacional con los datos desagregados de 2000-2018, avanzando en garantizar de esta forma la coherencia de la serie.

7.5.3.4. Actividades de GCCV de la subcategoría

Las actividades de GCCV aplicadas a la subcategoría fueron las siguientes:

- Verificación que las unidades de emisiones y parámetros se registraron correctamente y que los factores de conversión se utilizaron de manera apropiada.
- Verificación que el movimiento de datos de inventario entre los pasos de procesamiento fue el correcto.
- Verificación de los cambios metodológicos y de datos que resultan en nuevos cálculos.
- Verificación de la tendencia y coherencia de la serie temporal y análisis de la exhaustividad.

7.5.3.5. Nuevos cálculos de la subcategoría

Se presentan los nuevos cálculos en la Sección 7.5.5 de la categoría *tratamiento y descarga de aguas residuales*, sin distinción por subcategoría, ya que no se dispone de las emisiones desagregadas en la 2CN.

7.5.3.6. Plan de mejora de la subcategoría

Para esta subcategoría se contemplan las siguientes mejoras:

- Relevar datos específicos de las plantas de tratamiento centralizadas.
- Mejorar datos sobre el consumo de agua a nivel nacional, volumen de agua tratado en el país, y DBO en las aguas residuales domésticas.
- Verificar si los sistemas de tratamiento no incluidos en el inventario (letrina, pozo ciego, eliminación a curso de agua) generan emisiones de metano e incluirlos en el próximo ciclo.
- Verificar la pertinencia de la población incluida en las estimaciones de emisiones de óxido nitroso, en función del tipo de sistema de manejo y si tiene como destino un curso de agua.
- Mejorar los libros de cálculo de estimación de forma que faciliten la estimación y el control de calidad.

Estas mejoras planificadas dependerán en gran medida de las prioridades y el apoyo nacional e internacional que reciba el país.

7.5.4. Aguas residuales industriales (FCR 5.D.2)

7.5.4.1. Descripción y tendencia de los GEI de la subcategoría

Las aguas residuales industriales pueden tratarse *in situ* o evacuarse hacia los sistemas de cloacas o alcantarillados domésticos. Si estas se eliminan hacia el sistema de alcantarillado doméstico, las emisiones deben incluirse en las emisiones de aguas servidas domésticas (no se considera en el presente inventario). Esta subcategoría trata de las estimaciones de las emisiones de metano procedentes del tratamiento *in situ* de aguas residuales industriales (IPCC, 2006).

En 2018, esta categoría emitió 48.8 kt CO₂ eq, lo cual equivale a un 13.2 % del total de emisiones de la categoría. Estas emisiones provienen del tratamiento de las aguas residuales generadas por la producción de café, producción de cerveza y producción de bebidas espirituosas, en donde se utilizan lagunas de oxidación para el tratamiento de efluentes. Al evaluarse la tendencia, se aprecia un aumento de 154.8 % desde 1990 y de 85.1 % desde 2005 (Tabla 7.27 y Figura 7.6). Entre 2017-2018 se da un aumento en las emisiones debido al aumento del volumen de agua residual tratado en la industria de café, ya que en 2017 se trataron 1,075,000 m³, mientras que en 2018 se trataron 1,368,840 m³.

7.5.4.2. Aspectos metodológicos de la subcategoría

Para realizar la estimación de GEI se utilizó información de manejo de aguas residuales provista directamente por la industria de café a través de consulta directa. Adicionalmente, se estimaron emisiones de aguas residuales de cerveza y bebidas espirituosas, utilizando la cantidad de producción anual de estas industrias reportados en el sector IPPU. Para las industrias de producción de carnes (mataderos), industria de alimentos (zumos, aceites, etc.) no se contó con información sobre la producción o el tipo de tratamiento que reciben las aguas residuales en dichas industrias. Adicionalmente, también existe un vacío de información sobre la producción de lodos, el manejo de estos (o el destino final) y de si existe o no recuperación de metano en estas plantas de tratamiento.

Con esta información, se utilizó el método de Nivel 1 para los datos de actividad antes descritos y factores de emisión por defecto. Para estimar los GEI se utilizaron las Ecuaciones 6.4 a 6.6 del Capítulo 6, Volumen 5 de las *Directrices del IPCC de 2006*.

7.5.4.2.1. Datos de actividad de la subcategoría

Los principales datos de actividad para la estimación de emisiones de CH₄ de la subcategoría provienen de información provista por la industria de café y por información obtenida sobre el volumen de producción cerveza y bebidas espirituosas en el sector IPPU para estimaciones de gases precursores (Tabla 7.32).

Tabla 7.32.

Aguas residuales industriales: cantidad de aguas residuales por tipo de industria, 1990-2018

Año	Producción de bebidas espirituosas (t)	Producción de cerveza (t)	Efluente tratado Café (m ³)
1990	7,213.6	135,454.3	648,712.5
1991	8,836.7	141,098.2	646,711.9
1992	10,459.8	146,742.2	644,711.2
1993	12,082.8	152,386.1	642,710.6
1994	13,705.9	158,030.0	640,710.0
1995	14,307.0	163,297.7	638,709.4
1996	14,908.2	160,250.0	672,102.9
1997	15,509.3	157,202.3	725,849.8
1998	16,110.4	154,154.5	729,390.1
1999	16,711.6	151,106.8	800,540.4
2000	17,312.7	189,636.0	905,748.0
2001	18,755.4	146,742.2	793,982.3
2002	20,198.1	124,166.5	580,320.3
2003	21,640.9	139,066.4	620,194.6
2004	23,083.6	124,505.1	591,676.7
2005	24,526.3	137,909.3	563,158.8
2006	20,656.6	138,304.3	534,640.9
2007	21,565.8	154,572.7	506,123.0
2008	24,420.1	141,060.3	622,525.2
2009	20,945.5	138,816.1	665,125.6
2010	25,067.5	157,170.9	684,420.0
2011	25,839.1	184,387.1	595,500.0
2012	27,021.9	227,219.2	1,042,734.0
2013	23,988.8	264,328.8	845,950.0
2014	29,872.7	354,391.3	1,123,254.0
2015	28,441.2	318,138.6	858,825.0
2016	28,021.7	296,704.1	1,207,800.0
2017	27,804.3	312,764.9	1,075,000.0
2018	31,203.9	299,559.1	1,368,840.0

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

En el contexto nacional no es habitual que las empresas reporten la DBO/DQO de sus efluentes, por lo que, ante la falta de valores referenciales para la DQO, se utilizan los valores presentes en las *Directrices del IPCC de 2006* (Cuadro 6.9, Cap. 6, Vol 5), en donde se indican ejemplos de datos de DQO por tipo de industria (Tabla 7.33).

Tabla 7.33.

Aguas residuales industriales: DQO por tipo de industria (kg/m³)

Tipo de industria	DQO
Malta y cerveza	2.9
Café	9.0
Refinería de alcohol	11.0

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en las *Directrices del IPCC de 2006*.

Para la estimación del volumen de efluente tratado se utilizaron los factores de generación de aguas residuales provistos en el Cuadro 6.9, Cap. 6, Vol. 5 de las *Directrices del IPCC del 2006*, siendo estos 6.3 y 24 m³/ton para la industria de la cerveza y bebidas espirituosas respectivamente. Para la industria del café se releva directamente el volumen anual de efluente tratado.

7.5.4.2.2. Factores de emisión de la subcategoría

El factor de emisión de metano se estima en función a B₀ y MCF, el que depende de cada tipo de tratamiento. El valor por defecto utilizado de B₀ corresponde a 0.25 kg CH₄/kg DQO de acuerdo con

las *Directrices del IPCC de 2006* (Cuadro 6.2, Cap. 6, Vol 5). Ya que no se disponen de datos específicos del país, se asume que los sistemas utilizados son compatibles con *plantas de tratamiento aeróbico mal operado* con valor de MFC de 0.2 (Cuadro 6.8, Cap. 6, Vol. 5).

7.5.4.3. Incertidumbre y coherencia de la serie temporal de la subcategoría

Las incertidumbres para esta categoría se obtienen a partir del Cuadro 6.10, Cap. 6, Vol. 5 de las *Directrices del IPCC de 2006*. Este cuadro proporciona estimaciones generales de la incertidumbre y presenta intervalos de incertidumbre por defecto para el factor de emisión, datos de actividad y otros parámetros utilizados para estimar las emisiones de las *aguas residuales industriales*.

Los valores de incertidumbre utilizados y la incertidumbre combinada se presentan en la Tabla 7.34. Se puede apreciar que la incertidumbre combinada está asociada principalmente a las incertidumbres de los datos de actividad utilizados.

Tabla 7.34.

Aguas residuales industriales: valores de incertidumbre utilizados e incertidumbre combinada

Categorías de fuente de GEI	GEI	Incertidumbre de los DA	Incertidumbre del FE	Incertidumbre combinada
Aguas residuales industriales	CH ₄	103.1%	44.8%	112.4%

Nota: con fines conservadores y de reporte, cuando el rango de incertidumbre fue asimétrico, se aplicó el valor más distante de la media. Los valores asimétricos pueden consultarse en el Anexo 2.

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en las *Directrices del IPCC 2006*.

La estimación de emisiones de la serie para esta categoría se desarrolla siguiendo las *Directrices del IPCC de 2006* y utilizando la misma metodología y fuentes para la obtención de los datos de actividad, con base en la identificación y disponibilidad de mejores datos (p.ej., nuevas estadísticas o registros nacionales), por lo que la serie tiende a presentar una coherencia en el tiempo.

7.5.4.4. Actividades de GCCV de la subcategoría

Las actividades de GCCV aplicadas a la subcategoría fueron las siguientes:

- Verificación que las unidades de emisiones y parámetros se registraron correctamente y que los factores de conversión se utilizaron de manera apropiada.
- Verificación que el movimiento de datos de inventario entre los pasos de procesamiento fue el correcto.
- Verificación de los cambios metodológicos y de datos que resultan en nuevos cálculos.
- Verificación de la tendencia y coherencia de la serie temporal y análisis de la exhaustividad.

7.5.4.5. Nuevos cálculos de la subcategoría

Se presentan los nuevos cálculos en la Sección 7.5.5 de la categoría *tratamiento y descarga de aguas residuales*, sin distinción por subcategoría, ya que no se dispone de las emisiones desagregadas en la 2CN.

7.5.4.6. Plan de mejora de la subcategoría

Para esta subcategoría se contemplan las siguientes mejoras:

- Mejorar los datos acerca del tipo de tratamiento que reciben las aguas residuales con alto contenido de carbono en la industria.
- Recopilar información sobre prácticas de recuperación o quema por antorcha de metano producido en las plantas de tratamiento y gestión de lodos.
- Recopilar datos sobre la DQO en las aguas residuales industriales a nivel nacional.
- Recopilar información acerca del tratamiento de efluentes de otras industrias (alimentos).

Estas mejoras planificadas dependerán en gran medida de las prioridades y el apoyo nacional e internacional que reciba el país.

7.5.5. Nuevos cálculos de la categoría

El principal cambio que justifica la realización de nuevos cálculos fue la implementación de las *Directrices del IPCC de 2006* ya que para la 2CN se utilizaron *las Directrices Revisadas del IPCC de 1996*. Adicionalmente se obtuvieron nuevas fuentes de información que contribuyeron a la mejora en la estimación de las emisiones. En la Tabla 7.35 se presenta el resumen los resultados obtenidos, los cuales tienden a la baja en todos los años comparados.

Tabla 7.35.

Tratamiento y descarga de aguas residuales: comparación entre los totales anuales de los inventarios (kt CO₂ eq)

<i>Categoría</i>	<i>1994</i>	<i>2000</i>	<i>2005</i>
INGEI - 2CN	186.1	250.7	279.5
INGEI - 1IBA	154.4	179.3	191.0
Diferencia	-31.8	-71.4	-88.5
Diferencia porcentual	-17.1%	-28.5%	-31.7%

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en la 2CN de Guatemala.

7.6. Otros (FCR 4.E)

Esta categoría no ocurre en el país.

CAPÍTULO 8: GASES PRECURSORES

Si bien no están incluidas en los totales de las emisiones de GEI con PCA ponderado, se declaran las emisiones de monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO_x), compuestos orgánicos volátiles diferentes del metano (COVDM), y dióxido de azufre (SO₂) en los inventarios nacionales de GEI. El CO, los NO_x y los COVDM en presencia de la luz solar contribuyen a la formación de ozono troposférico. Asimismo, la emisión de NO_x desempeña un papel importante en el ciclo de nitrógeno de la tierra. Las emisiones de SO₂ producen la formación de partículas de sulfato, que también desempeña un papel en el cambio climático (IPCC, 2006). En el presente inventario se incluyen gases precursores desde todos los sectores.

En 2018, el total de gases precursores emitidos por el país fue 2,032.1 kt, incrementándose en un 89.2 % desde 1990, pero decreciendo en un 9.9 % desde 2005 (Tabla 8.1 y Figura 8.1). Las emisiones de gases precursores están dominadas por el CO con 1,699.4 kt (83.6 %); le siguen las emisiones de COVDM con 191.4 kt (9.4 %); las emisiones de NO_x con 90.8 kt (4.5 %); y, finalmente, las emisiones de SO₂ con 50.6 kt (2.5 %). El sector Energía es la principal fuente de todos los gases precursores informados en el inventario.

Tabla 8.1.

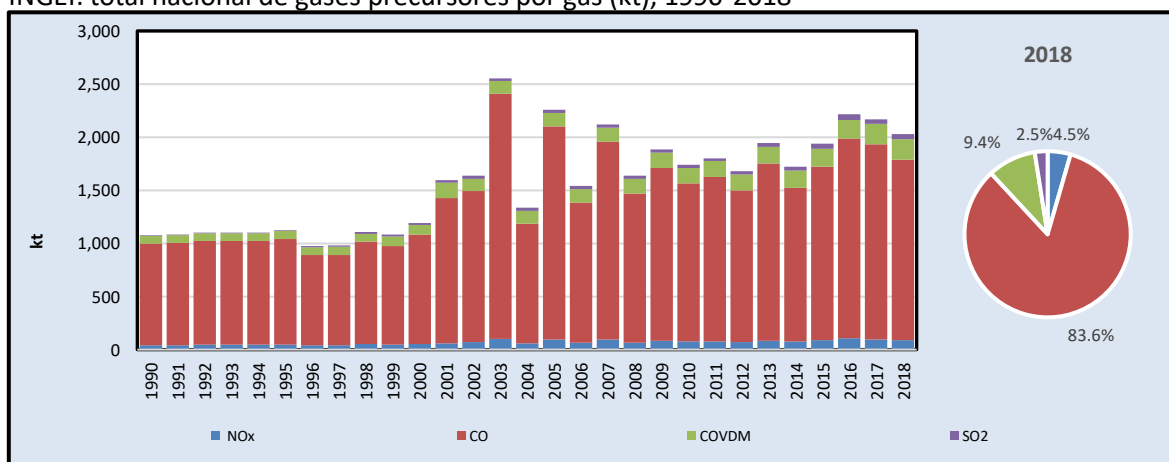
INGEI: total nacional de gases precursores por gas (kt)

Sector	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
NO _x	40.9	49.6	55.4	95.6	76.4	91.4	106.6	97.6	90.8
CO	957.5	994.3	1,025.1	2,008.2	1,491.2	1,631.8	1,880.7	1,838.1	1,699.4
COVDM	71.4	73.9	91.5	127.2	145.3	165.8	177.0	187.3	191.4
SO ₂	4.2	9.9	20.2	24.4	25.7	49.1	54.2	44.4	50.6
Total	1,074.0	1,127.7	1,192.3	2,255.5	1,738.6	1,938.1	2,218.4	2,167.5	2,032.1

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

Figura 8.1.

INGEI: total nacional de gases precursores por gas (kt), 1990-2018



Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

En 2018, las emisiones de precursores del sector Energía fueron 1,283.0 kt de CO, seguido de 189.2 kt de COVDM, 77.5 kt de NO_x y 50.6 kt de SO₂. Las emisiones del sector estuvieron dominadas

por el CO generado por la quema de biomasa en la subcategoría *residencial*. El sector IPPU emitió 2.1 kt de COVDM, 0.5 kt de CO y menos de 0.1 kt de NO_x y SO₂. La principal fuente de COVDM fue la *industria de la alimentación y la bebida*. Las emisiones de gases precursores del sector Agricultura fueron 284.0 kt de CO y 11.2 kt de NO_x, generadas principalmente por la *quema prescrita de sabanas* y la *quema de residuos agrícola en el campo*. En cuanto al sector UTCUTS, las emisiones fueron 131.8 kt de CO y 2.0 kt de NO_x producida por los incendios forestales. Finalmente, el sector Residuos solo registró menos de 0.1 kt de COVDM.

CAPÍTULO 9: NUEVOS CÁLCULOS Y MEJORAS

9.1. Explicación y justificación de los nuevos cálculos

El presente inventario incluye nuevos cálculos en comparación con el último inventario previamente presentado por Guatemala en su *Segunda Comunicación Nacional* (2CN) ante la CMNUCC en 2016.

Los nuevos cálculos responden a una multiplicidad de factores vinculados con decisiones técnicas del equipo de inventarios de Guatemala que tienen por objetivo primordial avanzar en el incremento de la calidad de los inventarios del país en términos de transparencia, exactitud, coherencia, comparabilidad y exhaustividad.

El principal cambio que justifica la realización de nuevos cálculos fue la implementación, por primera vez, de las *Directrices del IPCC de 2006*, lo que conlleva la inclusión y exclusión de un conjunto variado de fuentes y sumideros de GEI en cada sector, así como cambios relevantes en los métodos para la estimación de los GEI. La Tabla 9.1 presenta un resumen comparativo respecto a los cambios entre el inventario de la *Segunda Comunicación Nacional* y el presente inventario.

Tabla 9.1.

Resumen de los principales cambios entre el inventario de la 2CN y el inventario del 1IBA

Tema general	INGEI – 2CN	INGEI – 1IBA
Metodología y métodos	Métodos de Nivel 1 de las Directrices Revisadas del IPCC de 1996	Métodos de Nivel 1 y Nivel 2 (producción de cemento) de las Directrices del IPCC de 2006. Incluye la estimación y reporte de nuevas categorías de fuentes y sumideros de GEI
Sectores	Energía; Procesos industriales; Uso de solventes y otros productos; Agricultura; Cambio de uso de la tierra y silvicultura (CUTS); y Residuos	Energía; IPPU; Agricultura; UTCUTS (seis categorías de tierras); y Residuos
PCA	AR2	AR4
Años	1994, 2000 y 2005 (3 años)	1990-2018 (29 años)
Aviación internacional	Incluido en la categoría <i>transporte</i>	Estimado y reportado como <i>elemento informativo</i>
Factor de emisión — producción de cemento	Valor por defecto	Valor país específico
HFC	No estimados	Incluidos por primera vez para la serie 2005-2018
Representación de tierras	Método 1	Combinación del Método 1 y el Método 2
Depósitos de carbono	Solamente biomasa aérea	Biomasa aérea y subterránea

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

9.2. Implicancias de los nuevos cálculos en el inventario

Los nuevos cálculos realizados tuvieron significativas implicancias en los GEI reportados en el presente inventario en comparación con los inventarios anteriores. Es importante mencionar que, con fines comparativos, se utilizaron los PCA del AR4 para reportar el inventario de la 2CN. Como se presenta en la Tabla 9.2 y Figura 9.1, para los tres años comparados se presentan importantes aumentos de más del 460 % en los GEI reportados. Especial atención merecen los años 1994 y 2000 en donde el balance del inventario de la 2CN tiende a la absorción de GEI. Lo anterior se explica debido al sector UTCUTS, en donde la actual serie temporal tiende a las emisiones netas de GEI y, asimismo, es la principal fuente de emisiones del país, representando el 49,6 % en 2018.

Tabla 9.2.

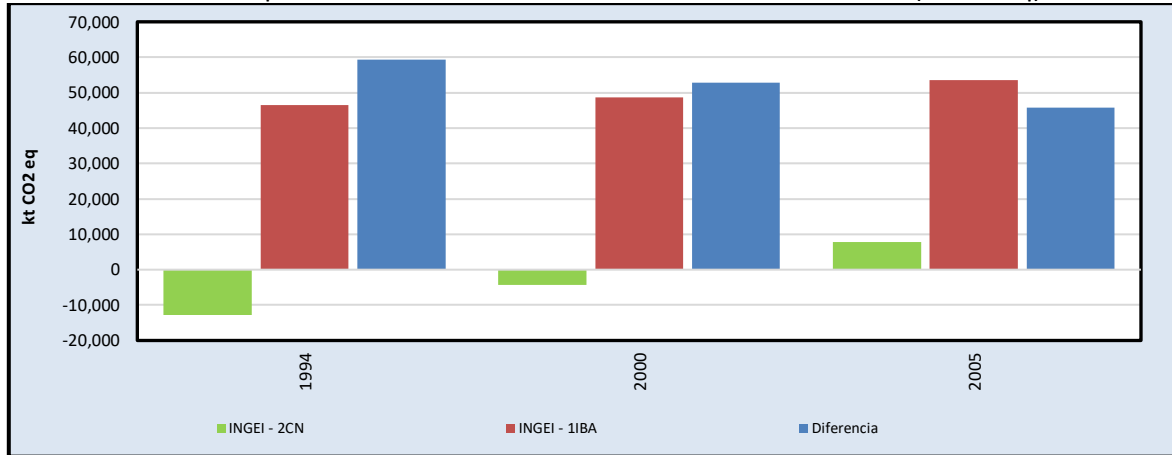
Nuevos cálculos: comparación entre los balances anuales de los inventarios (kt CO₂ eq)

INGEI	1994	2000	2005
INGEI - 2CN	-12,797.2	-4,227.7	7,790.6
INGEI - 1IBA	46,476.0	48,616.9	53,483.2
Diferencia	59,273.2	52,844.6	45,692.5
Diferencia %	-463.2%	-1249.9%	586.5%

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en la 2CN de Guatemala.

Figura 9.1.

Nuevos cálculos: comparación entre los balances anuales de los inventarios (kt CO₂ eq)



Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en la 2CN de Guatemala.

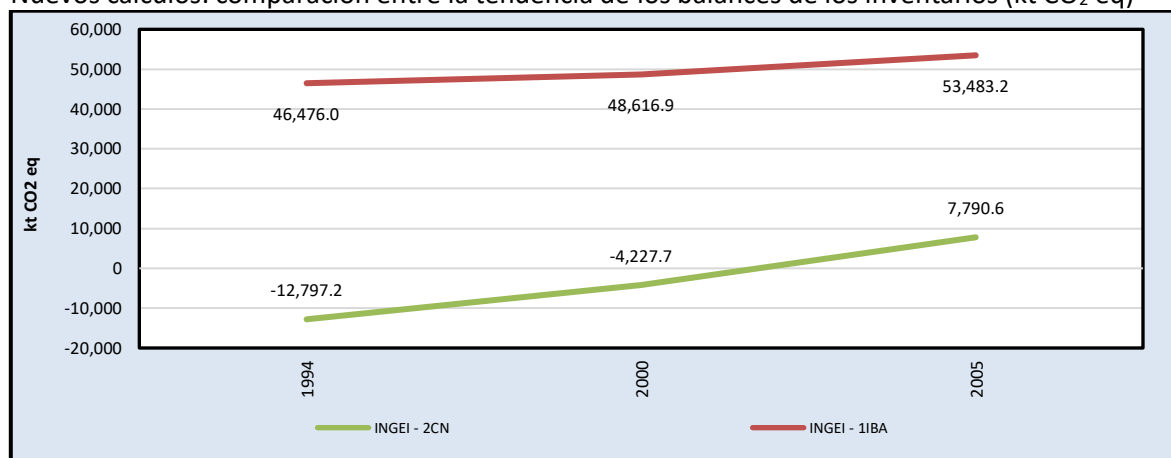
A nivel sectorial, los nuevos cálculos del sector Energía tendieron al aumento de las emisiones de GEI para 2000 y 2005 en un 13.6 y 2.6 % respectivamente, mientras que para 1994 se apreció una disminución de 46.5 %. En el caso de los sectores IPPU, Agricultura y Residuos se observó una disminución promedio de 29.1 % para todos los años comparados. En el caso particular del sector UTCUTS, las diferencias son significativas, todos los años que incluyen nuevos cálculos tuvieron un aumento sobre el 200 %, explicándose debido a los importantes cambios metodológicos.

9.3. Implicancias de los nuevos cálculos en la tendencia y la coherencia de la serie temporal

Al igual que a nivel de años individuales, los nuevos cálculos realizados presentan significativos efectos en la tendencia 1994-2005 (Figura 9.2). El balance de GEI del inventario de la 2CN presenta un cambio tendiente a la absorción en 1994 y a la emisión en 2005, aumentando su balance tendiente a las emisiones netas en un 160.9 %, mientras que el presente inventario reporta el aumento de las emisiones totales en un 15.1 % entre 1994-2005. Para todos los sectores la tendencia al aumento de emisiones entre 1994-2005 es la misma.

Figura 9.2.

Nuevos cálculos: comparación entre la tendencia de los balances de los inventarios (kt CO₂ eq)



Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en la 2CN de Guatemala.

9.4. Áreas de mejoramiento identificadas

Con base en el proceso de elaboración del presente inventario, el equipo técnico de Guatemala ha identificado un conjunto de potenciales mejoras a ser implementadas para el incremento de la calidad de los futuros inventarios del país (Tabla 9.3). Es importante mencionar que estas mejoras identificadas aún no cuentan con un plan de trabajo para su implementación, sin embargo, son importantes insumos para la elaboración de un futuro plan de mejora del subsistema de GCCV, el cual se está desarrollando en el marco del SNIGT.

Tabla 9.3.

Principales mejoras identificadas por el equipo técnico de Guatemala

Sector	Potenciales mejoras identificadas
Transversal	<ul style="list-style-type: none"> Implementar el Sistema Nacional de Inventarios de Guatemala (SNIGT) y el desarrollo de sus herramientas, como el plan de trabajo, plan de mejora, subsistema de GCCV, plan de entrenamiento y capacitación, etc. Refinar la estimación de las incertidumbres del inventario. Avanzar en la implementación de métodos de Nivel superior para las categorías principales, especialmente para aquellas categorías que cumplen el 100 % de los criterios de selección. Avanzar en la exhaustividad del inventario mediante el levantamiento de información de aquellas categorías que no fueron estimadas. Establecer acuerdos de cooperación entre los diferentes proveedores de datos, en especial, con el sector privado y los principales productores. Implementar los PCA del AR5 en línea con los requerimientos de las disposiciones de las MPD.
Energía	<ul style="list-style-type: none"> Revisión de los datos de consumo de combustible de las actividades de refinación y consumo propio del balance energético, especialmente en lo que respecta a los años previos a 2000. Revisión de los datos de consumo de combustible de las actividades de autoprodutores del balance energético, con el fin de desagregar e incluirlos en la industria correspondiente. Revisión de los datos de consumo de combustible de las actividades industriales del balance energético para su correcta asignación dentro de la subcategoría <i>industrias manufactureras y de la construcción</i>. Revisión de los datos de combustible de la subcategoría <i>transporte terrestre</i> para desagregar otros medios de transporte incluidos como <i>navegación internacional</i> y la desagregación de los modos terrestres (liviano, pesado, motocicleta, ferrocarril, etc.), considerando por ejemplo información del parque vehicular.
IPPU	<ul style="list-style-type: none"> Establecer acuerdos institucionales con las plantas productoras de cemento, con la finalidad de obtener estadísticas específicas sobre los procesos, como ser producción total de clínker, carbonatos que ingresan al proceso de calcinación, porcentaje de CaO en clínker y manejo del polvo de horno de cemento. Investigar y determinar el año de entrada de los HFC y mejorar el levantamiento de datos de actividad para el uso de <i>productos sustitutos de las SAO</i> que permitan distinguir o separar las emisiones por aplicación.

Anexo técnico del IBA de Guatemala: Informe del Inventario Nacional 2022

Sector	Potenciales mejoras identificadas
Agricultura	<ul style="list-style-type: none"> • Desarrollar una caracterización mejorada y analizar el desarrollo de una metodología Nivel 2 para las vacas lecheras y otros vacunos. • Desarrollar un sondeo o dictamen de expertos para caracterizar los sistemas de gestión del estiércol de las categorías animales. • Analizar la información disponible para las categorías de <i>mineralización de la materia orgánica del suelo y cultivo de suelos orgánicos</i> con los actores correspondientes para estimar sus emisiones. • Revisar y verificar los datos de actividad de los fertilizantes inorgánicos obtenidos del Registro de Insumos Agrícolas del MAGA. • Fortalecer la coordinación interinstitucional con los actores del sector de producción, distribución y venta de cal para recopilar y generar los datos de actividad requeridos para estimar sus emisiones.
UTCUTS	<ul style="list-style-type: none"> • Definir la mejor fuente de datos de actividad para los cambios de uso de la tierra, actualmente, existen dos fuentes de información: los mapas de uso de la tierra y un sistema de muestreo con una malla de referencia. • Avanzar en la generación periódica de los datos de actividad y otros datos paramétricos requeridos para la estimación de los GEI del sector. • Avanzar en la generación o compilación de información nacional sobre la cosecha de productos forestales, incluyendo la extracción de leña, debido al impacto significativo que esta información tiene sobre las estimaciones de emisiones. • Avanzar en la generación de información espacialmente explícita sobre las áreas afectadas por incendios en todos los usos de la tierra pertinentes. Esto permitirá refinar las estimaciones de emisiones al permitir caracterizar de mejor modo la vegetación afectada por los incendios. • Estimar las emisiones y absorciones de CO₂ de los productos de madera recolectada. • Colectar información y estimar los GEI de los depósitos no reportados (madera muerta, hojarasca y materia orgánica del suelo).
Residuos	<ul style="list-style-type: none"> • Mejorar los datos de actividad de los sitios de eliminación de residuos, incluyendo la información referente a la recuperación de metano, producción per cápita de residuos sólidos, composición y disposición de residuos industriales. • Implementar una hoja de ruta para la obtención de la información requerida para estimar las emisiones GEI provenientes de la incineración de residuos. • Mejorar el relevamiento de información y funcionamiento de las plantas de tratamiento de aguas residuales, tanto domésticas como industriales.

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

ANEXOS

Anexo 1. Estimación de las categorías principales

Tabla A.1.1.

Estimación de las categorías principales de 1990 con UTCUTS, aplicando el Método 1

A	B	C	D	E	F	G
Código	Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero	GEI	Emisiones o absorciones de 1990 Ex,0	Valor absoluto de emisiones o absorciones de 1990 Ex,t	Evaluación de nivel Lx,t	Total acumulativo de la columna F
			kt CO ₂ eq	kt CO ₂ eq	%	%
4.A.1.	Tierras forestales que permanecen como tales	CO2	15,533.8	15,533.8	36.20%	36.20%
4.C.2.a.	Tierras forestales convertidas en pastizales	CO2	13,340.2	13,340.2	31.09%	67.28%
3.A.1.b.	Otros vacunos	CH4	2,563.5	2,563.5	5.97%	73.26%
1.A.3.b.	Transporte terrestre	CO2	2,199.9	2,199.9	5.13%	78.38%
1.A.1.b.	Refinación del petróleo - Líquido	CO2	1,070.2	1,070.2	2.49%	80.88%
4.B.2.a.	Tierras forestales convertidas en tierras de cultivo	CO2	1,023.5	1,023.5	2.38%	83.26%
4.A.2.b.	Pastizales convertidos en tierras forestales	CO2	835.8	835.8	1.95%	85.21%
1.A.4.b.	Residencial - Biomasa	CH4	813.5	813.5	1.90%	87.10%
1.A.2.	Industrias manufactureras y de la construcción - Líquido	CO2	770.9	770.9	1.80%	88.90%
2.A.1.	Producción de cemento	CO2	410.5	410.5	0.96%	89.86%
1.A.4.b.	Residencial - Líquido	CO2	287.5	287.5	0.67%	90.53%
3.D.1.a.	Fertilizantes inorgánicos	N2O	261.6	261.6	0.61%	91.14%
5.A.1.	Sitios de disposición de residuos gestionados	CH4	241.8	241.8	0.56%	91.70%
3.E.	Quema prescrita de sabanas	N2O	234.4	234.4	0.55%	92.25%
4.A.1.	Tierras forestales que permanecen como tales	CH4	215.4	215.4	0.50%	92.75%
3.E.	Quema prescrita de sabanas	CH4	215.4	215.4	0.50%	93.25%
3.A.1.a.	Vacas lecheras	CH4	181.0	181.0	0.42%	93.67%
3.D.2.b.	Lixiviación y escurrimiento	N2O	163.6	163.6	0.38%	94.05%
2.A.2.	Producción de cal	CO2	149.3	149.3	0.35%	94.40%
1.A.4.b.	Residencial - Biomasa	N2O	129.3	129.3	0.30%	94.70%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Líquido	CO2	128.3	128.3	0.30%	95.00%
4.B.2.b.	Pastizales convertidos en tierras de cultivo	CO2	128.3	128.3	0.30%	95.30%
5.A.2.	Sitios de disposición de residuos no gestionados	CH4	126.3	126.3	0.29%	95.59%
4.F.2.a.	Tierras forestales convertidas en otras tierras	CO2	122.7	122.7	0.29%	95.88%
4.A.2.a.	Tierras de cultivo convertidas en tierras forestales	CO2	114.3	114.3	0.27%	96.15%
4.C.2.b.	Tierras de cultivo convertidas en pastizales	CO2	109.0	109.0	0.25%	96.40%
3.D.2.a.	Deposición atmosférica	N2O	87.5	87.5	0.20%	96.60%
3.D.1.c.	Orina y estiércol depositado por animales de pastoreo	N2O	83.2	83.2	0.19%	96.80%
3.F.	Quema de residuos agrícola en el campo	CH4	78.9	78.9	0.18%	96.98%
3.D.1.d.	Residuos de cosechas	N2O	78.2	78.2	0.18%	97.17%
5.D.1.	Aguas residuales domésticas	N2O	76.6	76.6	0.18%	97.34%
4.A.1.	Tierras forestales que permanecen como tales	NO2	75.5	75.5	0.18%	97.52%
3.A.4.e.	Equinos	CH4	74.3	74.3	0.17%	97.69%
1.A.4.a.	Comercial / Institucional - Líquido	CO2	67.1	67.1	0.16%	97.85%
4.B.1.	Tierras de cultivo que permanecen como tales	CO2	66.2	66.2	0.15%	98.00%
3.A.2.	Ovinos	CH4	63.8	63.8	0.15%	98.15%
4.D.2.a.	Tierras forestales convertidas en humedales	CO2	61.2	61.2	0.14%	98.29%
3.D.1.b.i.	Estiércol animal aplicado a los suelos	N2O	61.2	61.2	0.14%	98.44%
5.C.2.	Incineración abierta de residuos	CH4	50.7	50.7	0.12%	98.56%
5.C.2.	Incineración abierta de residuos	CO2	50.3	50.3	0.12%	98.67%
3.B.1.b.	Otros vacunos	CH4	45.8	45.8	0.11%	98.78%
3.B.5.	Emisiones indirectas de N2O	N2O	43.2	43.2	0.10%	98.88%
5.D.1.	Aguas residuales domésticas	CH4	41.8	41.8	0.10%	98.98%

Anexo técnico del IBA de Guatemala: Informe del Inventario Nacional 2022

A	B	C	D	E	F	G
Código	Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero	GEI	Emisiones o absorciones de 1990 Ex,0	Valor absoluto de emisiones o absorciones de 1990 Ex,t	Evaluación de nivel Lx,t	Total acumulativo de la columna F
			kt CO ₂ eq	kt CO ₂ eq	%	%
3.B.1.b.	Otros vacunos	N2O	38.2	38.2	0.09%	99.07%
1.A.3.b.	Transporte terrestre	N2O	32.7	32.7	0.08%	99.14%
3.B.3.	Porcinos	N2O	32.5	32.5	0.08%	99.22%
3.C.2.	Alimentadas a lluvia	CH4	30.9	30.9	0.07%	99.29%
3.F.	Quema de residuos agrícola en el campo	N2O	24.4	24.4	0.06%	99.35%
3.B.1.a.	Vacas lecheras	N2O	19.3	19.3	0.04%	99.39%
3.A.3.	Porcinos	CH4	19.3	19.3	0.04%	99.44%
3.B.3.	Porcinos	CH4	19.3	19.3	0.04%	99.48%
5.D.2.	Aguas residuales industriales	CH4	19.2	19.2	0.04%	99.53%
4.E.2.a.	Tierras forestales convertidas en asentamientos	CO2	14.9	14.9	0.03%	99.56%
3.B.4.g.	Aves de corral	CH4	14.7	14.7	0.03%	99.60%
3.A.4.f.	Mulas y asnos	CH4	14.4	14.4	0.03%	99.63%
5.C.2.	Incineración abierta de residuos	N2O	13.9	13.9	0.03%	99.66%
1.A.3.b.	Transporte terrestre	CH4	13.0	13.0	0.03%	99.69%
3.A.4.d.	Caprinos	CH4	11.9	11.9	0.03%	99.72%
3.B.4.g.	Aves de corral	N2O	10.9	10.9	0.03%	99.75%
3.H.	Aplicación de urea	CO2	10.4	10.4	0.02%	99.77%
4.F.2.c.	Pastizales convertidos en otras tierras	CO2	8.7	8.7	0.02%	99.79%
3.B.4.e.	Equinos	N2O	7.1	7.1	0.02%	99.81%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Biomasa	N2O	6.8	6.8	0.02%	99.82%
3.B.4.e.	Equinos	CH4	6.8	6.8	0.02%	99.84%
3.D.1.b.iii.	Otros fertilizantes orgánicos aplicados a los suelos	N2O	4.4	4.4	0.01%	99.85%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Biomasa	CH4	4.3	4.3	0.01%	99.86%
4.D.2.c.	Pastizales convertidos en humedales	CO2	4.2	4.2	0.01%	99.87%
5.B.1.	Compostaje	CH4	3.6	3.6	0.01%	99.88%
2.A.3.	Producción de vidrio	CO2	3.5	3.5	0.01%	99.88%
3.A.4.a.	Búfalos	CH4	3.3	3.3	0.01%	99.89%
5.B.1.	Compostaje	N2O	3.2	3.2	0.01%	99.90%
1.A.3.a.	Aviación civil	CO2	2.7	2.7	0.01%	99.91%
2.D.1.	Uso de lubricantes	CO2	2.7	2.7	0.01%	99.91%
1.A.1.b.	Refinación del petróleo - Líquido	N2O	2.6	2.6	0.01%	99.92%
1.A.2.	Industrias manufactureras y de la construcción - Biomasa	N2O	2.5	2.5	0.01%	99.92%
2.A.4.	Otros usos de carbonatos en los procesos	CO2	2.5	2.5	0.01%	99.93%
1.B.2.a.	Petróleo	CH4	2.1	2.1	0.00%	99.93%
3.B.2.	Ovinos	N2O	2.0	2.0	0.00%	99.94%
3.C.1.	Irrigadas	CH4	2.0	2.0	0.00%	99.94%
3.B.2.	Ovinos	CH4	1.9	1.9	0.00%	99.95%
4.E.2.b.	Tierras de cultivo convertidas en asentamientos	CO2	1.8	1.8	0.00%	99.95%
2.C.1.	Producción de hierro y acero	CO2	1.8	1.8	0.00%	99.96%
3.B.1.a.	Vacas lecheras	CH4	1.8	1.8	0.00%	99.96%
1.A.2.	Industrias manufactureras y de la construcción - Líquido	N2O	1.7	1.7	0.00%	99.97%
4.D.2.b.	Tierras de cultivo convertidas en humedales	CO2	1.7	1.7	0.00%	99.97%
1.A.2.	Industrias manufactureras y de la construcción - Biomasa	CH4	1.6	1.6	0.00%	99.97%
4.E.2.c.	Pastizales convertidos en asentamientos	CO2	1.6	1.6	0.00%	99.98%
3.B.4.f.	Mulas y asnos	N2O	1.4	1.4	0.00%	99.98%
3.B.4.f.	Mulas y asnos	CH4	1.3	1.3	0.00%	99.98%
1.A.1.b.	Refinación del petróleo - Líquido	CH4	1.1	1.1	0.00%	99.99%
2.D.2.	Uso de la cera de parafina	CO2	1.0	1.0	0.00%	99.99%
4.F.2.b.	Tierras de cultivo convertidas en otras tierras	CO2	0.9	0.9	0.00%	99.99%
1.A.2.	Industrias manufactureras y de la construcción - Líquido	CH4	0.7	0.7	0.00%	99.99%

Anexo técnico del 1IBA de Guatemala: Informe del Inventario Nacional 2022

A	B	C	D	E	F	G
Código	Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero	GEI	Emisiones o absorciones de 1990 Ex,0	Valor absoluto de emisiones o absorciones de 1990 Ex,t	Evaluación de nivel Lx,t	Total acumulativo de la columna F
			kt CO ₂ eq	kt CO ₂ eq	%	%
1.A.4.b.	Residencial - Líquido	CH4	0.7	0.7	0.00%	99.99%
4.C.2.e.	Otras tierras convertidas en pastizales	CO2	0.7	0.7	0.00%	99.99%
4.C.2.c.	Humedales convertidos en pastizales	CO2	0.5	0.5	0.00%	100.00%
3.B.4.d.	Caprinos	CH4	0.4	0.4	0.00%	100.00%
1.A.4.b.	Residencial - Líquido	N2O	0.3	0.3	0.00%	100.00%
3.B.4.d.	Caprinos	N2O	0.3	0.3	0.00%	100.00%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Líquido	N2O	0.3	0.3	0.00%	100.00%
1.A.4.a.	Comercial / Institucional - Líquido	CH4	0.2	0.2	0.00%	100.00%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Líquido	CH4	0.1	0.1	0.00%	100.00%
1.A.4.a.	Comercial / Institucional - Líquido	N2O	0.1	0.1	0.00%	100.00%
4.C.2.d.	Asentamientos convertidos en pastizales	CO2	0.1	0.1	0.00%	100.00%
3.B.4.a.	Búfalos	N2O	0.1	0.1	0.00%	100.00%
3.B.4.a.	Búfalos	CH4	0.0	0.0	0.00%	100.00%
4.B.2.e.	Otras tierras convertidas en tierras de cultivo	CO2	0.0	0.0	0.00%	100.00%
1.A.3.a.	Aviación civil	N2O	0.0	0.0	0.00%	100.00%
4.B.2.c.	Humedales convertidos en tierras de cultivo	CO2	0.0	0.0	0.00%	100.00%
4.B.2.d.	Asentamientos convertidos en tierras de cultivo	CO2	0.0	0.0	0.00%	100.00%
1.A.3.a.	Aviación civil	CH4	0.0	0.0	0.00%	100.00%
1.B.2.a.	Petróleo	CO2	0.0	0.0	0.00%	100.00%
	Total		42,914.6	42,914.6	100.00%	

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

Tabla A.1.2.

Estimación de las categorías principales de 1990 sin UTCUTS, aplicando el Método 1

A	B	C	D	E	F	G
Código	Categorías de fuente de gases de efecto invernadero	GEI	Emisiones o absorciones de 1990 Ex,0	Valor absoluto de emisiones o absorciones de 1990 Ex,t	Evaluación de nivel Lx,t	Total acumulativo de la columna F
			kt CO ₂ eq	kt CO ₂ eq	%	%
3.A.1.b	Otros vacunos	CH4	2,563.5	2,563.5	22.78%	22.78%
1.A.3.b	Transporte terrestre	CO2	2,199.9	2,199.9	19.55%	42.33%
1.A.1.b	Refinación del petróleo - Líquido	CO2	1,070.2	1,070.2	9.51%	51.84%
1.A.4.b	Residencial - Biomasa	CH4	813.5	813.5	7.23%	59.07%
1.A.2	Industrias manufactureras y de la construcción - Líquido	CO2	770.9	770.9	6.85%	65.92%
2.A.1	Producción de cemento	CO2	410.5	410.5	3.65%	69.56%
1.A.4.b	Residencial - Líquido	CO2	287.5	287.5	2.55%	72.12%
3.D.1.a	Fertilizantes inorgánicos	N2O	261.6	261.6	2.32%	74.44%
5.A.1	Sitios de disposición de residuos gestionados	CH4	241.8	241.8	2.15%	76.59%
3.E	Quema prescrita de sabanas	N2O	234.4	234.4	2.08%	78.68%
3.E	Quema prescrita de sabanas	CH4	215.4	215.4	1.91%	80.59%
3.A.1.a	Vacas lecheras	CH4	181.0	181.0	1.61%	82.20%
3.D.2.b	Lixiviación y escurrimiento	N2O	163.6	163.6	1.45%	83.65%
2.A.2	Producción de cal	CO2	149.3	149.3	1.33%	84.98%
1.A.4.b	Residencial - Biomasa	N2O	129.3	129.3	1.15%	86.13%
1.A.1.a	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Líquido	CO2	128.3	128.3	1.14%	87.27%
5.A.2	Sitios de disposición de residuos no gestionados	CH4	126.3	126.3	1.12%	88.39%
3.D.2.a	Deposición atmosférica	N2O	87.5	87.5	0.78%	89.17%
3.D.1.c	Orina y estiércol depositado por animales de pastoreo	N2O	83.2	83.2	0.74%	89.91%
3.F	Quema de residuos agrícola en el campo	CH4	78.9	78.9	0.70%	90.61%
3.D.1.d	Residuos de cosechas	N2O	78.2	78.2	0.70%	91.30%
5.D.1	Aguas residuales domésticas	N2O	76.6	76.6	0.68%	91.98%
3.A.4.e	Equinos	CH4	74.3	74.3	0.66%	92.65%
1.A.4.a	Comercial / Institucional - Líquido	CO2	67.1	67.1	0.60%	93.24%
3.A.2	Ovinos	CH4	63.8	63.8	0.57%	93.81%
3.D.1.b.i	Estiércol animal aplicado a los suelos	N2O	61.2	61.2	0.54%	94.35%
5.C.2	Incineración abierta de residuos	CH4	50.7	50.7	0.45%	94.80%
5.C.2	Incineración abierta de residuos	CO2	50.3	50.3	0.45%	95.25%
3.B.1.b	Otros vacunos	CH4	45.8	45.8	0.41%	95.66%
3.B.5	Emisiones indirectas de N2O	N2O	43.2	43.2	0.38%	96.04%
5.D.1	Aguas residuales domésticas	CH4	41.8	41.8	0.37%	96.41%
3.B.1.b	Otros vacunos	N2O	38.2	38.2	0.34%	96.75%
1.A.3.b	Transporte terrestre	N2O	32.7	32.7	0.29%	97.04%
3.B.3	Porcinos	N2O	32.5	32.5	0.29%	97.33%
3.C.2	Alimentadas a lluvia	CH4	30.9	30.9	0.27%	97.61%
3.F	Quema de residuos agrícola en el campo	N2O	24.4	24.4	0.22%	97.82%
3.B.1.a	Vacas lecheras	N2O	19.3	19.3	0.17%	97.99%
3.A.3	Porcinos	CH4	19.3	19.3	0.17%	98.16%
3.B.3	Porcinos	CH4	19.3	19.3	0.17%	98.34%
5.D.2	Aguas residuales industriales	CH4	19.2	19.2	0.17%	98.51%
3.B.4.g	Aves de corral	CH4	14.7	14.7	0.13%	98.64%
3.A.4.f	Mulas y asnos	CH4	14.4	14.4	0.13%	98.76%
5.C.2	Incineración abierta de residuos	N2O	13.9	13.9	0.12%	98.89%

Anexo técnico del 1BA de Guatemala: Informe del Inventario Nacional 2022

A	B	C	D	E	F	G
Código	Categorías de fuente de gases de efecto invernadero	GEI	Emisiones o absorciones de 1990 Ex,0	Valor absoluto de emisiones o absorciones de 1990 Ex,t	Evaluación de nivel Lx,t	Total acumulativo de la columna F
			kt CO ₂ eq	kt CO ₂ eq	%	%
1.A.3.b	Transporte terrestre	CH4	13.0	13.0	0.12%	99.00%
3.A.4.d	Caprinos	CH4	11.9	11.9	0.11%	99.11%
3.B.4.g	Aves de corral	N2O	10.9	10.9	0.10%	99.21%
3.H	Aplicación de urea	CO2	10.4	10.4	0.09%	99.30%
3.B.4.e	Equinos	N2O	7.1	7.1	0.06%	99.36%
1.A.1.a	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Biomasa	N2O	6.8	6.8	0.06%	99.42%
3.B.4.e	Equinos	CH4	6.8	6.8	0.06%	99.48%
3.D.1.b.iii	Otros fertilizantes orgánicos aplicados a los suelos	N2O	4.4	4.4	0.04%	99.52%
1.A.1.a	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Biomasa	CH4	4.3	4.3	0.04%	99.56%
5.B.1	Compostaje	CH4	3.6	3.6	0.03%	99.59%
2.A.3	Producción de vidrio	CO2	3.5	3.5	0.03%	99.62%
3.A.4.a	Búfalos	CH4	3.3	3.3	0.03%	99.65%
5.B.1	Compostaje	N2O	3.2	3.2	0.03%	99.68%
1.A.3.a	Aviación civil	CO2	2.7	2.7	0.02%	99.71%
2.D.1	Uso de lubricantes	CO2	2.7	2.7	0.02%	99.73%
1.A.1.b	Refinación del petróleo - Líquido	N2O	2.6	2.6	0.02%	99.75%
1.A.2	Industrias manufactureras y de la construcción - Biomasa	N2O	2.5	2.5	0.02%	99.78%
2.A.4	Otros usos de carbonatos en los procesos	CO2	2.5	2.5	0.02%	99.80%
1.B.2.a	Petróleo	CH4	2.1	2.1	0.02%	99.82%
3.B.2	Ovinos	N2O	2.0	2.0	0.02%	99.83%
3.C.1	Irrigadas	CH4	2.0	2.0	0.02%	99.85%
3.B.2	Ovinos	CH4	1.9	1.9	0.02%	99.87%
2.C.1	Producción de hierro y acero	CO2	1.8	1.8	0.02%	99.88%
3.B.1.a	Vacas lecheras	CH4	1.8	1.8	0.02%	99.90%
1.A.2	Industrias manufactureras y de la construcción - Líquido	N2O	1.7	1.7	0.02%	99.91%
1.A.2	Industrias manufactureras y de la construcción - Biomasa	CH4	1.6	1.6	0.01%	99.93%
3.B.4.f	Mulas y asnos	N2O	1.4	1.4	0.01%	99.94%
3.B.4.f	Mulas y asnos	CH4	1.3	1.3	0.01%	99.95%
1.A.1.b	Refinación del petróleo - Líquido	CH4	1.1	1.1	0.01%	99.96%
2.D.2	Uso de la cera de parafina	CO2	1.0	1.0	0.01%	99.97%
1.A.2	Industrias manufactureras y de la construcción - Líquido	CH4	0.7	0.7	0.01%	99.98%
1.A.4.b	Residencial - Líquido	CH4	0.7	0.7	0.01%	99.98%
3.B.4.d	Caprinos	CH4	0.4	0.4	0.00%	99.99%
1.A.4.b	Residencial - Líquido	N2O	0.3	0.3	0.00%	99.99%
3.B.4.d	Caprinos	N2O	0.3	0.3	0.00%	99.99%
1.A.1.a	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Líquido	N2O	0.3	0.3	0.00%	100.00%
1.A.4.a	Comercial / Institucional - Líquido	CH4	0.2	0.2	0.00%	100.00%
1.A.1.a	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Líquido	CH4	0.1	0.1	0.00%	100.00%
1.A.4.a	Comercial / Institucional - Líquido	N2O	0.1	0.1	0.00%	100.00%
3.B.4.a	Búfalos	N2O	0.1	0.1	0.00%	100.00%
3.B.4.a	Búfalos	CH4	0.0	0.0	0.00%	100.00%
1.A.3.a	Aviación civil	N2O	0.0	0.0	0.00%	100.00%
1.A.3.a	Aviación civil	CH4	0.0	0.0	0.00%	100.00%
1.B.2.a	Petróleo	CO2	0.0	0.0	0.00%	100.00%
	Total		11,253.6	11,253.6	100.00%	

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

Tabla A.1.3.
Estimación de las categorías principales de 1990 con UTCUTS, aplicando el Método 2

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Código	Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero	GEI	Emisiones o absorciones de 1990 Ex,0	Valor absoluto de emisiones o absorciones de 1990 Ex,t	Evaluación de nivel Lx,t	Incertidumbre combinada Ux,t	(Lx,t + Ux,t)	Evaluación de Nivel de 1990 con incertidumbre LUX,t	Total acumulativo de la columna F
			kt CO ₂ eq	kt CO ₂ eq	%	%	%	%	%
4.C.2.a	Tierras forestales convertidas en pastizales	CO2	13,340.2	13,340.2	31.09%	49.16%	15.28%	28.64%	31.09%
4.A.1	Tierras forestales que permanecen como tales	CO2	15,533.8	15,533.8	36.20%	33.07%	11.97%	22.43%	67.28%
1.A.4.b	Residencial - Biomasa	CH4	813.5	813.5	1.90%	233.48%	4.43%	8.29%	69.18%
3.A.1.b	Otros vacunos	CH4	2,563.5	2,563.5	5.97%	54.08%	3.23%	6.05%	75.15%
3.D.2.b	Lixiviación y escurrimiento	N2O	163.6	163.6	0.38%	604.67%	2.30%	4.32%	75.53%
3.D.1.a	Fertilizantes inorgánicos	N2O	261.6	261.6	0.61%	300.67%	1.83%	3.44%	76.14%
4.B.2.a	Tierras forestales convertidas en tierras de cultivo	CO2	1,023.5	1,023.5	2.38%	49.16%	1.17%	2.20%	78.53%
5.A.1	Sitios de disposición de residuos gestionados	CH4	241.8	241.8	0.56%	202.30%	1.14%	2.14%	79.09%
3.D.2.a	Deposición atmosférica	N2O	87.5	87.5	0.20%	505.59%	1.03%	1.93%	79.29%
4.A.2.b	Pastizales convertidos en tierras forestales	CO2	835.8	835.8	1.95%	49.16%	0.96%	1.79%	81.24%
1.A.4.b	Residencial - Biomasa	N2O	129.3	129.3	0.30%	275.41%	0.83%	1.55%	81.54%
3.D.1.c	Orina y estiércol depositado por animales de pastoreo	N2O	83.2	83.2	0.19%	337.14%	0.65%	1.23%	81.74%
3.E	Quema prescrita de sabanas	N2O	234.4	234.4	0.55%	116.30%	0.64%	1.19%	82.28%
5.A.2	Sitios de disposición de residuos no gestionados	CH4	126.3	126.3	0.29%	204.27%	0.60%	1.13%	82.58%
3.E	Quema prescrita de sabanas	CH4	215.4	215.4	0.50%	116.30%	0.58%	1.09%	83.08%
3.D.1.d	Residuos de cosechas	N2O	78.2	78.2	0.18%	309.23%	0.56%	1.06%	83.26%
3.B.5	Emisiones indirectas de N2O	N2O	43.2	43.2	0.10%	522.02%	0.53%	0.98%	83.36%
4.A.1	Tierras forestales que permanecen como tales	CH4	215.4	215.4	0.50%	91.55%	0.46%	0.86%	83.87%
1.A.3.b	Transporte terrestre	CO2	2,199.9	2,199.9	5.13%	8.60%	0.44%	0.83%	88.99%
3.D.1.b.i	Estiércol animal aplicado a los suelos	N2O	61.2	61.2	0.14%	306.96%	0.44%	0.82%	89.13%
2.A.1	Producción de cemento	CO2	410.5	410.5	0.96%	33.24%	0.32%	0.60%	90.09%
4.B.2.b	Pastizales convertidos en tierras de cultivo	CO2	128.3	128.3	0.30%	87.85%	0.26%	0.49%	90.39%
3.F	Quema de residuos agrícola en el campo	CH4	78.9	78.9	0.18%	128.06%	0.24%	0.44%	90.57%
3.A.1.a	Vacas lecheras	CH4	181.0	181.0	0.42%	54.08%	0.23%	0.43%	90.99%
4.C.2.b	Tierras de cultivo convertidas en pastizales	CO2	109.0	109.0	0.25%	87.85%	0.22%	0.42%	91.25%
1.A.1.b	Refinación del petróleo - Líquido	CO2	1,070.2	1,070.2	2.49%	7.62%	0.19%	0.36%	93.74%
1.A.3.b	Transporte terrestre	N2O	32.7	32.7	0.08%	240.05%	0.18%	0.34%	93.82%
3.C.2	Alimentadas a lluvia	CH4	30.9	30.9	0.07%	231.70%	0.17%	0.31%	93.89%
5.C.2	Incineración abierta de residuos	CO2	50.3	50.3	0.12%	141.42%	0.17%	0.31%	94.01%
1.A.2	Industrias manufactureras y de la construcción - Líquido	CO2	770.9	770.9	1.80%	8.60%	0.15%	0.29%	95.80%
4.A.1	Tierras forestales que permanecen como tales	NO2	75.5	75.5	0.18%	87.80%	0.15%	0.29%	95.98%
4.F.2.a	Tierras forestales convertidas en otras tierras	CO2	122.7	122.7	0.29%	49.16%	0.14%	0.26%	96.27%
3.B.1.b	Otros vacunos	N2O	38.2	38.2	0.09%	156.60%	0.14%	0.26%	96.36%
4.B.1	Tierras de cultivo que permanecen como tales	CO2	66.2	66.2	0.15%	87.85%	0.14%	0.25%	96.51%
4.A.2.a	Tierras de cultivo convertidas en tierras forestales	CO2	114.3	114.3	0.27%	49.16%	0.13%	0.25%	96.78%
3.B.3	Porcinos	N2O	32.5	32.5	0.08%	161.55%	0.12%	0.23%	96.85%
1.A.4.b	Residencial - Líquido	CO2	287.5	287.5	0.67%	16.55%	0.11%	0.21%	97.52%
3.A.4.e	Equinos	CH4	74.3	74.3	0.17%	58.31%	0.10%	0.19%	97.69%
3.A.2	Ovinos	CH4	63.8	63.8	0.15%	67.08%	0.10%	0.19%	97.84%
5.D.2	Aguas residuales industriales	CH4	19.2	19.2	0.04%	177.76%	0.08%	0.15%	97.89%
3.F	Quema de residuos agrícola en el campo	N2O	24.4	24.4	0.06%	128.06%	0.07%	0.14%	97.94%

Anexo técnico del IBA de Guatemala: Informe del Inventario Nacional 2022

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Código	Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero	GEI	Emissiones o absorciones de 1990 Ex,0	Valor absoluto de emisiones o absorciones de 1990 Ex,t	Evaluación de nivel Lx,t	Incertidumbre combinada Ux,t	(Lx,t + Ux,t)	Evaluación de Nivel de 1990 con incertidumbre LUX,t	Total acumulativo de la columna F
			kt CO ₂ eq	kt CO ₂ eq	%	%	%	%	%
3.B.1.b	Otros vacunos	CH4	45.8	45.8	0.11%	67.27%	0.07%	0.13%	98.05%
3.B.1.a	Vacas lecheras	N2O	19.3	19.3	0.04%	156.60%	0.07%	0.13%	98.10%
4.D.2.a	Tierras forestales convertidas en humedales	CO2	61.2	61.2	0.14%	49.16%	0.07%	0.13%	98.24%
1.A.3.b	Transporte terrestre	CH4	13.0	13.0	0.03%	230.05%	0.07%	0.13%	98.27%
1.A.1.a	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Biomasa	N2O	6.8	6.8	0.02%	275.02%	0.04%	0.08%	98.29%
3.B.4.g	Aves de corral	N2O	10.9	10.9	0.03%	167.71%	0.04%	0.08%	98.31%
3.B.3	Porcinos	CH4	19.3	19.3	0.04%	78.10%	0.04%	0.07%	98.36%
3.D.1.b.iii	Otros fertilizantes orgánicos aplicados a los suelos	N2O	4.4	4.4	0.01%	306.96%	0.03%	0.06%	98.37%
3.B.4.g	Aves de corral	CH4	14.7	14.7	0.03%	90.14%	0.03%	0.06%	98.40%
3.A.3	Porcinos	CH4	19.3	19.3	0.04%	67.08%	0.03%	0.06%	98.45%
3.B.4.e	Equinos	N2O	7.1	7.1	0.02%	158.11%	0.03%	0.05%	98.46%
1.A.4.a	Comercial / Institucional - Líquido	CO2	67.1	67.1	0.16%	16.55%	0.03%	0.05%	98.62%
1.A.1.a	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Biomasa	CH4	4.3	4.3	0.01%	233.02%	0.02%	0.04%	98.63%
1.A.1.a	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Líquido	CO2	128.3	128.3	0.30%	7.62%	0.02%	0.04%	98.93%
2.A.2	Producción de cal	CO2	149.3	149.3	0.35%	6.32%	0.02%	0.04%	99.28%
4.F.2.c	Pastizales convertidos en otras tierras	CO2	8.7	8.7	0.02%	87.85%	0.02%	0.03%	99.30%
4.E.2.a	Tierras forestales convertidas en asentamientos	CO2	14.9	14.9	0.03%	49.16%	0.02%	0.03%	99.33%
1.A.2	Industrias manufactureras y de la construcción - Biomasa	N2O	2.5	2.5	0.01%	275.05%	0.02%	0.03%	99.34%
3.A.4.d	Caprinos	CH4	11.9	11.9	0.03%	58.31%	0.02%	0.03%	99.36%
3.A.4.f	Mulas y asnos	CH4	14.4	14.4	0.03%	42.43%	0.01%	0.03%	99.40%
1.A.1.b	Refinación del petróleo - Líquido	N2O	2.6	2.6	0.01%	233.02%	0.01%	0.03%	99.40%
3.H	Aplicación de urea	CO2	10.4	10.4	0.02%	53.85%	0.01%	0.02%	99.43%
3.A.4.a	Búfalos	CH4	3.3	3.3	0.01%	152.97%	0.01%	0.02%	99.44%
3.B.4.e	Equinos	CH4	6.8	6.8	0.02%	70.71%	0.01%	0.02%	99.45%
3.C.1	Irrigadas	CH4	2.0	2.0	0.00%	231.70%	0.01%	0.02%	99.46%
5.B.1	Compostaje	N2O	3.2	3.2	0.01%	141.42%	0.01%	0.02%	99.46%
1.A.2	Industrias manufactureras y de la construcción - Líquido	N2O	1.7	1.7	0.00%	233.05%	0.01%	0.02%	99.47%
1.A.2	Industrias manufactureras y de la construcción - Biomasa	CH4	1.6	1.6	0.00%	233.05%	0.01%	0.02%	99.47%
4.D.2.c	Pastizales convertidos en humedales	CO2	4.2	4.2	0.01%	87.85%	0.01%	0.02%	99.48%
3.B.2	Ovinos	N2O	2.0	2.0	0.00%	161.55%	0.01%	0.01%	99.49%
1.A.1.b	Refinación del petróleo - Líquido	CH4	1.1	1.1	0.00%	233.02%	0.01%	0.01%	99.49%
2.A.3	Producción de vidrio	CO2	3.5	3.5	0.01%	60.21%	0.00%	0.01%	99.50%
3.B.4.f	Mulas y asnos	N2O	1.4	1.4	0.00%	152.97%	0.00%	0.01%	99.50%
1.A.2	Industrias manufactureras y de la construcción - Líquido	CH4	0.7	0.7	0.00%	233.05%	0.00%	0.01%	99.50%
1.A.4.b	Residencial - Líquido	CH4	0.7	0.7	0.00%	233.48%	0.00%	0.01%	99.50%
4.E.2.b	Tierras de cultivo convertidas en asentamientos	CO2	1.8	1.8	0.00%	87.85%	0.00%	0.01%	99.51%
1.B.2.a	Petróleo	CH4	2.1	2.1	0.00%	75.06%	0.00%	0.01%	99.51%
3.B.2	Ovinos	CH4	1.9	1.9	0.00%	78.10%	0.00%	0.01%	99.52%
4.D.2.b	Tierras de cultivo convertidas en humedales	CO2	1.7	1.7	0.00%	87.85%	0.00%	0.01%	99.52%
2.D.1	Uso de lubricantes	CO2	2.7	2.7	0.01%	52.29%	0.00%	0.01%	99.53%
4.E.2.c	Pastizales convertidos en asentamientos	CO2	1.6	1.6	0.00%	87.85%	0.00%	0.01%	99.53%
3.B.1.a	Vacas lecheras	CH4	1.8	1.8	0.00%	67.27%	0.00%	0.01%	99.53%
2.D.2	Uso de la cera de parafina	CO2	1.0	1.0	0.00%	101.24%	0.00%	0.00%	99.54%
4.F.2.b	Tierras de cultivo convertidas en otras tierras	CO2	0.9	0.9	0.00%	87.85%	0.00%	0.00%	99.54%
3.B.4.f	Mulas y asnos	CH4	1.3	1.3	0.00%	58.31%	0.00%	0.00%	99.54%
1.A.4.b	Residencial - Líquido	N2O	0.3	0.3	0.00%	233.48%	0.00%	0.00%	99.54%
1.A.1.a	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Líquido	N2O	0.3	0.3	0.00%	233.02%	0.00%	0.00%	99.54%

Anexo técnico del 1BA de Guatemala: Informe del Inventario Nacional 2022

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Código	Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero	GEI	Emisiones o absorciones de 1990 Ex,0	Valor absoluto de emisiones o absorciones de 1990 Ex,t	Evaluación de nivel Lx,t	Incertidumbre combinada Ux,t	(Lx,t + Ux,t)	Evaluación de Nivel de 1990 con incertidumbre LUX,t	Total acumulativo de la columna F
			kt CO ₂ eq	kt CO ₂ eq	%	%	%	%	%
4.C.2.e.	Otras tierras convertidas en pastizales	CO2	0.7	0.7	0.00%	87.85%	0.00%	0.00%	99.54%
3.B.4.d.	Caprinos	N2O	0.3	0.3	0.00%	158.11%	0.00%	0.00%	99.55%
2.C.1.	Producción de hierro y acero	CO2	1.8	1.8	0.00%	26.93%	0.00%	0.00%	99.55%
1.A.4.a.	Comercial / Institucional - Líquido	CH4	0.2	0.2	0.00%	233.48%	0.00%	0.00%	99.55%
4.C.2.c.	Humedales convertidos en pastizales	CO2	0.5	0.5	0.00%	87.85%	0.00%	0.00%	99.55%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Líquido	CH4	0.1	0.1	0.00%	233.02%	0.00%	0.00%	99.55%
3.B.4.d.	Caprinos	CH4	0.4	0.4	0.00%	70.71%	0.00%	0.00%	99.55%
1.A.3.a.	Aviación civil	CO2	2.7	2.7	0.01%	8.60%	0.00%	0.00%	99.56%
1.A.4.a.	Comercial / Institucional - Líquido	N2O	0.1	0.1	0.00%	233.48%	0.00%	0.00%	99.56%
2.A.4.	Otros usos de carbonatos en los procesos	CO2	2.5	2.5	0.01%	5.20%	0.00%	0.00%	99.56%
3.B.4.a.	Búfalos	N2O	0.1	0.1	0.00%	212.13%	0.00%	0.00%	99.56%
3.B.4.a.	Búfalos	CH4	0.0	0.0	0.00%	158.11%	0.00%	0.00%	99.56%
4.C.2.d.	Asentamientos convertidos en pastizales	CO2	0.1	0.1	0.00%	87.85%	0.00%	0.00%	99.56%
1.A.3.a.	Aviación civil	N2O	0.0	0.0	0.00%	150.08%	0.00%	0.00%	99.56%
4.B.2.e.	Otras tierras convertidas en tierras de cultivo	CO2	0.0	0.0	0.00%	87.85%	0.00%	0.00%	99.57%
4.B.2.c.	Humedales convertidos en tierras de cultivo	CO2	0.0	0.0	0.00%	87.85%	0.00%	0.00%	99.57%
4.B.2.d.	Asentamientos convertidos en tierras de cultivo	CO2	0.0	0.0	0.00%	87.85%	0.00%	0.00%	99.57%
1.A.3.a.	Aviación civil	CH4	0.0	0.0	0.00%	100.12%	0.00%	0.00%	99.57%
1.B.2.a.	Petróleo	CO2	0.0	0.0	0.00%	75.06%	0.00%	0.00%	99.57%
5.B.1.	Compostaje	CH4	3.6	3.6	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	99.57%
5.C.2.	Incineración abierta de residuos	CH4	50.7	50.7	0.12%	0.00%	0.00%	0.00%	99.69%
5.C.2.	Incineración abierta de residuos	N2O	13.9	13.9	0.03%	0.00%	0.00%	0.00%	99.72%
5.D.1.	Aguas residuales domésticas	CH4	41.8	41.8	0.10%	0.00%	0.00%	0.00%	99.82%
5.D.1.	Aguas residuales domésticas	N2O	76.6	76.6	0.18%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
	Total		42,914.6	42,914.6	100.00%	15856.14%	53.36%	100.00%	

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

Tabla A.1.4.

Estimación de las categorías principales de 1990 sin UTCUTS, aplicando el Método 2

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Código	Categorías de fuente de gases de efecto invernadero	GEI	Emisiones o absorciones de 1990 Ex,t	Valor absoluto de emisiones o absorciones de 1990 Ex,t	Evaluación de nivel Lx,t	Incertidumbre combinada Ux,t	(Lx,t • Ux,t)	Evaluación de Nivel de 1990 con incertidumbre LUx,t	Total acumulativo de la columna F
			kt CO ₂ eq	kt CO ₂ eq	%	%	%	%	%
1.A.4.b.	Residencial - Biomasa	CH4	813.5	813.5	7.23%	233.48%	16.88%	19.81%	7.23%
3.A.1.b.	Otros vacunos	CH4	2,563.5	2,563.5	22.78%	54.08%	12.32%	14.46%	30.01%
3.D.2.b.	Lixiviación y escurrimiento	N2O	163.6	163.6	1.45%	604.67%	8.79%	10.32%	31.46%
3.D.1.a.	Fertilizantes inorgánicos	N2O	261.6	261.6	2.32%	300.67%	6.99%	8.20%	33.79%
5.A.1.	Sitios de disposición de residuos gestionados	CH4	241.8	241.8	2.15%	202.30%	4.35%	5.10%	35.94%
3.D.2.a.	Deposición atmosférica	N2O	87.5	87.5	0.78%	505.59%	3.93%	4.61%	36.71%
1.A.4.b.	Residencial - Biomasa	N2O	129.3	129.3	1.15%	275.41%	3.16%	3.71%	37.86%
3.D.1.c.	Orina y estiércol depositado por animales de pastoreo	N2O	83.2	83.2	0.74%	337.14%	2.49%	2.93%	38.60%
3.E.	Quema prescrita de sabanas	N2O	234.4	234.4	2.08%	116.30%	2.42%	2.84%	40.68%
5.A.2.	Sitios de disposición de residuos no gestionados	CH4	126.3	126.3	1.12%	204.27%	2.29%	2.69%	41.81%
3.E.	Quema prescrita de sabanas	CH4	215.4	215.4	1.91%	116.30%	2.23%	2.61%	43.72%
3.D.1.d.	Residuos de cosechas	N2O	78.2	78.2	0.70%	309.23%	2.15%	2.52%	44.42%
3.B.5.	Emisiones indirectas de N2O	N2O	43.2	43.2	0.38%	522.02%	2.00%	2.35%	44.80%
1.A.3.b.	Transporte terrestre	CO2	2,199.9	2,199.9	19.55%	8.60%	1.68%	1.97%	64.35%
3.D.1.b.i.	Estiércol animal aplicado a los suelos	N2O	61.2	61.2	0.54%	306.96%	1.67%	1.96%	64.89%
2.A.1.	Producción de cemento	CO2	410.5	410.5	3.65%	33.24%	1.21%	1.42%	68.54%
3.F.	Quema de residuos agrícola en el campo	CH4	78.9	78.9	0.70%	128.06%	0.90%	1.05%	69.24%
3.A.1.a.	Vacas lecheras	CH4	181.0	181.0	1.61%	54.08%	0.87%	1.02%	70.85%
1.A.1.b.	Refinación del petróleo - Líquido	CO2	1,070.2	1,070.2	9.51%	7.62%	0.72%	0.85%	80.36%
1.A.3.b.	Transporte terrestre	N2O	32.7	32.7	0.29%	240.05%	0.70%	0.82%	80.65%
3.C.2.	Alimentadas a lluvia	CH4	30.9	30.9	0.27%	231.70%	0.64%	0.75%	80.92%
5.C.2.	Incineración abierta de residuos	CO2	50.3	50.3	0.45%	141.42%	0.63%	0.74%	81.37%
1.A.2.	Industrias manufactureras y de la construcción - Líquido	CO2	770.9	770.9	6.85%	8.60%	0.59%	0.69%	88.22%
3.B.1.b.	Otros vacunos	N2O	38.2	38.2	0.34%	156.60%	0.53%	0.62%	88.56%
3.B.3.	Porcinos	N2O	32.5	32.5	0.29%	161.55%	0.47%	0.55%	88.85%
1.A.4.b.	Residencial - Líquido	CO2	287.5	287.5	2.55%	16.55%	0.42%	0.50%	91.40%
3.A.4.e.	Equinos	CH4	74.3	74.3	0.66%	58.31%	0.39%	0.45%	92.06%
3.A.2.	Ovinos	CH4	63.8	63.8	0.57%	67.08%	0.38%	0.45%	92.63%
5.D.2.	Aguas residuales industriales	CH4	19.2	19.2	0.17%	177.76%	0.30%	0.36%	92.80%
3.F.	Quema de residuos agrícola en el campo	N2O	24.4	24.4	0.22%	128.06%	0.28%	0.33%	93.02%
3.B.1.b.	Otros vacunos	CH4	45.8	45.8	0.41%	67.27%	0.27%	0.32%	93.43%
3.B.1.a.	Vacas lecheras	N2O	19.3	19.3	0.17%	156.60%	0.27%	0.31%	93.60%
1.A.3.b.	Transporte terrestre	CH4	13.0	13.0	0.12%	230.05%	0.26%	0.31%	93.71%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Biomasa	N2O	6.8	6.8	0.06%	275.02%	0.17%	0.19%	93.77%
3.B.4.g.	Aves de corral	N2O	10.9	10.9	0.10%	167.71%	0.16%	0.19%	93.87%
3.B.3.	Porcinos	CH4	19.3	19.3	0.17%	78.10%	0.13%	0.16%	94.04%
3.D.1.b.iii.	Otros fertilizantes orgánicos aplicados a los suelos	N2O	4.4	4.4	0.04%	306.96%	0.12%	0.14%	94.08%
3.B.4.g.	Aves de corral	CH4	14.7	14.7	0.13%	90.14%	0.12%	0.14%	94.21%
3.A.3.	Porcinos	CH4	19.3	19.3	0.17%	67.08%	0.11%	0.13%	94.38%
3.B.4.e.	Equinos	N2O	7.1	7.1	0.06%	158.11%	0.10%	0.12%	94.44%
1.A.4.a.	Comercial / Institucional - Líquido	CO2	67.1	67.1	0.60%	16.55%	0.10%	0.12%	95.04%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Biomasa	CH4	4.3	4.3	0.04%	233.02%	0.09%	0.10%	95.08%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Líquido	CO2	128.3	128.3	1.14%	7.62%	0.09%	0.10%	96.22%
2.A.2.	Producción de cal	CO2	149.3	149.3	1.33%	6.32%	0.08%	0.10%	97.55%
1.A.2.	Industrias manufactureras y de la construcción - Biomasa	N2O	2.5	2.5	0.02%	275.05%	0.06%	0.07%	97.57%
3.A.4.d.	Caprinos	CH4	11.9	11.9	0.11%	58.31%	0.06%	0.07%	97.68%

Anexo técnico del 1BA de Guatemala: Informe del Inventario Nacional 2022

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Código	Categorías de fuente de gases de efecto invernadero	GEI	Emisiones o absorciones de 1990 Ex,0 kt CO ₂ eq	Valor absoluto de emisiones o absorciones de 1990 Ex,t kt CO ₂ eq	Evaluación de nivel Lx,t %	Incertidumbre combinada Ux,t %	(Lx,t + Ux,t) %	Evaluación de Nivel de 1990 con incertidumbre LUX,t %	Total acumulativo de la columna F %
3.A.4.f.	Mulas y asnos	CH4	14.4	14.4	0.13%	42.43%	0.05%	0.06%	97.80%
1.A.1.b.	Refinación del petróleo - Líquido	N2O	2.6	2.6	0.02%	233.02%	0.05%	0.06%	97.83%
3.H.	Aplicación de urea	CO2	10.4	10.4	0.09%	53.85%	0.05%	0.06%	97.92%
3.A.4.a.	Búfalos	CH4	3.3	3.3	0.03%	152.97%	0.05%	0.05%	97.95%
3.B.4.e.	Equinos	CH4	6.8	6.8	0.06%	70.71%	0.04%	0.05%	98.01%
3.C.1.	Irrigadas	CH4	2.0	2.0	0.02%	231.70%	0.04%	0.05%	98.03%
5.B.1.	Compostaje	N2O	3.2	3.2	0.03%	141.42%	0.04%	0.05%	98.05%
1.A.2.	Industrias manufactureras y de la construcción - Líquido	N2O	1.7	1.7	0.02%	233.05%	0.04%	0.04%	98.07%
1.A.2.	Industrias manufactureras y de la construcción - Biomasa	CH4	1.6	1.6	0.01%	233.05%	0.03%	0.04%	98.08%
3.B.2.	Ovinos	N2O	2.0	2.0	0.02%	161.55%	0.03%	0.03%	98.10%
1.A.1.b.	Refinación del petróleo - Líquido	CH4	1.1	1.1	0.01%	233.02%	0.02%	0.03%	98.11%
2.A.3.	Producción de vidrio	CO2	3.5	3.5	0.03%	60.21%	0.02%	0.02%	98.14%
3.B.4.f.	Mulas y asnos	N2O	1.4	1.4	0.01%	152.97%	0.02%	0.02%	98.15%
1.A.2.	Industrias manufactureras y de la construcción - Líquido	CH4	0.7	0.7	0.01%	233.05%	0.02%	0.02%	98.16%
1.A.4.b.	Residencial - Líquido	CH4	0.7	0.7	0.01%	233.48%	0.01%	0.02%	98.17%
1.B.2.a.	Petróleo	CH4	2.1	2.1	0.02%	75.06%	0.01%	0.02%	98.19%
3.B.2.	Ovinos	CH4	1.9	1.9	0.02%	78.10%	0.01%	0.02%	98.20%
2.D.1.	Uso de lubricantes	CO2	2.7	2.7	0.02%	52.29%	0.01%	0.01%	98.23%
3.B.1.a.	Vacas lecheras	CH4	1.8	1.8	0.02%	67.27%	0.01%	0.01%	98.24%
2.D.2.	Uso de la cera de parafina	CO2	1.0	1.0	0.01%	101.24%	0.01%	0.01%	98.25%
3.B.4.f.	Mulas y asnos	CH4	1.3	1.3	0.01%	58.31%	0.01%	0.01%	98.26%
1.A.4.b.	Residencial - Líquido	N2O	0.3	0.3	0.00%	233.48%	0.01%	0.01%	98.27%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Líquido	N2O	0.3	0.3	0.00%	233.02%	0.01%	0.01%	98.27%
3.B.4.d.	Caprinos	N2O	0.3	0.3	0.00%	158.11%	0.00%	0.01%	98.27%
2.C.1.	Producción de hierro y acero	CO2	1.8	1.8	0.02%	26.93%	0.00%	0.00%	98.29%
1.A.4.a.	Comercial / Institucional - Líquido	CH4	0.2	0.2	0.00%	233.48%	0.00%	0.00%	98.29%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Líquido	CH4	0.1	0.1	0.00%	233.02%	0.00%	0.00%	98.29%
3.B.4.d.	Caprinos	CH4	0.4	0.4	0.00%	70.71%	0.00%	0.00%	98.29%
1.A.3.a.	Aviación civil	CO2	2.7	2.7	0.02%	8.60%	0.00%	0.00%	98.32%
1.A.4.a.	Comercial / Institucional - Líquido	N2O	0.1	0.1	0.00%	233.48%	0.00%	0.00%	98.32%
2.A.4.	Otros usos de carbonatos en los procesos	CO2	2.5	2.5	0.02%	5.20%	0.00%	0.00%	98.34%
3.B.4.a.	Búfalos	N2O	0.1	0.1	0.00%	212.13%	0.00%	0.00%	98.34%
3.B.4.a.	Búfalos	CH4	0.0	0.0	0.00%	158.11%	0.00%	0.00%	98.34%
1.A.3.a.	Aviación civil	N2O	0.0	0.0	0.00%	150.08%	0.00%	0.00%	98.34%
1.A.3.a.	Aviación civil	CH4	0.0	0.0	0.00%	100.12%	0.00%	0.00%	98.34%
1.B.2.a.	Petróleo	CO2	0.0	0.0	0.00%	75.06%	0.00%	0.00%	98.34%
5.B.1.	Compostaje	CH4	3.6	3.6	0.03%	0.00%	0.00%	0.00%	98.37%
5.C.2.	Incineración abierta de residuos	CH4	50.7	50.7	0.45%	0.00%	0.00%	0.00%	98.82%
5.C.2.	Incineración abierta de residuos	N2O	13.9	13.9	0.12%	0.00%	0.00%	0.00%	98.95%
5.D.1.	Aguas residuales domésticas	CH4	41.8	41.8	0.37%	0.00%	0.00%	0.00%	99.32%
5.D.1.	Aguas residuales domésticas	N2O	76.6	76.6	0.68%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
Total			11,253.6	11,253.6	100.00%	13981.79%	85.21%	100.00%	

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

Tabla A.1.5.

Estimación de las categorías principales de 2018 con UTCUTS, aplicando el Método 1

A	B	C	D	E	F	G
Código	Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero	GEI	Emisiones o absorciones de 2018 Ex,t	Valor absoluto de emisiones o absorciones de 2018 Ex,t	Evaluación de nivel Lx,t	Total acumulativo de la columna F
			kt CO ₂ eq	kt CO ₂ eq	%	%
4.A.1.	Tierras forestales que permanecen como tales	CO2	26,731.6	26,731.6	32.00%	32.00%
4.C.2.a.	Tierras forestales convertidas en pastizales	CO2	10,388.1	10,388.1	12.44%	44.44%
1.A.3.b.	Transporte terrestre	CO2	9,679.2	9,679.2	11.59%	56.03%
4.A.2.b.	Pastizales convertidos en tierras forestales	CO2	-9,558.4	9,558.4	11.44%	67.47%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Sólido	CO2	5,090.0	5,090.0	6.09%	73.56%
3.A.1.b.	Otros vacunos	CH4	3,731.9	3,731.9	4.47%	78.03%
4.B.2.a.	Tierras forestales convertidas en tierras de cultivo	CO2	3,331.3	3,331.3	3.99%	82.02%
1.A.4.b.	Residencial - Biomasa	CH4	2,108.0	2,108.0	2.52%	84.54%
1.A.2.	Industrias manufactureras y de la construcción - Líquido	CO2	1,943.7	1,943.7	2.33%	86.87%
4.A.2.a.	Tierras de cultivo convertidas en tierras forestales	CO2	-1,136.4	1,136.4	1.36%	88.23%
2.A.1.	Producción de cemento	CO2	990.2	990.2	1.19%	89.42%
1.A.4.b.	Residencial - Líquido	CO2	908.2	908.2	1.09%	90.50%
2.F.1.	Refrigeración y aire acondicionado	HFC	713.6	713.6	0.85%	91.36%
3.D.1.a.	Fertilizantes inorgánicos	N2O	579.3	579.3	0.69%	92.05%
5.A.1.	Sitios de disposición de residuos gestionados	CH4	511.3	511.3	0.61%	92.66%
5.A.2.	Sitios de disposición de residuos no gestionados	CH4	393.1	393.1	0.47%	93.13%
1.A.4.b.	Residencial - Biomasa	N2O	335.0	335.0	0.40%	93.54%
3.D.2.b.	Lixiviación y escurrimiento	N2O	326.5	326.5	0.39%	93.93%
4.F.2.a.	Tierras forestales convertidas en otras tierras	CO2	307.8	307.8	0.37%	94.29%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Líquido	CO2	273.9	273.9	0.33%	94.62%
3.A.1.a.	Vacas lecheras	CH4	263.6	263.6	0.32%	94.94%
5.D.1.	Aguas residuales domésticas	N2O	240.7	240.7	0.29%	95.23%
3.D.1.d.	Residuos de cosechas	N2O	222.2	222.2	0.27%	95.49%
4.A.1.	Tierras forestales que permanecen como tales	CH4	215.4	215.4	0.26%	95.75%
2.A.2.	Producción de cal	CO2	185.0	185.0	0.22%	95.97%
5.C.2.	Incineración abierta de residuos	CH4	173.0	173.0	0.21%	96.18%
5.C.2.	Incineración abierta de residuos	CO2	171.5	171.5	0.21%	96.38%
3.D.2.a.	Deposición atmosférica	N2O	155.2	155.2	0.19%	96.57%
1.A.1.b.	Refinación del petróleo - Líquido	CO2	154.0	154.0	0.18%	96.75%
4.B.1.	Tierras de cultivo que permanecen como tales	CO2	146.5	146.5	0.18%	96.93%
1.A.3.b.	Transporte terrestre	N2O	142.5	142.5	0.17%	97.10%
3.F.	Quema de residuos agrícola en el campo	CH4	130.7	130.7	0.16%	97.26%
4.E.2.a.	Tierras forestales convertidas en asentamientos	CO2	122.6	122.6	0.15%	97.40%
3.D.1.c.	Orina y estiércol depositado por animales de pastoreo	N2O	120.3	120.3	0.14%	97.55%
3.D.1.b.i.	Estiércol animal aplicado a los suelos	N2O	114.3	114.3	0.14%	97.68%
3.E.	Quema prescrita de sabanas	N2O	101.9	101.9	0.12%	97.81%
3.E.	Quema prescrita de sabanas	CH4	93.7	93.7	0.11%	97.92%
3.B.5.	Emisiones indirectas de N2O	N2O	80.4	80.4	0.10%	98.01%
5.D.1.	Aguas residuales domésticas	CH4	79.4	79.4	0.10%	98.11%
4.D.2.a.	Tierras forestales convertidas en humedales	CO2	78.6	78.6	0.09%	98.20%
4.A.1.	Tierras forestales que permanecen como tales	NO2	75.5	75.5	0.09%	98.29%
3.A.4.e.	Equinos	CH4	70.9	70.9	0.08%	98.38%
3.B.1.b.	Otros vacunos	CH4	66.6	66.6	0.08%	98.46%
1.A.4.a.	Comercial / Institucional - Biomasa	CH4	65.2	65.2	0.08%	98.54%
1.A.3.b.	Transporte terrestre	CH4	63.3	63.3	0.08%	98.61%
3.A.2.	Ovinos	CH4	61.6	61.6	0.07%	98.69%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Biomasa	N2O	60.4	60.4	0.07%	98.76%

Anexo técnico del IBA de Guatemala: Informe del Inventario Nacional 2022

A	B	C	D	E	F	G
Código	Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero	GEI	Emisiones o absorciones de 2018 Ex,t	Valor absoluto de emisiones o absorciones de 2018 Ex,t	Evaluación de nivel Lx,t	Total acumulativo de la columna F
			kt CO ₂ eq	kt CO ₂ eq	%	%
3.B.3.	Porcinos	N2O	59.8	59.8	0.07%	98.83%
3.B.1.b	Otros vacunos	N2O	55.6	55.6	0.07%	98.90%
5.D.2.	Aguas residuales industriales	CH4	48.8	48.8	0.06%	98.96%
1.A.4.a.	Comercial / Institucional - Líquido	CO2	48.0	48.0	0.06%	99.01%
5.C.2.	Incineración abierta de residuos	N2O	47.6	47.6	0.06%	99.07%
5.B.1.	Compostaje	CH4	45.1	45.1	0.05%	99.12%
4.C.2.b.	Tierras de cultivo convertidas en pastizales	CO2	42.5	42.5	0.05%	99.17%
3.F.	Quema de residuos agrícola en el campo	N2O	40.4	40.4	0.05%	99.22%
5.B.1.	Compostaje	N2O	40.3	40.3	0.05%	99.27%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Biomasa	CH4	38.0	38.0	0.05%	99.32%
3.H.	Aplicación de urea	CO2	37.3	37.3	0.04%	99.36%
3.A.3.	Porcinos	CH4	35.5	35.5	0.04%	99.40%
3.B.3.	Porcinos	CH4	35.5	35.5	0.04%	99.45%
4.F.2.c.	Pastizales convertidos en otras tierras	CO2	35.1	35.1	0.04%	99.49%
2.A.4.	Otros usos de carbonatos en los procesos	CO2	35.0	35.0	0.04%	99.53%
3.B.4.g.	Aves de corral	CH4	33.4	33.4	0.04%	99.57%
3.B.1.a.	Vacas lecheras	N2O	28.1	28.1	0.03%	99.60%
2.D.1.	Uso de lubricantes	CO2	26.1	26.1	0.03%	99.63%
3.B.4.g.	Aves de corral	N2O	24.7	24.7	0.03%	99.66%
4.E.2.b.	Tierras de cultivo convertidas en asentamientos	CO2	24.0	24.0	0.03%	99.69%
2.C.1.	Producción de hierro y acero	CO2	24.0	24.0	0.03%	99.72%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Sólido	N2O	23.1	23.1	0.03%	99.75%
4.E.2.c.	Pastizales convertidos en asentamientos	CO2	21.1	21.1	0.03%	99.77%
4.C.2.e.	Otras tierras convertidas en pastizales	CO2	-19.2	19.2	0.02%	99.80%
3.C.2.	Alimentadas a lluvia	CH4	16.5	16.5	0.02%	99.82%
3.D.1.b.iii.	Otros fertilizantes orgánicos aplicados a los suelos	N2O	14.8	14.8	0.02%	99.84%
4.C.2.c.	Humedales convertidos en pastizales	CO2	-13.4	13.4	0.02%	99.85%
2.A.3.	Producción de vidrio	CO2	13.2	13.2	0.02%	99.87%
3.A.4.f.	Mulas y asnos	CH4	12.9	12.9	0.02%	99.88%
3.A.4.d.	Caprinos	CH4	11.5	11.5	0.01%	99.90%
1.A.4.a.	Comercial / Institucional - Biomasa	N2O	10.4	10.4	0.01%	99.91%
4.D.2.c.	Pastizales convertidos en humedales	CO2	8.8	8.8	0.01%	99.92%
3.B.4.e.	Equinos	N2O	6.8	6.8	0.01%	99.93%
3.B.4.e.	Equinos	CH4	6.5	6.5	0.01%	99.94%
2.D.2.	Uso de la cera de parafina	CO2	5.4	5.4	0.01%	99.94%
1.A.3.a.	Aviación civil	CO2	4.0	4.0	0.00%	99.95%
1.A.2.	Industrias manufactureras y de la construcción - Líquido	N2O	3.8	3.8	0.00%	99.95%
4.D.2.b.	Tierras de cultivo convertidas en humedales	CO2	3.5	3.5	0.00%	99.96%
4.F.2.b.	Tierras de cultivo convertidas en otras tierras	CO2	3.5	3.5	0.00%	99.96%
4.B.2.b.	Pastizales convertidos en tierras de cultivo	CO2	3.5	3.5	0.00%	99.96%
3.A.4.a.	Búfalos	CH4	3.3	3.3	0.00%	99.97%
4.B.2.e.	Otras tierras convertidas en tierras de cultivo	CO2	-3.0	3.0	0.00%	99.97%
3.B.1.a.	Vacas lecheras	CH4	2.6	2.6	0.00%	99.97%
3.B.2.	Ovinos	N2O	1.9	1.9	0.00%	99.98%
4.C.2.d.	Asentamientos convertidos en pastizales	CO2	-1.9	1.9	0.00%	99.98%
4.B.2.d.	Asentamientos convertidos en tierras de cultivo	CO2	-1.9	1.9	0.00%	99.98%
3.B.2.	Ovinos	CH4	1.8	1.8	0.00%	99.98%
3.C.1.	Irrigadas	CH4	1.8	1.8	0.00%	99.99%
1.A.4.b.	Residencial - Líquido	CH4	1.8	1.8	0.00%	99.99%
1.A.2.	Industrias manufactureras y de la construcción - Líquido	CH4	1.6	1.6	0.00%	99.99%

Anexo técnico del IBA de Guatemala: Informe del Inventario Nacional 2022

A	B	C	D	E	F	G
Código	Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero	GEI	Emisiones o absorciones de 2018 Ex,t	Valor absoluto de emisiones o absorciones de 2018 Ex,t	Evaluación de nivel Lx,t	Total acumulativo de la columna F
			kt CO ₂ eq	kt CO ₂ eq	%	%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Sólido	CH4	1.3	1.3	0.00%	99.99%
3.B.4.f.	Mulas y asnos	N2O	1.2	1.2	0.00%	99.99%
3.B.4.f.	Mulas y asnos	CH4	1.2	1.2	0.00%	99.99%
4.B.2.c.	Humedales convertidos en tierras de cultivo	CO2	-1.2	1.2	0.00%	100.00%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Líquido	N2O	0.6	0.6	0.00%	100.00%
1.B.2.a.	Petróleo	CH4	0.5	0.5	0.00%	100.00%
1.A.4.b.	Residencial - Líquido	N2O	0.4	0.4	0.00%	100.00%
3.B.4.d.	Caprinos	CH4	0.4	0.4	0.00%	100.00%
1.A.1.b.	Refinación del petróleo - Líquido	N2O	0.4	0.4	0.00%	100.00%
2.C.2.	Producción de ferroaleaciones	CO2	0.3	0.3	0.00%	100.00%
3.B.4.d.	Caprinos	N2O	0.3	0.3	0.00%	100.00%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Líquido	CH4	0.3	0.3	0.00%	100.00%
1.A.1.b.	Refinación del petróleo - Líquido	CH4	0.2	0.2	0.00%	100.00%
1.A.4.a.	Comercial / Institucional - Líquido	CH4	0.1	0.1	0.00%	100.00%
1.A.4.a.	Comercial / Institucional - Líquido	N2O	0.1	0.1	0.00%	100.00%
3.B.4.a.	Búfalos	N2O	0.1	0.1	0.00%	100.00%
3.B.4.a.	Búfalos	CH4	0.0	0.0	0.00%	100.00%
1.A.3.a.	Aviación civil	N2O	0.0	0.0	0.00%	100.00%
1.A.3.a.	Aviación civil	CH4	0.0	0.0	0.00%	100.00%
1.B.2.a.	Petróleo	CO2	0.0	0.0	0.00%	100.00%
	Total		62,058.6	83,529.4	100.00%	

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

Tabla A.1.6.

Estimación de las categorías principales de 2018 sin UTCUTS, aplicando el Método 1

A	B	C	D	E	F	G
Código	Categorías de fuente de gases de efecto invernadero	GEI	Emisiones o absorciones de 2018 Ex,t	Valor absoluto de emisiones o absorciones de 2018 Ex,t	Evaluación de nivel Lx,t	Total acumulativo de la columna F
			kt CO ₂ eq	kt CO ₂ eq	%	%
1.A.3.b.	Transporte terrestre	CO2	9,679.2	9,679.2	30.97%	30.97%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Sólido	CO2	5,090.0	5,090.0	16.29%	47.25%
3.A.1.b.	Otros vacunos	CH4	3,731.9	3,731.9	11.94%	59.20%
1.A.4.b.	Residencial - Biomasa	CH4	2,108.0	2,108.0	6.74%	65.94%
1.A.2.	Industrias manufactureras y de la construcción - Líquido	CO2	1,943.7	1,943.7	6.22%	72.16%
2.A.1.	Producción de cemento	CO2	990.2	990.2	3.17%	75.33%
1.A.4.b.	Residencial - Líquido	CO2	908.2	908.2	2.91%	78.23%
2.F.1.	Refrigeración y aire acondicionado	HFC	713.6	713.6	2.28%	80.52%
3.D.1.a.	Fertilizantes inorgánicos	N2O	579.3	579.3	1.85%	82.37%
5.A.1.	Sitios de disposición de residuos gestionados	CH4	511.3	511.3	1.64%	84.00%
5.A.2.	Sitios de disposición de residuos no gestionados	CH4	393.1	393.1	1.26%	85.26%
1.A.4.b.	Residencial - Biomasa	N2O	335.0	335.0	1.07%	86.33%
3.D.2.b.	Lixiviación y escurrimiento	N2O	326.5	326.5	1.04%	87.38%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Líquido	CO2	273.9	273.9	0.88%	88.26%
3.A.1.a.	Vacas lecheras	CH4	263.6	263.6	0.84%	89.10%
5.D.1.	Aguas residuales domésticas	N2O	240.7	240.7	0.77%	89.87%
3.D.1.d.	Residuos de cosechas	N2O	222.2	222.2	0.71%	90.58%
2.A.2.	Producción de cal	CO2	185.0	185.0	0.59%	91.17%
5.C.2.	Incineración abierta de residuos	CH4	173.0	173.0	0.55%	91.73%
5.C.2.	Incineración abierta de residuos	CO2	171.5	171.5	0.55%	92.27%
3.D.2.a.	Deposición atmosférica	N2O	155.2	155.2	0.50%	92.77%
1.A.1.b.	Refinación del petróleo - Líquido	CO2	154.0	154.0	0.49%	93.26%
1.A.3.b.	Transporte terrestre	N2O	142.5	142.5	0.46%	93.72%
3.F.	Quema de residuos agrícola en el campo	CH4	130.7	130.7	0.42%	94.14%
3.D.1.c.	Orina y estiércol depositado por animales de pastoreo	N2O	120.3	120.3	0.38%	94.52%
3.D.1.b.1.	Estiércol animal aplicado a los suelos	N2O	114.3	114.3	0.37%	94.89%
3.E.	Quema prescrita de sabanas	N2O	101.9	101.9	0.33%	95.21%
3.E.	Quema prescrita de sabanas	CH4	93.7	93.7	0.30%	95.51%
3.B.5.	Emisiones indirectas de N2O	N2O	80.4	80.4	0.26%	95.77%
5.D.1.	Aguas residuales domésticas	CH4	79.4	79.4	0.25%	96.02%
3.A.4.e.	Equinos	CH4	70.9	70.9	0.23%	96.25%
3.B.1.b.	Otros vacunos	CH4	66.6	66.6	0.21%	96.46%
1.A.4.a.	Comercial / Institucional - Biomasa	CH4	65.2	65.2	0.21%	96.67%
1.A.3.b.	Transporte terrestre	CH4	63.3	63.3	0.20%	96.88%
3.A.2.	Ovinos	CH4	61.6	61.6	0.20%	97.07%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Biomasa	N2O	60.4	60.4	0.19%	97.27%
3.B.3.	Porcinos	N2O	59.8	59.8	0.19%	97.46%
3.B.1.b.	Otros vacunos	N2O	55.6	55.6	0.18%	97.64%
5.D.2.	Aguas residuales industriales	CH4	48.8	48.8	0.16%	97.79%
1.A.4.a.	Comercial / Institucional - Líquido	CO2	48.0	48.0	0.15%	97.95%
5.C.2.	Incineración abierta de residuos	N2O	47.6	47.6	0.15%	98.10%
5.B.1.	Compostaje	CH4	45.1	45.1	0.14%	98.24%
3.F.	Quema de residuos agrícola en el campo	N2O	40.4	40.4	0.13%	98.37%
5.B.1.	Compostaje	N2O	40.3	40.3	0.13%	98.50%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Biomasa	CH4	38.0	38.0	0.12%	98.62%
3.H.	Aplicación de urea	CO2	37.3	37.3	0.12%	98.74%
3.A.3.	Porcinos	CH4	35.5	35.5	0.11%	98.85%

Anexo técnico del IBA de Guatemala: Informe del Inventario Nacional 2022

A	B	C	D	E	F	G
Código	Categorías de fuente de gases de efecto invernadero	GEI	Emisiones o absorciones de 2018 Ex,t	Valor absoluto de emisiones o absorciones de 2018 Ex,t	Evaluación de nivel Lx,t	Total acumulativo de la columna F
			kt CO ₂ eq	kt CO ₂ eq	%	%
3.B.3.	Porcinos	CH4	35.5	35.5	0.11%	98.97%
2.A.4.	Otros usos de carbonatos en los procesos	CO2	35.0	35.0	0.11%	99.08%
3.B.4.g.	Aves de corral	CH4	33.4	33.4	0.11%	99.19%
3.B.1.a.	Vacas lecheras	N2O	28.1	28.1	0.09%	99.28%
2.D.1.	Uso de lubricantes	CO2	26.1	26.1	0.08%	99.36%
3.B.4.g.	Aves de corral	N2O	24.7	24.7	0.08%	99.44%
2.C.1.	Producción de hierro y acero	CO2	24.0	24.0	0.08%	99.52%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Sólido	N2O	23.1	23.1	0.07%	99.59%
3.C.2.	Alimentadas a lluvia	CH4	16.5	16.5	0.05%	99.64%
3.D.1.b.iii.	Otros fertilizantes orgánicos aplicados a los suelos	N2O	14.8	14.8	0.05%	99.69%
2.A.3.	Producción de vidrio	CO2	13.2	13.2	0.04%	99.73%
3.A.4.f.	Mulas y asnos	CH4	12.9	12.9	0.04%	99.77%
3.A.4.d.	Caprinos	CH4	11.5	11.5	0.04%	99.81%
1.A.4.a.	Comercial / Institucional - Biomasa	N2O	10.4	10.4	0.03%	99.84%
3.B.4.e.	Equinos	N2O	6.8	6.8	0.02%	99.87%
3.B.4.e.	Equinos	CH4	6.5	6.5	0.02%	99.89%
2.D.2.	Uso de la cera de parafina	CO2	5.4	5.4	0.02%	99.90%
1.A.3.a.	Aviación civil	CO2	4.0	4.0	0.01%	99.92%
1.A.2.	Industrias manufactureras y de la construcción - Líquido	N2O	3.8	3.8	0.01%	99.93%
3.A.4.a.	Búfalos	CH4	3.3	3.3	0.01%	99.94%
3.B.1.a.	Vacas lecheras	CH4	2.6	2.6	0.01%	99.95%
3.B.2.	Ovinos	N2O	1.9	1.9	0.01%	99.95%
3.B.2.	Ovinos	CH4	1.8	1.8	0.01%	99.96%
3.C.1.	Irrigadas	CH4	1.8	1.8	0.01%	99.97%
1.A.4.b.	Residencial - Líquido	CH4	1.8	1.8	0.01%	99.97%
1.A.2.	Industrias manufactureras y de la construcción - Líquido	CH4	1.6	1.6	0.01%	99.98%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Sólido	CH4	1.3	1.3	0.00%	99.98%
3.B.4.f.	Mulas y asnos	N2O	1.2	1.2	0.00%	99.98%
3.B.4.f.	Mulas y asnos	CH4	1.2	1.2	0.00%	99.99%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Líquido	N2O	0.6	0.6	0.00%	99.99%
1.B.2.a.	Petróleo	CH4	0.5	0.5	0.00%	99.99%
1.A.4.b.	Residencial - Líquido	N2O	0.4	0.4	0.00%	99.99%
3.B.4.d.	Caprinos	CH4	0.4	0.4	0.00%	99.99%
1.A.1.b.	Refinación del petróleo - Líquido	N2O	0.4	0.4	0.00%	100.00%
2.C.2.	Producción de ferroaleaciones	CO2	0.3	0.3	0.00%	100.00%
3.B.4.d.	Caprinos	N2O	0.3	0.3	0.00%	100.00%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Líquido	CH4	0.3	0.3	0.00%	100.00%
1.A.1.b.	Refinación del petróleo - Líquido	CH4	0.2	0.2	0.00%	100.00%
1.A.4.a.	Comercial / Institucional - Líquido	CH4	0.1	0.1	0.00%	100.00%
1.A.4.a.	Comercial / Institucional - Líquido	N2O	0.1	0.1	0.00%	100.00%
3.B.4.a.	Búfalos	N2O	0.1	0.1	0.00%	100.00%
3.B.4.a.	Búfalos	CH4	0.0	0.0	0.00%	100.00%
1.A.3.a.	Aviación civil	N2O	0.0	0.0	0.00%	100.00%
1.A.3.a.	Aviación civil	CH4	0.0	0.0	0.00%	100.00%
1.B.2.a.	Petróleo	CO2	0.0	0.0	0.00%	100.00%
	Total		31,254.6	31,254.6	100.00%	

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

Tabla A.1.7.

Estimación de las categorías principales de 2018 con UTCUTS, aplicando el Método 2

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Código	Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero	GEI	Emisiones o absorciones de 2018 Ex,t	Valor absoluto de emisiones o absorciones de 2018 Ex,t	Evaluación de nivel Lx,t	Incertidumbre combinada Ux,t	(Lx,t • Ux,t)	Evaluación de Nivel de 2018 con incertidumbre LUx,t	Total acumulativo de la columna F
			kt CO ₂ eq	kt CO ₂ eq	%	%	%	%	%
4.A.1.	Tierras forestales que permanecen como tales	CO2	26,731.6	26,731.6	32.00%	33.07%	10.58%	20.65%	32.00%
4.C.2.a.	Tierras forestales convertidas en pastizales	CO2	10,388.1	10,388.1	12.44%	49.16%	6.11%	11.93%	44.44%
1.A.4.b.	Residencial - Biomasa	CH4	2,108.0	2,108.0	2.52%	233.48%	5.89%	11.50%	46.96%
4.A.2.b.	Pastizales convertidos en tierras forestales	CO2	-9,558.4	9,558.4	11.44%	49.16%	5.63%	10.98%	58.41%
3.A.1.b.	Otros vacunos	CH4	3,731.9	3,731.9	4.47%	54.08%	2.42%	4.72%	62.87%
3.D.2.b.	Lixiviación y escurrimiento	N2O	326.5	326.5	0.39%	604.67%	2.36%	4.61%	63.26%
3.D.1.a.	Fertilizantes inorgánicos	N2O	579.3	579.3	0.69%	300.67%	2.09%	4.07%	63.96%
4.B.2.a.	Tierras forestales convertidas en tierras de cultivo	CO2	3,331.3	3,331.3	3.99%	49.16%	1.96%	3.83%	67.95%
5.A.1.	Sitios de disposición de residuos gestionados	CH4	511.3	511.3	0.61%	202.30%	1.24%	2.42%	68.56%
1.A.4.b.	Residencial - Biomasa	N2O	335.0	335.0	0.40%	275.41%	1.10%	2.16%	68.96%
1.A.3.b.	Transporte terrestre	CO2	9,679.2	9,679.2	11.59%	8.60%	1.00%	1.95%	80.55%
5.A.2.	Sitios de disposición de residuos no gestionados	CH4	393.1	393.1	0.47%	204.27%	0.96%	1.88%	81.02%
3.D.2.a.	Deposición atmosférica	N2O	155.2	155.2	0.19%	505.59%	0.94%	1.83%	81.20%
3.D.1.d.	Residuos de cosechas	N2O	222.2	222.2	0.27%	309.23%	0.82%	1.60%	81.47%
4.A.2.a.	Tierras de cultivo convertidas en tierras forestales	CO2	-1,136.4	1,136.4	1.36%	49.16%	0.67%	1.31%	82.83%
2.F.1.	Refrigeración y aire acondicionado	HFC	713.6	713.6	0.85%	74.80%	0.64%	1.25%	83.68%
3.B.5.	Emisiones indirectas de N2O	N2O	80.4	80.4	0.10%	522.02%	0.50%	0.98%	83.78%
3.D.1.c.	Orina y estiércol depositado por animales de pastoreo	N2O	120.3	120.3	0.14%	337.14%	0.49%	0.93%	83.92%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Sólido	CO2	5,090.0	5,090.0	6.09%	7.62%	0.46%	0.91%	90.02%
3.D.1.b.i.	Estiércol animal aplicado a los suelos	N2O	114.3	114.3	0.14%	306.96%	0.42%	0.82%	90.16%
1.A.3.b.	Transporte terrestre	N2O	142.5	142.5	0.17%	240.05%	0.41%	0.80%	90.33%
2.A.1.	Producción de cemento	CO2	990.2	990.2	1.19%	33.24%	0.39%	0.77%	91.51%
5.C.2.	Incineración abierta de residuos	CO2	171.5	171.5	0.21%	141.42%	0.29%	0.57%	91.72%
4.A.1.	Tierras forestales que permanecen como tales	CH4	215.4	215.4	0.26%	91.55%	0.24%	0.46%	91.97%
3.F.	Quema de residuos agrícola en el campo	CH4	130.7	130.7	0.16%	128.06%	0.20%	0.39%	92.13%
1.A.2.	Industrias manufactureras y de la construcción - Líquido	CO2	1,943.7	1,943.7	2.33%	8.60%	0.20%	0.39%	94.46%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Biomasa	N2O	60.4	60.4	0.07%	275.02%	0.20%	0.39%	94.53%
1.A.4.a.	Comercial / Institucional - Biomasa	CH4	65.2	65.2	0.08%	233.48%	0.18%	0.36%	94.61%
4.F.2.a.	Tierras forestales convertidas en otras tierras	CO2	307.8	307.8	0.37%	49.16%	0.18%	0.35%	94.98%
1.A.4.b.	Residencial - Líquido	CO2	908.2	908.2	1.09%	16.55%	0.18%	0.35%	96.06%
1.A.3.b.	Transporte terrestre	CH4	63.3	63.3	0.08%	230.05%	0.17%	0.34%	96.14%
3.A.1.a.	Vacas lecheras	CH4	263.6	263.6	0.32%	54.08%	0.17%	0.33%	96.46%
4.B.1.	Tierras de cultivo que permanecen como tales	CO2	146.5	146.5	0.18%	87.85%	0.15%	0.30%	96.63%
3.E.	Quema prescrita de sabanas	N2O	101.9	101.9	0.12%	116.30%	0.14%	0.28%	96.75%
3.E.	Quema prescrita de sabanas	CH4	93.7	93.7	0.11%	116.30%	0.13%	0.25%	96.86%
3.B.3.	Porcinos	N2O	59.8	59.8	0.07%	161.55%	0.12%	0.23%	96.94%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Biomasa	CH4	38.0	38.0	0.05%	233.02%	0.11%	0.21%	96.98%
3.B.1.b.	Otros vacunos	N2O	55.6	55.6	0.07%	156.60%	0.10%	0.20%	97.05%
5.D.2.	Aguas residuales industriales	CH4	48.8	48.8	0.06%	177.76%	0.10%	0.20%	97.11%
4.A.1.	Tierras forestales que permanecen como tales	NO2	75.5	75.5	0.09%	87.80%	0.08%	0.15%	97.20%
4.E.2.a.	Tierras forestales convertidas en asentamientos	CO2	122.6	122.6	0.15%	49.16%	0.07%	0.14%	97.34%
5.B.1.	Compostaje	N2O	40.3	40.3	0.05%	141.42%	0.07%	0.13%	97.39%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Sólido	N2O	23.1	23.1	0.03%	233.02%	0.06%	0.13%	97.42%
3.F.	Quema de residuos agrícola en el campo	N2O	40.4	40.4	0.05%	128.06%	0.06%	0.12%	97.47%
3.D.1.b.iii.	Otros fertilizantes orgánicos aplicados a los suelos	N2O	14.8	14.8	0.02%	306.96%	0.05%	0.11%	97.49%
3.B.1.b.	Otros vacunos	CH4	66.6	66.6	0.08%	67.27%	0.05%	0.10%	97.57%

Anexo técnico del 1BA de Guatemala: Informe del Inventario Nacional 2022

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Código	Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero	GEI	Emisiones o absorciones de 2018 Ex,t	Valor absoluto de emisiones o absorciones de 2018 Ex,t	Evaluación de nivel Lx,t	Incertidumbre combinada Ux,t	(Lx,t + Ux,t)	Evaluación de Nivel de 2018 con incertidumbre LUX,t	Total acumulativo de la columna F
			kt CO ₂ eq	kt CO ₂ eq	%	%	%	%	%
3.B.1.a.	Vacas lecheras	N2O	28.1	28.1	0.03%	156.60%	0.05%	0.10%	97.60%
3.B.4.g.	Aves de corral	N2O	24.7	24.7	0.03%	167.71%	0.05%	0.10%	97.63%
3.A.4.e.	Equinos	CH4	70.9	70.9	0.08%	58.31%	0.05%	0.10%	97.71%
3.A.2.	Ovinos	CH4	61.6	61.6	0.07%	67.08%	0.05%	0.10%	97.79%
4.D.2.a.	Tierras forestales convertidas en humedales	CO2	78.6	78.6	0.09%	49.16%	0.05%	0.09%	97.88%
3.C.2.	Alimentadas a lluvia	CH4	16.5	16.5	0.02%	231.70%	0.05%	0.09%	97.90%
4.C.2.b.	Tierras de cultivo convertidas en pastizales	CO2	42.5	42.5	0.05%	87.85%	0.04%	0.09%	97.95%
4.F.2.c.	Pastizales convertidos en otras tierras	CO2	35.1	35.1	0.04%	87.85%	0.04%	0.07%	97.99%
3.B.4.g.	Aves de corral	CH4	33.4	33.4	0.04%	90.14%	0.04%	0.07%	98.03%
1.A.4.a.	Comercial / Institucional - Biomasa	N2O	10.4	10.4	0.01%	275.41%	0.03%	0.07%	98.05%
3.B.3.	Porcinos	CH4	35.5	35.5	0.04%	78.10%	0.03%	0.06%	98.09%
3.A.3.	Porcinos	CH4	35.5	35.5	0.04%	67.08%	0.03%	0.06%	98.13%
4.E.2.b.	Tierras de cultivo convertidas en asentamientos	CO2	24.0	24.0	0.03%	87.85%	0.03%	0.05%	98.16%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Líquido	CO2	273.9	273.9	0.33%	7.62%	0.02%	0.05%	98.49%
3.H.	Aplicación de urea	CO2	37.3	37.3	0.04%	53.85%	0.02%	0.05%	98.53%
4.E.2.c.	Pastizales convertidos en asentamientos	CO2	21.1	21.1	0.03%	87.85%	0.02%	0.04%	98.56%
4.C.2.e.	Otras tierras convertidas en pastizales	CO2	-19.2	19.2	0.02%	87.85%	0.02%	0.04%	98.58%
2.D.1.	Uso de lubricantes	CO2	26.1	26.1	0.03%	52.29%	0.02%	0.03%	98.61%
4.C.2.c.	Humedales convertidos en pastizales	CO2	-13.4	13.4	0.02%	87.85%	0.01%	0.03%	98.63%
1.A.1.b.	Refinación del petróleo - Líquido	CO2	154.0	154.0	0.18%	7.62%	0.01%	0.03%	98.81%
2.A.2.	Producción de cal	CO2	185.0	185.0	0.22%	6.32%	0.01%	0.03%	99.03%
3.B.4.e.	Equinos	N2O	6.8	6.8	0.01%	158.11%	0.01%	0.03%	99.04%
1.A.2.	Industrias manufactureras y de la construcción - Líquido	N2O	3.8	3.8	0.00%	233.05%	0.01%	0.02%	99.05%
2.A.3.	Producción de vidrio	CO2	13.2	13.2	0.02%	60.21%	0.01%	0.02%	99.06%
1.A.4.a.	Comercial / Institucional - Líquido	CO2	48.0	48.0	0.06%	16.55%	0.01%	0.02%	99.12%
4.D.2.c.	Pastizales convertidos en humedales	CO2	8.8	8.8	0.01%	87.85%	0.01%	0.02%	99.13%
3.A.4.d.	Caprinos	CH4	11.5	11.5	0.01%	58.31%	0.01%	0.02%	99.14%
2.C.1.	Producción de hierro y acero	CO2	24.0	24.0	0.03%	26.93%	0.01%	0.02%	99.17%
3.A.4.f.	Mulas y asnos	CH4	12.9	12.9	0.02%	42.43%	0.01%	0.01%	99.19%
2.D.2.	Uso de la cera de parafina	CO2	5.4	5.4	0.01%	101.24%	0.01%	0.01%	99.20%
3.A.4.a.	Búfalos	CH4	3.3	3.3	0.00%	152.97%	0.01%	0.01%	99.20%
3.B.4.e.	Equinos	CH4	6.5	6.5	0.01%	70.71%	0.01%	0.01%	99.21%
3.C.1.	Irrigadas	CH4	1.8	1.8	0.00%	231.70%	0.01%	0.01%	99.21%
1.A.4.b.	Residencial - Líquido	CH4	1.8	1.8	0.00%	233.48%	0.01%	0.01%	99.21%
1.A.2.	Industrias manufactureras y de la construcción - Líquido	CH4	1.6	1.6	0.00%	233.05%	0.00%	0.01%	99.21%
3.B.2.	Ovinos	N2O	1.9	1.9	0.00%	161.55%	0.00%	0.01%	99.22%
4.D.2.b.	Tierras de cultivo convertidas en humedales	CO2	3.5	3.5	0.00%	87.85%	0.00%	0.01%	99.22%
4.F.2.b.	Tierras de cultivo convertidas en otras tierras	CO2	3.5	3.5	0.00%	87.85%	0.00%	0.01%	99.22%
4.B.2.b.	Pastizales convertidos en tierras de cultivo	CO2	3.5	3.5	0.00%	87.85%	0.00%	0.01%	99.23%
4.B.2.e.	Otras tierras convertidas en tierras de cultivo	CO2	-3.0	3.0	0.00%	87.85%	0.00%	0.01%	99.23%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Sólido	CH4	1.3	1.3	0.00%	200.02%	0.00%	0.01%	99.23%
3.B.4.f.	Mulas y asnos	N2O	1.2	1.2	0.00%	152.97%	0.00%	0.00%	99.24%
2.A.4.	Otros usos de carbonatos en los procesos	CO2	35.0	35.0	0.04%	5.20%	0.00%	0.00%	99.28%
3.B.1.a.	Vacas lecheras	CH4	2.6	2.6	0.00%	67.27%	0.00%	0.00%	99.28%
4.C.2.d.	Asentamientos convertidos en pastizales	CO2	-1.9	1.9	0.00%	87.85%	0.00%	0.00%	99.28%
4.B.2.d.	Asentamientos convertidos en tierras de cultivo	CO2	-1.9	1.9	0.00%	87.85%	0.00%	0.00%	99.28%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Líquido	N2O	0.6	0.6	0.00%	233.02%	0.00%	0.00%	99.29%
3.B.2.	Ovinos	CH4	1.8	1.8	0.00%	78.10%	0.00%	0.00%	99.29%
4.B.2.c.	Humedales convertidos en tierras de cultivo	CO2	-1.2	1.2	0.00%	87.85%	0.00%	0.00%	99.29%

Anexo técnico del 1BA de Guatemala: Informe del Inventario Nacional 2022

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Código	Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero	GEI	Emisiones o absorciones de 2018 Ex,t	Valor absoluto de emisiones o absorciones de 2018 Ex,t	Evaluación de nivel Lx,t	Incertidumbre combinada Ux,t	(Lx,t + Ux,t)	Evaluación de Nivel de 2018 con incertidumbre LUx,t	Total acumulativo de la columna F
			kt CO ₂ eq	kt CO ₂ eq	%	%	%	%	%
1.A.4.b.	Residencial - Líquido	N2O	0.4	0.4	0.00%	233.48%	0.00%	0.00%	99.29%
1.A.1.b.	Refinación del petróleo - Líquido	N2O	0.4	0.4	0.00%	233.02%	0.00%	0.00%	99.29%
3.B.4.f.	Mulas y asnos	CH4	1.2	1.2	0.00%	58.31%	0.00%	0.00%	99.29%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Líquido	CH4	0.3	0.3	0.00%	233.02%	0.00%	0.00%	99.29%
3.B.4.d.	Caprinos	N2O	0.3	0.3	0.00%	158.11%	0.00%	0.00%	99.29%
1.B.2.a.	Petróleo	CH4	0.5	0.5	0.00%	75.06%	0.00%	0.00%	99.29%
1.A.1.b.	Refinación del petróleo - Líquido	CH4	0.2	0.2	0.00%	233.02%	0.00%	0.00%	99.29%
1.A.3.a.	Aviación civil	CO2	4.0	4.0	0.00%	8.60%	0.00%	0.00%	99.30%
1.A.4.a.	Comercial / Institucional - Líquido	CH4	0.1	0.1	0.00%	233.48%	0.00%	0.00%	99.30%
3.B.4.d.	Caprinos	CH4	0.4	0.4	0.00%	70.71%	0.00%	0.00%	99.30%
1.A.4.a.	Comercial / Institucional - Líquido	N2O	0.1	0.1	0.00%	233.48%	0.00%	0.00%	99.30%
3.B.4.a.	Búfalos	N2O	0.1	0.1	0.00%	212.13%	0.00%	0.00%	99.30%
2.C.2.	Producción de ferroaleaciones	CO2	0.3	0.3	0.00%	25.50%	0.00%	0.00%	99.30%
3.B.4.a.	Búfalos	CH4	0.0	0.0	0.00%	158.11%	0.00%	0.00%	99.30%
1.A.3.a.	Aviación civil	N2O	0.0	0.0	0.00%	150.08%	0.00%	0.00%	99.30%
1.A.3.a.	Aviación civil	CH4	0.0	0.0	0.00%	100.12%	0.00%	0.00%	99.30%
1.B.2.a.	Petróleo	CO2	0.0	0.0	0.00%	75.06%	0.00%	0.00%	99.30%
5.B.1.	Compostaje	CH4	45.1	45.1	0.05%	0.00%	0.00%	0.00%	99.35%
5.C.2.	Incineración abierta de residuos	CH4	173.0	173.0	0.21%	0.00%	0.00%	0.00%	99.56%
5.C.2.	Incineración abierta de residuos	N2O	47.6	47.6	0.06%	0.00%	0.00%	0.00%	99.62%
5.D.1.	Aguas residuales domésticas	CH4	79.4	79.4	0.10%	0.00%	0.00%	0.00%	99.71%
5.D.1.	Aguas residuales domésticas	N2O	240.7	240.7	0.29%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
	Total		62,058.6	83,529.4	100.00%	15856.14%	51.25%	100.00%	

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

Tabla A.1.8.

Estimación de las categorías principales de 2018 sin UTCUTS, aplicando el Método 2

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Código	Categorías de fuente de gases de efecto invernadero	GEI	Emisiones o absorciones de 2018 Ex,t	Valor absoluto de emisiones o absorciones de 2018 Ex,t	Evaluación de nivel Lx,t	Incertidumbre combinada Ux,t	(Lx,t • Ux,t)	Evaluación de Nivel de 2018 con incertidumbre LUX,t	Total acumulativo de la columna F
			kt CO ₂ eq	kt CO ₂ eq	%	%	%	%	%
1.A.4.b.	Residencial - Biomasa	CH4	2,108.0	2,108.0	6.74%	233.48%	15.75%	23.26%	6.74%
3.A.1.b.	Otros vacunos	CH4	3,731.9	3,731.9	11.94%	54.08%	6.46%	9.54%	18.68%
3.D.2.b.	Lixiviación y escurrimiento	N2O	326.5	326.5	1.04%	604.67%	6.32%	9.33%	19.73%
3.D.1.a.	Fertilizantes inorgánicos	N2O	579.3	579.3	1.85%	300.67%	5.57%	8.23%	21.58%
5.A.1.	Sitios de disposición de residuos gestionados	CH4	511.3	511.3	1.64%	202.30%	3.31%	4.89%	23.22%
1.A.4.b.	Residencial - Biomasa	N2O	335.0	335.0	1.07%	275.41%	2.95%	4.36%	24.29%
1.A.3.b.	Transporte terrestre	CO2	9,679.2	9,679.2	30.97%	8.60%	2.66%	3.94%	55.26%
5.A.2.	Sitios de disposición de residuos no gestionados	CH4	393.1	393.1	1.26%	204.27%	2.57%	3.80%	56.52%
3.D.2.a.	Deposición atmosférica	N2O	155.2	155.2	0.50%	505.59%	2.51%	3.71%	57.01%
3.D.1.d.	Residuos de cosechas	N2O	222.2	222.2	0.71%	309.23%	2.20%	3.25%	57.73%
2.F.1.	Refrigeración y aire acondicionado	HFC	713.6	713.6	2.28%	74.80%	1.71%	2.52%	60.01%
3.B.5.	Emisiones indirectas de N2O	N2O	80.4	80.4	0.26%	522.02%	1.34%	1.98%	60.27%
3.D.1.c.	Orina y estiércol depositado por animales de pastoreo	N2O	120.3	120.3	0.38%	337.14%	1.30%	1.92%	60.65%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Sólido	CO2	5,090.0	5,090.0	16.29%	7.62%	1.24%	1.83%	76.94%
3.D.1.b.i.	Estiércol animal aplicado a los suelos	N2O	114.3	114.3	0.37%	306.96%	1.12%	1.66%	77.30%
1.A.3.b.	Transporte terrestre	N2O	142.5	142.5	0.46%	240.05%	1.09%	1.62%	77.76%
2.A.1.	Producción de cemento	CO2	990.2	990.2	3.17%	33.24%	1.05%	1.56%	80.93%
5.C.2.	Incineración abierta de residuos	CO2	171.5	171.5	0.55%	141.42%	0.78%	1.15%	81.47%
3.F.	Quema de residuos agrícola en el campo	CH4	130.7	130.7	0.42%	128.06%	0.54%	0.79%	81.89%
1.A.2.	Industrias manufactureras y de la construcción - Líquido	CO2	1,943.7	1,943.7	6.22%	8.60%	0.53%	0.79%	88.11%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Biomasa	N2O	60.4	60.4	0.19%	275.02%	0.53%	0.79%	88.30%
1.A.4.a.	Comercial / Institucional - Biomasa	CH4	65.2	65.2	0.21%	233.48%	0.49%	0.72%	88.51%
1.A.4.b.	Residencial - Líquido	CO2	908.2	908.2	2.91%	16.55%	0.48%	0.71%	91.42%
1.A.3.b.	Transporte terrestre	CH4	63.3	63.3	0.20%	230.05%	0.47%	0.69%	91.62%
3.A.1.a.	Vacas lecheras	CH4	263.6	263.6	0.84%	54.08%	0.46%	0.67%	92.47%
3.E.	Quema prescrita de sabanas	N2O	101.9	101.9	0.33%	116.30%	0.38%	0.56%	92.79%
3.E.	Quema prescrita de sabanas	CH4	93.7	93.7	0.30%	116.30%	0.35%	0.51%	93.09%
3.B.3.	Porcinos	N2O	59.8	59.8	0.19%	161.55%	0.31%	0.46%	93.28%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Biomasa	CH4	38.0	38.0	0.12%	233.02%	0.28%	0.42%	93.40%
3.B.1.b.	Otros vacunos	N2O	55.6	55.6	0.18%	156.60%	0.28%	0.41%	93.58%
5.D.2.	Aguas residuales industriales	CH4	48.8	48.8	0.16%	177.76%	0.28%	0.41%	93.74%
5.B.1.	Compostaje	N2O	40.3	40.3	0.13%	141.42%	0.18%	0.27%	93.87%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Sólido	N2O	23.1	23.1	0.07%	233.02%	0.17%	0.25%	93.94%
3.F.	Quema de residuos agrícola en el campo	N2O	40.4	40.4	0.13%	128.06%	0.17%	0.24%	94.07%
3.D.1.b.iii.	Otros fertilizantes orgánicos aplicados a los suelos	N2O	14.8	14.8	0.05%	306.96%	0.15%	0.21%	94.12%
3.B.1.b.	Otros vacunos	CH4	66.6	66.6	0.21%	67.27%	0.14%	0.21%	94.33%
3.B.1.a.	Vacas lecheras	N2O	28.1	28.1	0.09%	156.60%	0.14%	0.21%	94.42%
3.B.4.g.	Aves de corral	N2O	24.7	24.7	0.08%	167.71%	0.13%	0.20%	94.50%
3.A.4.e.	Equinos	CH4	70.9	70.9	0.23%	58.31%	0.13%	0.20%	94.73%
3.A.2.	Ovinos	CH4	61.6	61.6	0.20%	67.08%	0.13%	0.20%	94.92%
3.C.2.	Alimentadas a lluvia	CH4	16.5	16.5	0.05%	231.70%	0.12%	0.18%	94.98%
3.B.4.g.	Aves de corral	CH4	33.4	33.4	0.11%	90.14%	0.10%	0.14%	95.08%
1.A.4.a.	Comercial / Institucional - Biomasa	N2O	10.4	10.4	0.03%	275.41%	0.09%	0.13%	95.12%
3.B.3.	Porcinos	CH4	35.5	35.5	0.11%	78.10%	0.09%	0.13%	95.23%
3.A.3.	Porcinos	CH4	35.5	35.5	0.11%	67.08%	0.08%	0.11%	95.34%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Líquido	CO2	273.9	273.9	0.88%	7.62%	0.07%	0.10%	96.22%

Anexo técnico del 1BA de Guatemala: Informe del Inventario Nacional 2022

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Código	Categorías de fuente de gases de efecto invernadero	GEI	Emisiones o absorciones de 2018 Ex,t	Valor absoluto de emisiones o absorciones de 2018 Ex,t	Evaluación de nivel Lx,t	Incertidumbre combinada Ux,t	(Lx,t + Ux,t)	Evaluación de Nivel de 2018 con incertidumbre LUX,t	Total acumulativo de la columna F
			kt CO ₂ eq	kt CO ₂ eq	%	%	%	%	%
3.H.	Aplicación de urea	CO2	37.3	37.3	0.12%	53.85%	0.06%	0.09%	96.34%
2.D.1.	Uso de lubricantes	CO2	26.1	26.1	0.08%	52.29%	0.04%	0.06%	96.42%
1.A.1.b.	Refinación del petróleo - Líquido	CO2	154.0	154.0	0.49%	7.62%	0.04%	0.06%	96.92%
2.A.2.	Producción de cal	CO2	185.0	185.0	0.59%	6.32%	0.04%	0.06%	97.51%
3.B.4.e.	Equinos	N2O	6.8	6.8	0.02%	158.11%	0.03%	0.05%	97.53%
1.A.2.	Industrias manufactureras y de la construcción - Líquido	N2O	3.8	3.8	0.01%	233.05%	0.03%	0.04%	97.54%
2.A.3.	Producción de vidrio	CO2	13.2	13.2	0.04%	60.21%	0.03%	0.04%	97.58%
1.A.4.a.	Comercial / Institucional - Líquido	CO2	48.0	48.0	0.15%	16.55%	0.03%	0.04%	97.74%
3.A.4.d.	Caprinos	CH4	11.5	11.5	0.04%	58.31%	0.02%	0.03%	97.77%
2.C.1.	Producción de hierro y acero	CO2	24.0	24.0	0.08%	26.93%	0.02%	0.03%	97.85%
3.A.4.f.	Mulas y asnos	CH4	12.9	12.9	0.04%	42.43%	0.02%	0.03%	97.89%
2.D.2.	Uso de la cera de parafina	CO2	5.4	5.4	0.02%	101.24%	0.02%	0.03%	97.91%
3.A.4.a.	Búfalos	CH4	3.3	3.3	0.01%	152.97%	0.02%	0.02%	97.92%
3.B.4.e.	Equinos	CH4	6.5	6.5	0.02%	70.71%	0.01%	0.02%	97.94%
3.C.1.	Irrigadas	CH4	1.8	1.8	0.01%	231.70%	0.01%	0.02%	97.95%
1.A.4.b.	Residencial - Líquido	CH4	1.8	1.8	0.01%	233.48%	0.01%	0.02%	97.95%
1.A.2.	Industrias manufactureras y de la construcción - Líquido	CH4	1.6	1.6	0.01%	233.05%	0.01%	0.02%	97.96%
3.B.2.	Ovinos	N2O	1.9	1.9	0.01%	161.55%	0.01%	0.01%	97.96%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Sólido	CH4	1.3	1.3	0.00%	200.02%	0.01%	0.01%	97.97%
3.B.4.f.	Mulas y asnos	N2O	1.2	1.2	0.00%	152.97%	0.01%	0.01%	97.97%
2.A.4.	Otros usos de carbonatos en los procesos	CO2	35.0	35.0	0.11%	5.20%	0.01%	0.01%	98.08%
3.B.1.a.	Vacas lecheras	CH4	2.6	2.6	0.01%	67.27%	0.01%	0.01%	98.09%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Líquido	N2O	0.6	0.6	0.00%	233.02%	0.00%	0.01%	98.09%
3.B.2.	Ovinos	CH4	1.8	1.8	0.01%	78.10%	0.00%	0.01%	98.10%
1.A.4.b.	Residencial - Líquido	N2O	0.4	0.4	0.00%	233.48%	0.00%	0.00%	98.10%
1.A.1.b.	Refinación del petróleo - Líquido	N2O	0.4	0.4	0.00%	233.02%	0.00%	0.00%	98.10%
3.B.4.f.	Mulas y asnos	CH4	1.2	1.2	0.00%	58.31%	0.00%	0.00%	98.11%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Líquido	CH4	0.3	0.3	0.00%	233.02%	0.00%	0.00%	98.11%
3.B.4.d.	Caprinos	N2O	0.3	0.3	0.00%	158.11%	0.00%	0.00%	98.11%
1.B.2.a.	Petróleo	CH4	0.5	0.5	0.00%	75.06%	0.00%	0.00%	98.11%
1.A.1.b.	Refinación del petróleo - Líquido	CH4	0.2	0.2	0.00%	233.02%	0.00%	0.00%	98.11%
1.A.3.a.	Aviación civil	CO2	4.0	4.0	0.01%	8.60%	0.00%	0.00%	98.12%
1.A.4.a.	Comercial / Institucional - Líquido	CH4	0.1	0.1	0.00%	233.48%	0.00%	0.00%	98.12%
3.B.4.d.	Caprinos	CH4	0.4	0.4	0.00%	70.71%	0.00%	0.00%	98.12%
1.A.4.a.	Comercial / Institucional - Líquido	N2O	0.1	0.1	0.00%	233.48%	0.00%	0.00%	98.12%
3.B.4.a.	Búfalos	N2O	0.1	0.1	0.00%	212.13%	0.00%	0.00%	98.12%
2.C.2.	Producción de ferroaleaciones	CO2	0.3	0.3	0.00%	25.50%	0.00%	0.00%	98.13%
3.B.4.a.	Búfalos	CH4	0.0	0.0	0.00%	158.11%	0.00%	0.00%	98.13%
1.A.3.a.	Aviación civil	N2O	0.0	0.0	0.00%	150.08%	0.00%	0.00%	98.13%
1.A.3.a.	Aviación civil	CH4	0.0	0.0	0.00%	100.12%	0.00%	0.00%	98.13%
1.B.2.a.	Petróleo	CO2	0.0	0.0	0.00%	75.06%	0.00%	0.00%	98.13%
5.B.1.	Compostaje	CH4	45.1	45.1	0.14%	0.00%	0.00%	0.00%	98.27%
5.C.2.	Incineración abierta de residuos	CH4	173.0	173.0	0.55%	0.00%	0.00%	0.00%	98.82%
5.C.2.	Incineración abierta de residuos	N2O	47.6	47.6	0.15%	0.00%	0.00%	0.00%	98.98%
5.D.1.	Aguas residuales domésticas	CH4	79.4	79.4	0.25%	0.00%	0.00%	0.00%	99.23%
5.D.1.	Aguas residuales domésticas	N2O	240.7	240.7	0.77%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
Total			31,254.6	31,254.6	100.00%	13981.79%	67.70%	100.00%	

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

Tabla A.1.9.

Estimación de las categorías principales de la tendencia 1990-2018 con UTCUTS, aplicando el Método 1

A	B	C	D	E	F	G	H
Código	Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero	GEI	Emisiones o absorciones de 1990 Ex,t kt CO ₂ eq	Emisiones o absorciones de 2018 Ex,t kt CO ₂ eq	Evaluación de tendencia Tx,t %	% de aporte a la tendencia	Total acumulativo de la columna G
						%	%
4.A.2.b.	Pastizales convertidos en tierras forestales	CO2	835.8	-9,558.4	25.09%	23.82%	23.82%
4.C.2.a.	Tierras forestales convertidas en pastizales	CO2	13,340.2	10,388.1	20.75%	19.69%	43.51%
1.A.3.b.	Transporte terrestre	CO2	2,199.9	9,679.2	15.14%	14.37%	57.88%
4.A.1.	Tierras forestales que permanecen como tales	CO2	15,533.8	26,731.6	9.95%	9.44%	67.32%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Sólido	CO2	-	5,090.0	8.20%	7.79%	75.11%
4.B.2.a.	Tierras forestales convertidas en tierras de cultivo	CO2	1,023.5	3,331.3	4.31%	4.09%	79.20%
1.A.1.b.	Refinación del petróleo - Líquido	CO2	1,070.2	154.0	3.25%	3.08%	82.29%
4.A.2.a.	Tierras de cultivo convertidas en tierras forestales	CO2	114.3	-1,136.4	3.03%	2.88%	85.16%
1.A.4.b.	Residencial - Biomasa	CH4	813.5	2,108.0	2.17%	2.06%	87.23%
1.A.2.	Industrias manufactureras y de la construcción - Líquido	CO2	770.9	1,943.7	1.93%	1.83%	89.06%
2.F.1.	Refrigeración y aire acondicionado	HFC	-	713.6	1.15%	1.09%	90.15%
1.A.4.b.	Residencial - Líquido	CO2	287.5	908.2	1.15%	1.09%	91.24%
2.A.1.	Producción de cemento	CO2	410.5	990.2	0.92%	0.88%	92.12%
3.E.	Quema prescrita de sabanas	N2O	234.4	101.9	0.55%	0.52%	92.64%
3.E.	Quema prescrita de sabanas	CH4	215.4	93.7	0.51%	0.48%	93.12%
5.A.2.	Sitios de disposición de residuos no gestionados	CH4	126.3	393.1	0.49%	0.47%	93.59%
3.D.1.a.	Fertilizantes inorgánicos	N2O	261.6	579.3	0.47%	0.44%	94.03%
4.B.2.b.	Pastizales convertidos en tierras de cultivo	CO2	128.3	3.5	0.42%	0.40%	94.44%
5.A.1.	Sitios de disposición de residuos gestionados	CH4	241.8	511.3	0.38%	0.36%	94.79%
1.A.4.b.	Residencial - Biomasa	N2O	129.3	335.0	0.35%	0.33%	95.12%
4.F.2.a.	Tierras forestales convertidas en otras tierras	CO2	122.7	307.8	0.30%	0.29%	95.41%
5.D.1.	Aguas residuales domésticas	N2O	76.6	240.7	0.30%	0.29%	95.70%
4.C.2.b.	Tierras de cultivo convertidas en pastizales	CO2	109.0	42.5	0.27%	0.25%	95.95%
3.D.1.d.	Residuos de cosechas	N2O	78.2	222.2	0.25%	0.24%	96.19%
4.E.2.a.	Tierras forestales convertidas en asentamientos	CO2	14.9	122.6	0.24%	0.22%	96.42%
5.C.2.	Incineración abierta de residuos	CH4	50.7	173.0	0.23%	0.22%	96.64%
5.C.2.	Incineración abierta de residuos	CO2	50.3	171.5	0.23%	0.22%	96.85%
4.A.1.	Tierras forestales que permanecen como tales	CH4	215.4	215.4	0.22%	0.21%	97.07%
1.A.3.b.	Transporte terrestre	N2O	32.7	142.5	0.22%	0.21%	97.28%
3.D.2.b.	Lixiviación y escurrimiento	N2O	163.6	326.5	0.21%	0.20%	97.48%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Líquido	CO2	128.3	273.9	0.21%	0.20%	97.67%
4.B.1.	Tierras de cultivo que permanecen como tales	CO2	66.2	146.5	0.12%	0.11%	97.78%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Biomasa	N2O	6.8	60.4	0.12%	0.11%	97.90%
1.A.4.a.	Comercial / Institucional - Líquido	CO2	67.1	48.0	0.11%	0.11%	98.01%
1.A.4.a.	Comercial / Institucional - Biomasa	CH4	-	65.2	0.11%	0.10%	98.10%
1.A.3.b.	Transporte terrestre	CH4	13.0	63.3	0.10%	0.10%	98.20%
5.B.1.	Compostaje	CH4	3.6	45.1	0.09%	0.09%	98.29%
3.A.4.e.	Equinos	CH4	74.3	70.9	0.09%	0.08%	98.37%
5.B.1.	Compostaje	N2O	3.2	40.3	0.08%	0.08%	98.45%
4.A.1.	Tierras forestales que permanecen como tales	NO2	75.5	75.5	0.08%	0.07%	98.53%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Biomasa	CH4	4.3	38.0	0.07%	0.07%	98.60%
2.A.4.	Otros usos de carbonatos en los procesos	CO2	2.5	35.0	0.07%	0.07%	98.67%
2.A.2.	Producción de cal	CO2	149.3	185.0	0.07%	0.07%	98.73%
3.A.2.	Ovinos	CH4	63.8	61.6	0.07%	0.07%	98.80%
3.D.2.a.	Deposición atmosférica	N2O	87.5	155.2	0.07%	0.06%	98.87%
3.C.2.	Alimentadas a lluvia	CH4	30.9	16.5	0.07%	0.06%	98.93%

Anexo técnico del 1IBA de Guatemala: Informe del Inventario Nacional 2022

A	B	C	D	E	F	G	H
Código	Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero	GEI	Emisiones o absorciones de 1990 Ex,t kt CO ₂ eq	Emisiones o absorciones de 2018 Ex,t kt CO ₂ eq	Evaluación de tendencia Tx,t %	% de aporte a la tendencia	Total acumulativo de la columna G
							%
5.C.2.	Incineración abierta de residuos	N2O	13.9	47.6	0.06%	0.06%	98.99%
3.D.1.b.i.	Estiércol animal aplicado a los suelos	N2O	61.2	114.3	0.06%	0.06%	99.05%
3.A.1.b.	Otros vacunos	CH4	2,563.5	3,731.9	0.06%	0.06%	99.10%
4.F.2.c.	Pastizales convertidos en otras tierras	CO2	8.7	35.1	0.05%	0.05%	99.15%
3.H.	Aplicación de urea	CO2	10.4	37.3	0.05%	0.05%	99.20%
2.D.1.	Uso de lubricantes	CO2	2.7	26.1	0.05%	0.05%	99.25%
2.C.1.	Producción de hierro y acero	CO2	1.8	24.0	0.05%	0.05%	99.30%
4.E.2.b.	Tierras de cultivo convertidas en asentamientos	CO2	1.8	24.0	0.05%	0.05%	99.34%
5.D.2.	Aguas residuales industriales	CH4	19.2	48.8	0.05%	0.05%	99.39%
4.C.2.e.	Otras tierras convertidas en pastizales	CO2	0.7	-19.2	0.05%	0.04%	99.43%
5.D.1.	Aguas residuales domésticas	CH4	41.8	79.4	0.04%	0.04%	99.48%
4.E.2.c.	Pastizales convertidos en asentamientos	CO2	1.6	21.1	0.04%	0.04%	99.52%
3.B.5.	Emisiones indirectas de N2O	N2O	43.2	80.4	0.04%	0.04%	99.56%
3.F.	Quema de residuos agrícola en el campo	CH4	78.9	130.7	0.04%	0.04%	99.59%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Sólido	N2O	-	23.1	0.04%	0.04%	99.63%
4.C.2.c.	Humedales convertidos en pastizales	CO2	0.5	-13.4	0.03%	0.03%	99.66%
3.B.3.	Porcinos	N2O	32.5	59.8	0.03%	0.03%	99.69%
3.B.4.g.	Aves de corral	CH4	14.7	33.4	0.03%	0.03%	99.72%
4.D.2.a.	Tierras forestales convertidas en humedales	CO2	61.2	78.6	0.02%	0.02%	99.74%
3.B.4.g.	Aves de corral	N2O	10.9	24.7	0.02%	0.02%	99.76%
3.D.1.b.iii.	Otros fertilizantes orgánicos aplicados a los suelos	N2O	4.4	14.8	0.02%	0.02%	99.78%
2.A.3.	Producción de vidrio	CO2	3.5	13.2	0.02%	0.02%	99.79%
3.A.4.f.	Mulas y asnos	CH4	14.4	12.9	0.02%	0.02%	99.81%
3.A.3.	Porcinos	CH4	19.3	35.5	0.02%	0.02%	99.83%
3.B.3.	Porcinos	CH4	19.3	35.5	0.02%	0.02%	99.85%
1.A.4.a.	Comercial / Institucional - Biomasa	N2O	-	10.4	0.02%	0.02%	99.86%
3.A.4.d.	Caprinos	CH4	11.9	11.5	0.01%	0.01%	99.87%
3.F.	Quema de residuos agrícola en el campo	N2O	24.4	40.4	0.01%	0.01%	99.89%
2.D.2.	Uso de la cera de parafina	CO2	1.0	5.4	0.01%	0.01%	99.89%
1.A.2.	Industrias manufactureras y de la construcción - Biomasa	N2O	2.5	-	0.01%	0.01%	99.90%
3.B.4.e.	Equinos	N2O	7.1	6.8	0.01%	0.01%	99.91%
1.A.1.b.	Refinación del petróleo - Líquido	N2O	2.6	0.4	0.01%	0.01%	99.92%
3.B.4.e.	Equinos	CH4	6.8	6.5	0.01%	0.01%	99.93%
4.B.2.e.	Otras tierras convertidas en tierras de cultivo	CO2	0.0	-3.0	0.01%	0.01%	99.93%
4.D.2.c.	Pastizales convertidos en humedales	CO2	4.2	8.8	0.01%	0.01%	99.94%
1.B.2.a.	Petróleo	CH4	2.1	0.5	0.01%	0.01%	99.94%
1.A.2.	Industrias manufactureras y de la construcción - Biomasa	CH4	1.6	-	0.01%	0.01%	99.95%
4.F.2.b.	Tierras de cultivo convertidas en otras tierras	CO2	0.9	3.5	0.01%	0.00%	99.95%
4.C.2.d.	Asentamientos convertidos en pastizales	CO2	0.1	-1.9	0.00%	0.00%	99.96%
4.B.2.d.	Asentamientos convertidos en tierras de cultivo	CO2	0.0	-1.9	0.00%	0.00%	99.96%
3.A.1.a.	Vacas lecheras	CH4	181.0	263.6	0.00%	0.00%	99.97%
3.A.4.a.	Búfalos	CH4	3.3	3.3	0.00%	0.00%	99.97%
1.A.1.b.	Refinación del petróleo - Líquido	CH4	1.1	0.2	0.00%	0.00%	99.97%
1.A.2.	Industrias manufactureras y de la construcción - Líquido	N2O	1.7	3.8	0.00%	0.00%	99.98%
4.B.2.c.	Humedales convertidos en tierras de cultivo	CO2	0.0	-1.2	0.00%	0.00%	99.98%
4.D.2.b.	Tierras de cultivo convertidas en humedales	CO2	1.7	3.5	0.00%	0.00%	99.98%
3.C.1.	Irrigadas	CH4	2.0	1.8	0.00%	0.00%	99.98%
3.B.2.	Ovinos	N2O	2.0	1.9	0.00%	0.00%	99.98%
3.B.2.	Ovinos	CH4	1.9	1.8	0.00%	0.00%	99.99%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Sólido	CH4	-	1.3	0.00%	0.00%	99.99%
1.A.4.b.	Residencial - Líquido	CH4	0.7	1.8	0.00%	0.00%	99.99%

Anexo técnico del IBA de Guatemala: Informe del Inventario Nacional 2022

A	B	C	D	E	F	G	H
Código	Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero	GEI	Emisiones o absorciones de 1990 Ex,D kt CO ₂ eq	Emisiones o absorciones de 2018 Ex,t kt CO ₂ eq	Evaluación de tendencia Tx,t %	% de aporte a la tendencia	Total acumulativo de la columna G
							%
3.B.4.f.	Mulas y asnos	N2O	1.4	1.2	0.00%	0.00%	99.99%
3.B.4.f.	Mulas y asnos	CH4	1.3	1.2	0.00%	0.00%	99.99%
1.A.2.	Industrias manufactureras y de la construcción - Líquido	CH4	0.7	1.6	0.00%	0.00%	99.99%
3.B.1.b.	Otros vacunos	CH4	45.8	66.6	0.00%	0.00%	100.00%
3.B.1.b.	Otros vacunos	N2O	38.2	55.6	0.00%	0.00%	100.00%
2.C.2.	Producción de ferroaleaciones	CO2	-	0.3	0.00%	0.00%	100.00%
3.B.4.d.	Caprinos	CH4	0.4	0.4	0.00%	0.00%	100.00%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Líquido	N2O	0.3	0.6	0.00%	0.00%	100.00%
3.B.1.a.	Vacas lecheras	N2O	19.3	28.1	0.00%	0.00%	100.00%
3.B.4.d.	Caprinos	N2O	0.3	0.3	0.00%	0.00%	100.00%
3.D.1.c.	Orina y estiércol depositado por animales de pastoreo	N2O	83.2	120.3	0.00%	0.00%	100.00%
1.A.4.a.	Comercial / Institucional - Líquido	CH4	0.2	0.1	0.00%	0.00%	100.00%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Líquido	CH4	0.1	0.3	0.00%	0.00%	100.00%
1.A.4.a.	Comercial / Institucional - Líquido	N2O	0.1	0.1	0.00%	0.00%	100.00%
1.A.4.b.	Residencial - Líquido	N2O	0.3	0.4	0.00%	0.00%	100.00%
3.B.4.a.	Búfalos	N2O	0.1	0.1	0.00%	0.00%	100.00%
3.B.4.a.	Búfalos	CH4	0.0	0.0	0.00%	0.00%	100.00%
1.A.3.a.	Aviación civil	CO2	2.7	4.0	0.00%	0.00%	100.00%
3.B.1.a.	Vacas lecheras	CH4	1.8	2.6	0.00%	0.00%	100.00%
1.A.3.a.	Aviación civil	N2O	0.0	0.0	0.00%	0.00%	100.00%
1.B.2.a.	Petróleo	CO2	0.0	0.0	0.00%	0.00%	100.00%
1.A.3.a.	Aviación civil	CH4	0.0	0.0	0.00%	0.00%	100.00%
	Total		42,914.6	62,058.6	105.35%	100.00%	

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

Tabla A.1.10.

Estimación de las categorías principales de la tendencia 1990-2018 sin UTCUTS, aplicando el Método 1

A	B	C	D	E	F	G	H
Código	Categorías de fuente de gases de efecto invernadero	GEI	Emisiones o absorciones de 1990 Ex,t kt CO ₂ eq	Emisiones o absorciones de 2018 Ex,t kt CO ₂ eq	Evaluación de tendencia Tx,t %	% de aporte a la tendencia	Total acumulativo de la columna G
1.A.3.b.	Transporte terrestre	CO2	2,199.9	9,679.2	31.72%	21.93%	21.93%
3.A.1.b.	Otros vacunos	CH4	2,563.5	3,731.9	30.10%	20.81%	42.74%
1.A.1.b.	Refinación del petróleo - Líquido	CO2	1,070.2	154.0	25.04%	17.31%	60.06%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Sólido	CO2	-	5,090.0	16.29%	11.26%	71.32%
3.E.	Quema prescrita de sabanas	N2O	234.4	101.9	4.88%	3.37%	74.69%
3.E.	Quema prescrita de sabanas	CH4	215.4	93.7	4.48%	3.10%	77.79%
2.F.1.	Refrigeración y aire acondicionado	HFC	-	713.6	2.28%	1.58%	79.37%
3.A.1.a.	Vacas lecheras	CH4	181.0	263.6	2.13%	1.47%	80.84%
2.A.2.	Producción de cal	CO2	149.3	185.0	2.04%	1.41%	82.25%
1.A.2.	Industrias manufactureras y de la construcción - Líquido	CO2	770.9	1,943.7	1.75%	1.21%	83.46%
5.A.1.	Sitios de disposición de residuos gestionados	CH4	241.8	511.3	1.42%	0.98%	84.45%
1.A.4.b.	Residencial - Biomasa	CH4	813.5	2,108.0	1.34%	0.93%	85.38%
2.A.1.	Producción de cemento	CO2	410.5	990.2	1.33%	0.92%	86.30%
3.D.1.a.	Fertilizantes inorgánicos	N2O	261.6	579.3	1.31%	0.91%	87.20%
1.A.4.a.	Comercial / Institucional - Líquido	CO2	67.1	48.0	1.23%	0.85%	88.05%
3.A.4.e.	Equinos	CH4	74.3	70.9	1.20%	0.83%	88.89%
3.D.2.b.	Lixiviación y escurrimiento	N2O	163.6	326.5	1.14%	0.78%	89.67%
3.A.2.	Ovinos	CH4	63.8	61.6	1.03%	0.71%	90.38%
3.D.1.c.	Orina y estiércol depositado por animales de pastoreo	N2O	83.2	120.3	0.99%	0.68%	91.06%
1.A.4.b.	Residencial - Líquido	CO2	287.5	908.2	0.98%	0.67%	91.74%
3.F.	Quema de residuos agrícola en el campo	CH4	78.9	130.7	0.78%	0.54%	92.28%
3.D.2.a.	Deposición atmosférica	N2O	87.5	155.2	0.78%	0.54%	92.82%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Líquido	CO2	128.3	273.9	0.73%	0.51%	93.33%
3.C.2.	Alimentadas a lluvia	CH4	30.9	16.5	0.62%	0.43%	93.75%
3.B.1.b.	Otros vacunos	CH4	45.8	66.6	0.54%	0.37%	94.12%
3.D.1.b.i.	Estiércol animal aplicado a los suelos	N2O	61.2	114.3	0.49%	0.34%	94.47%
1.A.3.b.	Transporte terrestre	N2O	32.7	142.5	0.46%	0.32%	94.79%
3.B.1.b.	Otros vacunos	N2O	38.2	55.6	0.45%	0.31%	95.10%
5.A.2.	Sitios de disposición de residuos no gestionados	CH4	126.3	393.1	0.38%	0.26%	95.36%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Biomasa	N2O	6.8	60.4	0.37%	0.26%	95.61%
3.B.5.	Emisiones indirectas de N2O	N2O	43.2	80.4	0.35%	0.24%	95.85%
5.D.1.	Aguas residuales domésticas	CH4	41.8	79.4	0.33%	0.23%	96.08%
5.B.1.	Compostaje	CH4	3.6	45.1	0.31%	0.22%	96.30%
5.C.2.	Incineración abierta de residuos	CH4	50.7	173.0	0.29%	0.20%	96.49%
5.C.2.	Incineración abierta de residuos	CO2	50.3	171.5	0.28%	0.20%	96.69%
5.B.1.	Compostaje	N2O	3.2	40.3	0.28%	0.19%	96.88%
3.B.3.	Porcinos	N2O	32.5	59.8	0.27%	0.19%	97.07%
2.A.4.	Otros usos de carbonatos en los procesos	CO2	2.5	35.0	0.25%	0.17%	97.24%
5.D.1.	Aguas residuales domésticas	N2O	76.6	240.7	0.25%	0.17%	97.42%
1.A.3.b.	Transporte terrestre	CH4	13.0	63.3	0.24%	0.17%	97.58%
3.F.	Quema de residuos agrícola en el campo	N2O	24.4	40.4	0.24%	0.17%	97.75%
3.A.4.f.	Mulas y asnos	CH4	14.4	12.9	0.24%	0.17%	97.92%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Biomasa	CH4	4.3	38.0	0.23%	0.16%	98.08%
3.B.1.a.	Vacas lecheras	N2O	19.3	28.1	0.23%	0.16%	98.23%
1.A.4.b.	Residencial - Biomasa	N2O	129.3	335.0	0.21%	0.15%	98.38%
1.A.4.a.	Comercial / Institucional - Biomasa	CH4	-	65.2	0.21%	0.14%	98.53%
3.A.4.d.	Caprinos	CH4	11.9	11.5	0.19%	0.13%	98.66%

Anexo técnico del 1IBA de Guatemala: Informe del Inventario Nacional 2022

A	B	C	D	E	F	G	H
Código	Categorías de fuente de gases de efecto invernadero	GEI	Emisiones o absorciones de 1990 Ex,0 kt CO ₂ eq	Emisiones o absorciones de 2018 Ex,t kt CO ₂ eq	Evaluación de tendencia Tx,t %	% de aporte a la tendencia	Total acumulativo de la columna G
						%	%
2.C.1.	Producción de hierro y acero	CO2	1.8	24.0	0.17%	0.12%	98.78%
2.D.1.	Uso de lubricantes	CO2	2.7	26.1	0.16%	0.11%	98.89%
3.A.3.	Porcinos	CH4	19.3	35.5	0.16%	0.11%	99.00%
3.B.3.	Porcinos	CH4	19.3	35.5	0.16%	0.11%	99.11%
3.B.4.e.	Equinos	N2O	7.1	6.8	0.12%	0.08%	99.19%
3.B.4.e.	Equinos	CH4	6.8	6.5	0.11%	0.08%	99.27%
5.C.2.	Incineración abierta de residuos	N2O	13.9	47.6	0.08%	0.05%	99.32%
3.H.	Aplicación de urea	CO2	10.4	37.3	0.07%	0.05%	99.37%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Sólido	N2O	-	23.1	0.07%	0.05%	99.42%
3.B.4.g.	Aves de corral	CH4	14.7	33.4	0.07%	0.05%	99.47%
1.A.2.	Industrias manufactureras y de la construcción - Biomasa	N2O	2.5	-	0.06%	0.04%	99.51%
1.A.1.b.	Refinación del petróleo - Líquido	N2O	2.6	0.4	0.06%	0.04%	99.56%
3.A.4.a.	Búfalos	CH4	3.3	3.3	0.05%	0.04%	99.59%
3.B.4.g.	Aves de corral	N2O	10.9	24.7	0.05%	0.03%	99.63%
1.B.2.a.	Petróleo	CH4	2.1	0.5	0.05%	0.03%	99.66%
3.D.1.d.	Residuos de cosechas	N2O	78.2	222.2	0.04%	0.03%	99.69%
1.A.2.	Industrias manufactureras y de la construcción - Biomasa	CH4	1.6	-	0.04%	0.03%	99.72%
5.D.2.	Aguas residuales industriales	CH4	19.2	48.8	0.04%	0.03%	99.74%
1.A.4.a.	Comercial / Institucional - Biomasa	N2O	-	10.4	0.03%	0.02%	99.77%
1.A.3.a.	Aviación civil	CO2	2.7	4.0	0.03%	0.02%	99.79%
3.B.2.	Ovinos	N2O	2.0	1.9	0.03%	0.02%	99.81%
3.C.1.	Irrigadas	CH4	2.0	1.8	0.03%	0.02%	99.83%
3.B.2.	Ovinos	CH4	1.9	1.8	0.03%	0.02%	99.85%
2.A.3.	Producción de vidrio	CO2	3.5	13.2	0.03%	0.02%	99.88%
1.A.1.b.	Refinación del petróleo - Líquido	CH4	1.1	0.2	0.03%	0.02%	99.89%
2.D.2.	Uso de la cera de parafina	CO2	1.0	5.4	0.02%	0.02%	99.91%
3.B.4.f.	Mulas y asnos	N2O	1.4	1.2	0.02%	0.02%	99.93%
3.D.1.b.iii.	Otros fertilizantes orgánicos aplicados a los suelos	N2O	4.4	14.8	0.02%	0.02%	99.94%
3.B.4.f.	Mulas y asnos	CH4	1.3	1.2	0.02%	0.01%	99.96%
3.B.1.a.	Vacas lecheras	CH4	1.8	2.6	0.02%	0.01%	99.97%
1.A.2.	Industrias manufactureras y de la construcción - Líquido	N2O	1.7	3.8	0.01%	0.01%	99.98%
3.B.4.d.	Caprinos	CH4	0.4	0.4	0.01%	0.00%	99.98%
3.B.4.d.	Caprinos	N2O	0.3	0.3	0.00%	0.00%	99.98%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Sólido	CH4	-	1.3	0.00%	0.00%	99.99%
1.A.4.b.	Residencial - Líquido	N2O	0.3	0.4	0.00%	0.00%	99.99%
1.A.2.	Industrias manufactureras y de la construcción - Líquido	CH4	0.7	1.6	0.00%	0.00%	99.99%
1.A.4.a.	Comercial / Institucional - Líquido	CH4	0.2	0.1	0.00%	0.00%	99.99%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Líquido	N2O	0.3	0.6	0.00%	0.00%	100.00%
1.A.4.a.	Comercial / Institucional - Líquido	N2O	0.1	0.1	0.00%	0.00%	100.00%
1.A.4.b.	Residencial - Líquido	CH4	0.7	1.8	0.00%	0.00%	100.00%
2.C.2.	Producción de ferroaleaciones	CO2	-	0.3	0.00%	0.00%	100.00%
3.B.4.a.	Búfalos	N2O	0.1	0.1	0.00%	0.00%	100.00%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Líquido	CH4	0.1	0.3	0.00%	0.00%	100.00%
3.B.4.a.	Búfalos	CH4	0.0	0.0	0.00%	0.00%	100.00%
1.A.3.a.	Aviación civil	N2O	0.0	0.0	0.00%	0.00%	100.00%
1.A.3.a.	Aviación civil	CH4	0.0	0.0	0.00%	0.00%	100.00%
1.B.2.a.	Petróleo	CO2	0.0	0.0	0.00%	0.00%	100.00%
	Total		11,253.6	31,254.6	144.64%	100.00%	

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

Tabla A.1.11.

Estimación de las categorías principales de la tendencia 1990-2018 con UTCUTS, aplicando el Método 2

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Código	Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero	GEI	Emisiones o absorciones de 1990 Ex,0	Emisiones o absorciones de 2018 Ex,t	Evaluación de tendencia Tx,t	Incertidumbre combinada Ux,t	Evaluación de tendencia de 2018 con incertidumbre TUx,t	% de aporte a la tendencia	Total acumulativo de la columna I
			kt CO ₂ eq	kt CO ₂ eq	%	%	%	%	%
4.A.2.b.	Pastizales convertidos en tierras forestales	CO2	835.8	-9,558.4	25.09%	49.16%	12.33%	24.26%	24.26%
4.C.2.a.	Tierras forestales convertidas en pastizales	CO2	13,340.2	10,388.1	20.75%	49.16%	10.20%	20.06%	44.32%
1.A.4.b.	Residencial - Biomasa	CH4	813.5	2,108.0	2.17%	233.48%	5.07%	9.97%	54.29%
4.A.1.	Tierras forestales que permanecen como tales	CO2	15,533.8	26,731.6	9.95%	33.07%	3.29%	6.47%	60.76%
4.B.2.a.	Tierras forestales convertidas en tierras de cultivo	CO2	1,023.5	3,331.3	4.31%	49.16%	2.12%	4.17%	64.94%
4.A.2.a.	Tierras de cultivo convertidas en tierras forestales	CO2	114.3	-1,136.4	3.03%	49.16%	1.49%	2.93%	67.87%
3.D.1.a.	Fertilizantes inorgánicos	N2O	261.6	579.3	0.47%	300.67%	1.41%	2.77%	70.64%
1.A.3.b.	Transporte terrestre	CO2	2,199.9	9,679.2	15.14%	8.60%	1.30%	2.56%	73.20%
3.D.2.b.	Lixiviación y escurrimiento	N2O	163.6	326.5	0.21%	604.67%	1.27%	2.49%	75.69%
5.A.2.	Sitios de disposición de residuos no gestionados	CH4	126.3	393.1	0.49%	204.27%	1.00%	1.97%	77.67%
1.A.4.b.	Residencial - Biomasa	N2O	129.3	335.0	0.35%	275.41%	0.95%	1.87%	79.53%
2.F.1.	Refrigeración y aire acondicionado	HFC	-	713.6	1.15%	74.80%	0.86%	1.69%	81.23%
3.D.1.d.	Residuos de cosechas	N2O	78.2	222.2	0.25%	309.23%	0.79%	1.55%	82.77%
5.A.1.	Sitios de disposición de residuos gestionados	CH4	241.8	511.3	0.38%	202.30%	0.76%	1.50%	84.27%
3.E.	Quema prescrita de sabanas	N2O	234.4	101.9	0.55%	116.30%	0.64%	1.26%	85.53%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Sólido	CO2	-	5,090.0	8.20%	7.62%	0.62%	1.23%	86.76%
3.E.	Quema prescrita de sabanas	CH4	215.4	93.7	0.51%	116.30%	0.59%	1.16%	87.92%
1.A.3.b.	Transporte terrestre	N2O	32.7	142.5	0.22%	240.05%	0.53%	1.05%	88.97%
4.B.2.b.	Pastizales convertidos en tierras de cultivo	CO2	128.3	3.5	0.42%	87.85%	0.37%	0.73%	89.70%
3.D.2.a.	Deposición atmosférica	N2O	87.5	155.2	0.07%	505.59%	0.34%	0.66%	90.37%
5.C.2.	Incineración abierta de residuos	CO2	50.3	171.5	0.23%	141.42%	0.33%	0.64%	91.01%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Biomasa	N2O	6.8	60.4	0.12%	275.02%	0.32%	0.64%	91.65%
2.A.1.	Producción de cemento	CO2	410.5	990.2	0.92%	33.24%	0.31%	0.60%	92.25%
1.A.1.b.	Refinación del petróleo - Líquido	CO2	1,070.2	154.0	3.25%	7.62%	0.25%	0.49%	92.74%
1.A.4.a.	Comercial / Institucional - Biomasa	CH4	-	65.2	0.11%	233.48%	0.25%	0.48%	93.22%
1.A.3.b.	Transporte terrestre	CH4	13.0	63.3	0.10%	230.05%	0.24%	0.47%	93.69%
4.C.2.b.	Tierras de cultivo convertidas en pastizales	CO2	109.0	42.5	0.27%	87.85%	0.24%	0.46%	94.15%
3.B.5.	Emisiones indirectas de N2O	N2O	43.2	80.4	0.04%	522.02%	0.22%	0.43%	94.58%
4.A.1.	Tierras forestales que permanecen como tales	CH4	215.4	215.4	0.22%	91.55%	0.21%	0.40%	94.99%
1.A.4.b.	Residencial - Líquido	CO2	287.5	908.2	1.15%	16.55%	0.19%	0.37%	95.36%
3.D.1.b.i.	Estiércol animal aplicado a los suelos	N2O	61.2	114.3	0.06%	306.96%	0.18%	0.36%	95.72%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Biomasa	CH4	4.3	38.0	0.07%	233.02%	0.17%	0.34%	96.06%
1.A.2.	Industrias manufactureras y de la construcción - Líquido	CO2	770.9	1,943.7	1.93%	8.60%	0.17%	0.33%	96.39%
3.C.2.	Alimentadas a lluvia	CH4	30.9	16.5	0.07%	231.70%	0.15%	0.30%	96.69%
4.F.2.a.	Tierras forestales convertidas en otras tierras	CO2	122.7	307.8	0.30%	49.16%	0.15%	0.29%	96.98%
5.B.1.	Compostaje	N2O	3.2	40.3	0.08%	141.42%	0.12%	0.23%	97.21%
4.E.2.a.	Tierras forestales convertidas en asentamientos	CO2	14.9	122.6	0.24%	49.16%	0.12%	0.23%	97.44%
4.B.1.	Tierras de cultivo que permanecen como tales	CO2	66.2	146.5	0.12%	87.85%	0.10%	0.20%	97.65%
5.D.2.	Aguas residuales industriales	CH4	19.2	48.8	0.05%	177.76%	0.09%	0.17%	97.82%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Sólido	N2O	-	23.1	0.04%	233.02%	0.09%	0.17%	97.99%
4.A.1.	Tierras forestales que permanecen como tales	NO2	75.5	75.5	0.08%	87.80%	0.07%	0.14%	98.12%
3.D.1.b.iii.	Otros fertilizantes orgánicos aplicados a los suelos	N2O	4.4	14.8	0.02%	306.96%	0.06%	0.12%	98.24%
3.F.	Quema de residuos agrícola en el campo	CH4	78.9	130.7	0.04%	128.06%	0.05%	0.10%	98.34%
3.A.4.e.	Equinos	CH4	74.3	70.9	0.09%	58.31%	0.05%	0.10%	98.44%

Anexo técnico del 1BA de Guatemala: Informe del Inventario Nacional 2022

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Código	Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero	GEI	Emisiones o absorciones de 1990 Ex,t	Emisiones o absorciones de 2018 Ex,t	Evaluación de tendencia Tx,t	Incertidumbre combinada Ux,t	Evaluación de tendencia de 2018 con incertidumbre TUx,t	% de aporte a la tendencia	Total acumulativo de la columna I
			kt CO ₂ eq	kt CO ₂ eq	%	%	%	%	%
3.B.3.	Porcinos	N2O	32.5	59.8	0.03%	161.55%	0.05%	0.09%	98.53%
3.A.2.	Ovinos	CH4	63.8	61.6	0.07%	67.08%	0.05%	0.09%	98.63%
4.F.2.c.	Pastizales convertidos en otras tierras	CO2	8.7	35.1	0.05%	87.85%	0.05%	0.09%	98.72%
1.A.4.a.	Comercial / Institucional - Biomasa	N2O	-	10.4	0.02%	275.41%	0.05%	0.09%	98.81%
4.E.2.b.	Tierras de cultivo convertidas en asentamientos	CO2	1.8	24.0	0.05%	87.85%	0.04%	0.09%	98.89%
4.C.2.e.	Otras tierras convertidas en pastizales	CO2	0.7	-19.2	0.05%	87.85%	0.04%	0.08%	98.97%
4.E.2.c.	Pastizales convertidos en asentamientos	CO2	1.6	21.1	0.04%	87.85%	0.04%	0.08%	99.05%
3.B.4.g.	Aves de corral	N2O	10.9	24.7	0.02%	167.71%	0.03%	0.07%	99.12%
3.A.1.b.	Otros vacunos	CH4	2,563.5	3,731.9	0.06%	54.08%	0.03%	0.06%	99.18%
4.C.2.c.	Humedales convertidos en pastizales	CO2	0.5	-13.4	0.03%	87.85%	0.03%	0.06%	99.24%
3.H.	Aplicación de urea	CO2	10.4	37.3	0.05%	53.85%	0.03%	0.05%	99.29%
2.D.1.	Uso de lubricantes	CO2	2.7	26.1	0.05%	52.29%	0.03%	0.05%	99.35%
3.B.4.g.	Aves de corral	CH4	14.7	33.4	0.03%	90.14%	0.03%	0.05%	99.40%
1.A.2.	Industrias manufactureras y de la construcción - Biomasa	N2O	2.5	-	0.01%	275.05%	0.02%	0.05%	99.44%
1.A.4.a.	Comercial / Institucional - Líquido	CO2	67.1	48.0	0.11%	16.55%	0.02%	0.04%	99.48%
1.A.1.b.	Refinación del petróleo - Líquido	N2O	2.6	0.4	0.01%	233.02%	0.02%	0.04%	99.52%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Líquido	CO2	128.3	273.9	0.21%	7.62%	0.02%	0.03%	99.55%
3.F.	Quema de residuos agrícola en el campo	N2O	24.4	40.4	0.01%	128.06%	0.02%	0.03%	99.58%
3.B.3.	Porcinos	CH4	19.3	35.5	0.02%	78.10%	0.01%	0.03%	99.60%
2.C.1.	Producción de hierro y acero	CO2	1.8	24.0	0.05%	26.93%	0.01%	0.03%	99.63%
3.B.4.e.	Equinos	N2O	7.1	6.8	0.01%	158.11%	0.01%	0.03%	99.66%
1.A.2.	Industrias manufactureras y de la construcción - Biomasa	CH4	1.6	-	0.01%	233.05%	0.01%	0.02%	99.68%
3.A.3.	Porcinos	CH4	19.3	35.5	0.02%	67.08%	0.01%	0.02%	99.70%
2.A.3.	Producción de vidrio	CO2	3.5	13.2	0.02%	60.21%	0.01%	0.02%	99.73%
4.D.2.a.	Tierras forestales convertidas en humedales	CO2	61.2	78.6	0.02%	49.16%	0.01%	0.02%	99.75%
2.D.2.	Uso de la cera de parafina	CO2	1.0	5.4	0.01%	101.24%	0.01%	0.02%	99.77%
3.A.4.d.	Caprinos	CH4	11.9	11.5	0.01%	58.31%	0.01%	0.02%	99.78%
3.A.4.f.	Mulas y asnos	CH4	14.4	12.9	0.02%	42.43%	0.01%	0.02%	99.80%
1.A.1.b.	Refinación del petróleo - Líquido	CH4	1.1	0.2	0.00%	233.02%	0.01%	0.02%	99.81%
1.A.2.	Industrias manufactureras y de la construcción - Líquido	N2O	1.7	3.8	0.00%	233.05%	0.01%	0.01%	99.83%
4.B.2.e.	Otras tierras convertidas en tierras de cultivo	CO2	0.0	-3.0	0.01%	87.85%	0.01%	0.01%	99.84%
3.B.4.e.	Equinos	CH4	6.8	6.5	0.01%	70.71%	0.01%	0.01%	99.85%
4.D.2.c.	Pastizales convertidos en humedales	CO2	4.2	8.8	0.01%	87.85%	0.01%	0.01%	99.86%
3.C.1.	Irrigadas	CH4	2.0	1.8	0.00%	231.70%	0.01%	0.01%	99.87%
3.A.4.a.	Búfalos	CH4	3.3	3.3	0.00%	152.97%	0.01%	0.01%	99.88%
4.F.2.b.	Tierras de cultivo convertidas en otras tierras	CO2	0.9	3.5	0.01%	87.85%	0.00%	0.01%	99.89%
2.A.2.	Producción de cal	CO2	149.3	185.0	0.07%	6.32%	0.00%	0.01%	99.90%
1.B.2.a.	Petróleo	CH4	2.1	0.5	0.01%	75.06%	0.00%	0.01%	99.91%
1.A.4.b.	Residencial - Líquido	CH4	0.7	1.8	0.00%	233.48%	0.00%	0.01%	99.92%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Sólido	CH4	-	1.3	0.00%	200.02%	0.00%	0.01%	99.92%
4.C.2.d.	Asentamientos convertidos en pastizales	CO2	0.1	-1.9	0.00%	87.85%	0.00%	0.01%	99.93%
4.B.2.d.	Asentamientos convertidos en tierras de cultivo	CO2	0.0	-1.9	0.00%	87.85%	0.00%	0.01%	99.94%
2.A.4.	Otros usos de carbonatos en los procesos	CO2	2.5	35.0	0.07%	5.20%	0.00%	0.01%	99.95%
3.B.2.	Ovinos	N2O	2.0	1.9	0.00%	161.55%	0.00%	0.01%	99.96%
1.A.2.	Industrias manufactureras y de la construcción - Líquido	CH4	0.7	1.6	0.00%	233.05%	0.00%	0.01%	99.96%
3.B.4.f.	Mulas y asnos	N2O	1.4	1.2	0.00%	152.97%	0.00%	0.01%	99.97%
4.B.2.c.	Humedales convertidos en tierras de cultivo	CO2	0.0	-1.2	0.00%	87.85%	0.00%	0.00%	99.97%
3.A.1.a.	Vacas lecheras	CH4	181.0	263.6	0.00%	54.08%	0.00%	0.00%	99.98%
4.D.2.b.	Tierras de cultivo convertidas en humedales	CO2	1.7	3.5	0.00%	87.85%	0.00%	0.00%	99.98%

Anexo técnico del 1IBA de Guatemala: Informe del Inventario Nacional 2022

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Código	Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero	GEI	Emisiones o absorciones de 1990 Ex,0 kt CO ₂ eq	Emisiones o absorciones de 2018 Ex,t kt CO ₂ eq	Evaluación de tendencia Tx,t %	Incertidumbre combinada Ux,t %	Evaluación de tendencia de 2018 con incertidumbre TUx,t %	% de aporte a la tendencia	Total acumulativo de la columna I %
3.B.2.	Ovinos	CH4	1.9	1.8	0.00%	78.10%	0.00%	0.00%	99.98%
3.B.1.b.	Otros vacunos	N2O	38.2	55.6	0.00%	156.60%	0.00%	0.00%	99.99%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Líquido	N2O	0.3	0.6	0.00%	233.02%	0.00%	0.00%	99.99%
3.B.4.f.	Mulas y asnos	CH4	1.3	1.2	0.00%	58.31%	0.00%	0.00%	99.99%
3.D.1.c.	Orina y estiércol depositado por animales de pastoreo	N2O	83.2	120.3	0.00%	337.14%	0.00%	0.00%	99.99%
3.B.1.b.	Otros vacunos	CH4	45.8	66.6	0.00%	67.27%	0.00%	0.00%	99.99%
3.B.1.a.	Vacas lecheras	N2O	19.3	28.1	0.00%	156.60%	0.00%	0.00%	99.99%
1.A.4.a.	Comercial / Institucional - Líquido	CH4	0.2	0.1	0.00%	233.48%	0.00%	0.00%	100.00%
3.B.4.d.	Caprinos	N2O	0.3	0.3	0.00%	158.11%	0.00%	0.00%	100.00%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Líquido	CH4	0.1	0.3	0.00%	233.02%	0.00%	0.00%	100.00%
3.B.4.d.	Caprinos	CH4	0.4	0.4	0.00%	70.71%	0.00%	0.00%	100.00%
1.A.4.a.	Comercial / Institucional - Líquido	N2O	0.1	0.1	0.00%	233.48%	0.00%	0.00%	100.00%
1.A.4.b.	Residencial - Líquido	N2O	0.3	0.4	0.00%	233.48%	0.00%	0.00%	100.00%
2.C.2.	Producción de ferroaleaciones	CO2	-	0.3	0.00%	25.50%	0.00%	0.00%	100.00%
3.B.4.a.	Búfalos	N2O	0.1	0.1	0.00%	212.13%	0.00%	0.00%	100.00%
3.B.4.a.	Búfalos	CH4	0.0	0.0	0.00%	158.11%	0.00%	0.00%	100.00%
3.B.1.a.	Vacas lecheras	CH4	1.8	2.6	0.00%	67.27%	0.00%	0.00%	100.00%
1.A.3.a.	Aviación civil	CO2	2.7	4.0	0.00%	8.60%	0.00%	0.00%	100.00%
1.A.3.a.	Aviación civil	N2O	0.0	0.0	0.00%	150.08%	0.00%	0.00%	100.00%
1.B.2.a.	Petróleo	CO2	0.0	0.0	0.00%	75.06%	0.00%	0.00%	100.00%
1.A.3.a.	Aviación civil	CH4	0.0	0.0	0.00%	100.12%	0.00%	0.00%	100.00%
5.B.1.	Compostaje	CH4	3.6	45.1	0.09%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
5.C.2.	Incineración abierta de residuos	CH4	50.7	173.0	0.23%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
5.C.2.	Incineración abierta de residuos	N2O	13.9	47.6	0.06%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
5.D.1.	Aguas residuales domésticas	CH4	41.8	79.4	0.04%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
5.D.1.	Aguas residuales domésticas	N2O	76.6	240.7	0.30%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
	Total		42,914.6	62,058.6	105.35%	15856.14%	50.84%	100.00%	

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

Tabla A.1.12.

Estimación de las categorías principales de la tendencia 1990-2018 sin UTCUTS, aplicando el Método 2

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Código	Categorías de fuente de gases de efecto invernadero	GEI	Emisiones o absorciones de 1990 Ex,0	Emisiones o absorciones de 2018 Ex,t	Evaluación de tendencia Tx,t	Incertidumbre combinada Ux,t	Evaluación de tendencia de 2018 con incertidumbre TUx,t	% de aporte a la tendencia	Total acumulativo de la columna I
			kt CO ₂ eq	kt CO ₂ eq	%	%	%	%	%
3.A.1.b.	Otros vacunos	CH4	2,563.5	3,731.9	30.10%	54.08%	16.28%	20.65%	20.65%
3.D.2.b.	Lixiviación y escurrimiento	N2O	163.6	326.5	1.14%	604.67%	6.86%	8.71%	29.36%
3.E.	Quema prescrita de sabanas	N2O	234.4	101.9	4.88%	116.30%	5.68%	7.20%	36.56%
3.E.	Quema prescrita de sabanas	CH4	215.4	93.7	4.48%	116.30%	5.21%	6.61%	43.17%
3.D.2.a.	Deposición atmosférica	N2O	87.5	155.2	0.78%	505.59%	3.95%	5.01%	48.18%
3.D.1.a.	Fertilizantes inorgánicos	N2O	261.6	579.3	1.31%	300.67%	3.94%	4.99%	53.17%
3.D.1.c.	Orina y estiércol depositado por animales de pastoreo	N2O	83.2	120.3	0.99%	337.14%	3.32%	4.22%	57.39%
1.A.4.b.	Residencial - Biomasa	CH4	813.5	2,108.0	1.34%	233.48%	3.14%	3.98%	61.37%
5.A.1.	Sitios de disposición de residuos gestionados	CH4	241.8	511.3	1.42%	202.30%	2.88%	3.65%	65.02%
1.A.3.b.	Transporte terrestre	CO2	2,199.9	9,679.2	31.72%	8.60%	2.73%	3.46%	68.49%
1.A.1.b.	Refinación del petróleo - Líquido	CO2	1,070.2	154.0	25.04%	7.62%	1.91%	2.42%	70.90%
3.B.5.	Emisiones indirectas de N2O	N2O	43.2	80.4	0.35%	522.02%	1.84%	2.33%	73.23%
2.F.1.	Refrigeración y aire acondicionado	HFC	-	713.6	2.28%	74.80%	1.71%	2.17%	75.40%
3.D.1.b.i.	Estiércol animal aplicado a los suelos	N2O	61.2	114.3	0.49%	306.96%	1.52%	1.93%	77.33%
3.C.2.	Alimentadas a lluvia	CH4	30.9	16.5	0.62%	231.70%	1.43%	1.81%	79.13%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Sólido	CO2	-	5,090.0	16.29%	7.62%	1.24%	1.57%	80.71%
3.A.1.a.	Vacas lecheras	CH4	181.0	263.6	2.13%	54.08%	1.15%	1.46%	82.17%
1.A.3.b.	Transporte terrestre	N2O	32.7	142.5	0.46%	240.05%	1.10%	1.40%	83.57%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Biomasa	N2O	6.8	60.4	0.37%	275.02%	1.02%	1.29%	84.86%
3.F.	Quema de residuos agrícola en el campo	CH4	78.9	130.7	0.78%	128.06%	1.00%	1.27%	86.13%
5.A.2.	Sitios de disposición de residuos no gestionados	CH4	126.3	393.1	0.38%	204.27%	0.77%	0.98%	87.11%
3.B.1.b.	Otros vacunos	N2O	38.2	55.6	0.45%	156.60%	0.70%	0.89%	88.00%
3.A.4.e.	Equinos	CH4	74.3	70.9	1.20%	58.31%	0.70%	0.89%	88.89%
3.A.2.	Ovinos	CH4	63.8	61.6	1.03%	67.08%	0.69%	0.87%	89.76%
1.A.4.b.	Residencial - Biomasa	N2O	129.3	335.0	0.21%	275.41%	0.59%	0.75%	90.51%
1.A.3.b.	Transporte terrestre	CH4	13.0	63.3	0.24%	230.05%	0.56%	0.71%	91.22%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Biomasa	CH4	4.3	38.0	0.23%	233.02%	0.54%	0.69%	91.90%
1.A.4.a.	Comercial / Institucional - Biomasa	CH4	-	65.2	0.21%	233.48%	0.49%	0.62%	92.52%
2.A.1.	Producción de cemento	CO2	410.5	990.2	1.33%	33.24%	0.44%	0.56%	93.08%
3.B.3.	Porcinos	N2O	32.5	59.8	0.27%	161.55%	0.44%	0.55%	93.64%
5.C.2.	Incineración abierta de residuos	CO2	50.3	171.5	0.28%	141.42%	0.40%	0.51%	94.15%
5.B.1.	Compostaje	N2O	3.2	40.3	0.28%	141.42%	0.40%	0.50%	94.65%
3.B.1.b.	Otros vacunos	CH4	45.8	66.6	0.54%	67.27%	0.36%	0.46%	95.11%
3.B.1.a.	Vacas lecheras	N2O	19.3	28.1	0.23%	156.60%	0.35%	0.45%	95.56%
3.F.	Quema de residuos agrícola en el campo	N2O	24.4	40.4	0.24%	128.06%	0.31%	0.39%	95.95%
1.A.4.a.	Comercial / Institucional - Líquido	CO2	67.1	48.0	1.23%	16.55%	0.20%	0.26%	96.21%
3.B.4.e.	Equinos	N2O	7.1	6.8	0.12%	158.11%	0.18%	0.23%	96.44%
1.A.2.	Industrias manufactureras y de la construcción - Biomasa	N2O	2.5	-	0.06%	275.05%	0.17%	0.22%	96.66%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Sólido	N2O	-	23.1	0.07%	233.02%	0.17%	0.22%	96.88%
1.A.4.b.	Residencial - Líquido	CO2	287.5	908.2	0.98%	16.55%	0.16%	0.20%	97.08%
1.A.2.	Industrias manufactureras y de la construcción - Líquido	CO2	770.9	1,943.7	1.75%	8.60%	0.15%	0.19%	97.28%
1.A.1.b.	Refinación del petróleo - Líquido	N2O	2.6	0.4	0.06%	233.02%	0.14%	0.18%	97.46%
3.D.1.d.	Residuos de cosechas	N2O	78.2	222.2	0.04%	309.23%	0.13%	0.17%	97.63%
2.A.2.	Producción de cal	CO2	149.3	185.0	2.04%	6.32%	0.13%	0.16%	97.79%
3.B.3.	Porcinos	CH4	19.3	35.5	0.16%	78.10%	0.13%	0.16%	97.95%
3.A.4.d.	Caprinos	CH4	11.9	11.5	0.19%	58.31%	0.11%	0.14%	98.09%

Anexo técnico del IBA de Guatemala: Informe del Inventario Nacional 2022

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Código	Categorías de fuente de gases de efecto invernadero	GEI	Emisiones o absorciones de 1990 Ex,t	Emisiones o absorciones de 2018 Ex,t	Evaluación de tendencia Tx,t	Incertidumbre combinada Ux,t	Evaluación de tendencia de 2018 con incertidumbre TUX,t	% de aporte a la tendencia	Total acumulativo de la columna I
			kt CO ₂ eq	kt CO ₂ eq	%	%	%	%	%
3.A.3.	Porcinos	CH4	19.3	35.5	0.16%	67.08%	0.11%	0.14%	98.23%
3.A.4.f.	Mulas y asnos	CH4	14.4	12.9	0.24%	42.43%	0.10%	0.13%	98.36%
1.A.2.	Industrias manufactureras y de la construcción - Biomasa	CH4	1.6	-	0.04%	233.05%	0.09%	0.12%	98.47%
1.A.4.a.	Comercial / Institucional - Biomasa	N2O	-	10.4	0.03%	275.41%	0.09%	0.12%	98.59%
2.D.1.	Uso de lubricantes	CO2	2.7	26.1	0.16%	52.29%	0.09%	0.11%	98.70%
3.B.4.g.	Aves de corral	N2O	10.9	24.7	0.05%	167.71%	0.08%	0.10%	98.80%
3.A.4.a.	Búfalos	CH4	3.3	3.3	0.05%	152.97%	0.08%	0.10%	98.90%
3.B.4.e.	Equinos	CH4	6.8	6.5	0.11%	70.71%	0.08%	0.10%	99.00%
3.C.1.	Irrigadas	CH4	2.0	1.8	0.03%	231.70%	0.07%	0.09%	99.10%
5.D.2.	Aguas residuales industriales	CH4	19.2	48.8	0.04%	177.76%	0.07%	0.09%	99.18%
3.D.1.b.iii.	Otros fertilizantes orgánicos aplicados a los suelos	N2O	4.4	14.8	0.02%	306.96%	0.07%	0.09%	99.27%
3.B.4.g.	Aves de corral	CH4	14.7	33.4	0.07%	90.14%	0.06%	0.08%	99.35%
1.A.1.b.	Refinación del petróleo - Líquido	CH4	1.1	0.2	0.03%	233.02%	0.06%	0.08%	99.42%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Líquido	CO2	128.3	273.9	0.73%	7.62%	0.06%	0.07%	99.49%
3.B.2.	Ovinos	N2O	2.0	1.9	0.03%	161.55%	0.05%	0.07%	99.56%
2.C.1.	Producción de hierro y acero	CO2	1.8	24.0	0.17%	26.93%	0.05%	0.06%	99.62%
3.H.	Aplicación de urea	CO2	10.4	37.3	0.07%	53.85%	0.04%	0.05%	99.67%
1.B.2.a.	Petróleo	CH4	2.1	0.5	0.05%	75.06%	0.04%	0.05%	99.71%
3.B.4.f.	Mulas y asnos	N2O	1.4	1.2	0.02%	152.97%	0.03%	0.04%	99.76%
2.D.2.	Uso de la cera de parafina	CO2	1.0	5.4	0.02%	101.24%	0.02%	0.03%	99.79%
3.B.2.	Ovinos	CH4	1.9	1.8	0.03%	78.10%	0.02%	0.03%	99.82%
1.A.2.	Industrias manufactureras y de la construcción - Líquido	N2O	1.7	3.8	0.01%	233.05%	0.02%	0.03%	99.84%
2.A.3.	Producción de vidrio	CO2	3.5	13.2	0.03%	60.21%	0.02%	0.02%	99.87%
3.B.1.a.	Vacas lecheras	CH4	1.8	2.6	0.02%	67.27%	0.01%	0.02%	99.88%
2.A.4.	Otros usos de carbonatos en los procesos	CO2	2.5	35.0	0.25%	5.20%	0.01%	0.02%	99.90%
3.B.4.f.	Mulas y asnos	CH4	1.3	1.2	0.02%	58.31%	0.01%	0.02%	99.92%
1.A.4.b.	Residencial - Líquido	N2O	0.3	0.4	0.00%	233.48%	0.01%	0.01%	99.93%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Sólido	CH4	-	1.3	0.00%	200.02%	0.01%	0.01%	99.94%
1.A.2.	Industrias manufactureras y de la construcción - Líquido	CH4	0.7	1.6	0.00%	233.05%	0.01%	0.01%	99.95%
3.B.4.d.	Caprinos	N2O	0.3	0.3	0.00%	158.11%	0.01%	0.01%	99.96%
1.A.4.a.	Comercial / Institucional - Líquido	CH4	0.2	0.1	0.00%	233.48%	0.01%	0.01%	99.97%
3.B.4.d.	Caprinos	CH4	0.4	0.4	0.01%	70.71%	0.00%	0.01%	99.98%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Líquido	N2O	0.3	0.6	0.00%	233.02%	0.00%	0.01%	99.98%
1.A.4.a.	Comercial / Institucional - Líquido	N2O	0.1	0.1	0.00%	233.48%	0.00%	0.00%	99.99%
1.A.4.b.	Residencial - Líquido	CH4	0.7	1.8	0.00%	233.48%	0.00%	0.00%	99.99%
1.A.3.a.	Aviación civil	CO2	2.7	4.0	0.03%	8.60%	0.00%	0.00%	99.99%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Líquido	CH4	0.1	0.3	0.00%	233.02%	0.00%	0.00%	100.00%
3.B.4.a.	Búfalos	N2O	0.1	0.1	0.00%	212.13%	0.00%	0.00%	100.00%
3.B.4.a.	Búfalos	CH4	0.0	0.0	0.00%	158.11%	0.00%	0.00%	100.00%
1.A.3.a.	Aviación civil	N2O	0.0	0.0	0.00%	150.08%	0.00%	0.00%	100.00%
2.C.2.	Producción de ferroaleaciones	CO2	-	0.3	0.00%	25.50%	0.00%	0.00%	100.00%
1.A.3.a.	Aviación civil	CH4	0.0	0.0	0.00%	100.12%	0.00%	0.00%	100.00%
1.B.2.a.	Petróleo	CO2	0.0	0.0	0.00%	75.06%	0.00%	0.00%	100.00%
5.B.1.	Compostaje	CH4	3.6	45.1	0.31%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
5.C.2.	Incineración abierta de residuos	CH4	50.7	173.0	0.29%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
5.C.2.	Incineración abierta de residuos	N2O	13.9	47.6	0.08%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
5.D.1.	Aguas residuales domésticas	CH4	41.8	79.4	0.33%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
5.D.1.	Aguas residuales domésticas	N2O	76.6	240.7	0.25%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%

Anexo técnico del IBA de Guatemala: Informe del Inventario Nacional 2022

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Código	Categorías de fuente de gases de efecto invernadero	GEI	Emisiones o absorciones de 1990 Ex,0 kt CO ₂ eq	Emisiones o absorciones de 2018 Ex,t kt CO ₂ eq	Evaluación de tendencia Tx,t %	Incertidumbre combinada Ux,t %	Evaluación de tendencia de 2018 con incertidumbre TUx,t %	% de aporte a la tendencia	Total acumulativo de la columna I %
	Total		11,253.6	31,254.6	144.64%	13981.79%	78.84%	100.00%	

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

Anexo 2. Reporte de la evaluación general de la incertidumbre

Tabla A.2.1.

Reporte de la incertidumbre de 2018 y la tendencia de 1990-2018 del país por categoría y gas

Código	Categorías de fuente y sumidero de GEI	GEI	Emisiones o absorciones de 1990 kt CO ₂ eq	Emisiones o absorciones de 2018 kt CO ₂ eq	Incertidumbre de los datos de actividad		Incertidumbre del factor de emisión		Incertidumbre combinada		Contribución a la varianza por categoría en 2018 (fracción)	Tendencia del inventario en las emisiones nacionales para el incremento de 2018 respecto a 1990 (% de 1990)	Incertidumbre introducida en la tendencia en las emisiones nacionales totales respecto a 2018	
					(-) %	(+) %	(-) %	(+) %	(-) %	(+) %			(-) %	(+) %
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Líquido	CO ₂	128.3	273.9	3.0%	3.0%	7.0%	7.0%	7.6%	7.6%	0.000	113.4%	0.0%	0.0%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Líquido	CH ₄	0.1	0.3	3.0%	3.0%	233.0%	233.0%	233.0%	233.0%	0.000	109.2%	0.0%	0.0%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Líquido	N ₂ O	0.3	0.6	3.0%	3.0%	233.0%	233.0%	233.0%	233.0%	0.000	109.2%	0.0%	0.0%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Sólido	CO ₂	NO	5,090.0	3.0%	3.0%	7.0%	7.0%	7.6%	7.6%	0.001	NA	0.0%	0.0%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Sólido	CH ₄	NO	1.3	3.0%	3.0%	200.0%	200.0%	200.0%	200.0%	0.000	NA	0.0%	0.0%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Sólido	N ₂ O	NO	23.1	3.0%	3.0%	233.0%	233.0%	233.0%	233.0%	0.000	NA	0.0%	0.0%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Biomasa	CH ₄	4.3	38.0	3.0%	3.0%	233.0%	233.0%	233.0%	233.0%	0.000	790.1%	0.0%	0.0%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Biomasa	N ₂ O	6.8	60.4	3.0%	3.0%	275.0%	275.0%	275.0%	275.0%	0.000	790.1%	0.0%	0.0%
1.A.1.b.	Refinación del petróleo - Líquido	CO ₂	1,070.2	154.0	3.0%	3.0%	7.0%	7.0%	7.6%	7.6%	0.000	-85.6%	0.0%	0.0%
1.A.1.b.	Refinación del petróleo - Líquido	CH ₄	1.1	0.2	3.0%	3.0%	233.0%	233.0%	233.0%	233.0%	0.000	-85.7%	0.0%	0.0%
1.A.1.b.	Refinación del petróleo - Líquido	N ₂ O	2.6	0.4	3.0%	3.0%	233.0%	233.0%	233.0%	233.0%	0.000	-85.7%	0.0%	0.0%
1.A.2.	Industrias manufactureras y de la construcción - Líquido	CO ₂	770.9	1,943.7	5.0%	5.0%	7.0%	7.0%	8.6%	8.6%	0.000	152.1%	0.0%	0.0%
1.A.2.	Industrias manufactureras y de la construcción - Líquido	CH ₄	0.7	1.6	5.0%	5.0%	233.0%	233.0%	233.1%	233.1%	0.000	124.3%	0.0%	0.0%
1.A.2.	Industrias manufactureras y de la construcción - Líquido	N ₂ O	1.7	3.8	5.0%	5.0%	233.0%	233.0%	233.1%	233.1%	0.000	120.2%	0.0%	0.0%
1.A.2.	Industrias manufactureras y de la construcción - Biomasa	CH ₄	1.6	NO	5.0%	5.0%	233.0%	233.0%	233.1%	233.1%	NA	-100.0%	0.0%	0.0%
1.A.2.	Industrias manufactureras y de la construcción - Biomasa	N ₂ O	2.5	NO	5.0%	5.0%	275.0%	275.0%	275.0%	275.0%	NA	-100.0%	0.0%	0.0%
1.A.3.a.	Aviación civil	CO ₂	2.7	4.0	5.0%	5.0%	7.0%	7.0%	8.6%	8.6%	0.000	45.2%	0.0%	0.0%
1.A.3.a.	Aviación civil	CH ₄	0.0	0.0	5.0%	5.0%	100.0%	100.0%	100.1%	100.1%	0.000	45.2%	0.0%	0.0%
1.A.3.a.	Aviación civil	N ₂ O	0.0	0.0	5.0%	5.0%	150.0%	150.0%	150.1%	150.1%	0.000	45.2%	0.0%	0.0%
1.A.3.b.	Transporte terrestre	CO ₂	2,199.9	9,679.2	5.0%	5.0%	7.0%	7.0%	8.6%	8.6%	0.004	340.0%	0.0%	0.0%
1.A.3.b.	Transporte terrestre	CH ₄	13.0	63.3	5.0%	5.0%	230.0%	230.0%	230.1%	230.1%	0.000	388.7%	0.0%	0.0%
1.A.3.b.	Transporte terrestre	N ₂ O	32.7	142.5	5.0%	5.0%	240.0%	240.0%	240.1%	240.1%	0.001	336.3%	0.0%	0.0%
1.A.4.a.	Comercial / Institucional - Líquido	CO ₂	67.1	48.0	15.0%	15.0%	7.0%	7.0%	16.6%	16.6%	0.000	-28.5%	0.0%	0.0%
1.A.4.a.	Comercial / Institucional - Líquido	CH ₄	0.2	0.1	15.0%	15.0%	233.0%	233.0%	233.5%	233.5%	0.000	-24.1%	0.0%	0.0%
1.A.4.a.	Comercial / Institucional - Líquido	N ₂ O	0.1	0.1	15.0%	15.0%	233.0%	233.0%	233.5%	233.5%	0.000	-17.2%	0.0%	0.0%
1.A.4.a.	Comercial / Institucional - Biomasa	CH ₄	NO	65.2	15.0%	15.0%	233.0%	233.0%	233.5%	233.5%	0.000	NA	0.0%	0.0%
1.A.4.a.	Comercial / Institucional - Biomasa	N ₂ O	NO	10.4	15.0%	15.0%	275.0%	275.0%	275.4%	275.4%	0.000	NA	0.0%	0.0%
1.A.4.b.	Residencial - Líquido	CO ₂	287.5	908.2	15.0%	15.0%	7.0%	7.0%	16.6%	16.6%	0.000	215.9%	0.0%	0.0%
1.A.4.b.	Residencial - Líquido	CH ₄	0.7	1.8	15.0%	15.0%	233.0%	233.0%	233.5%	233.5%	0.000	154.7%	0.0%	0.0%
1.A.4.b.	Residencial - Líquido	N ₂ O	0.3	0.4	15.0%	15.0%	233.0%	233.0%	233.5%	233.5%	0.000	34.5%	0.0%	0.0%

Anexo técnico del IBA de Guatemala: Informe del Inventario Nacional 2022

Código	Categorías de fuente y sumidero de GEI	GEI	Emisiones o absorciones de 1990	Emisiones o absorciones de 2018	Incertidumbre de los datos de actividad		Incertidumbre del factor de emisión		Incertidumbre combinada		Contribución a la varianza por categoría en 2018	Tendencia del inventario en las emisiones nacionales para el incremento de 2018 respecto a 1990	Incertidumbre introducida en la tendencia en las emisiones nacionales totales respecto a 2018			
					(-) %	(+) %	(-) %	(+) %	(-) %	(+) %			(fracción)	(% de 1990)	(-) %	(+) %
1.A.4.b.	Residencial - Biomasa	CH ₄	813.5	2,108.0	15.0%	15.0%	233.0%	233.0%	233.5%	233.5%	0.142	159.1%	0.3%	0.3%		
1.A.4.b.	Residencial - Biomasa	N ₂ O	129.3	335.0	15.0%	15.0%	275.0%	275.0%	275.4%	275.4%	0.005	159.1%	0.0%	0.0%		
1.B.2.a.	Petróleo	CO ₂	0.0	0.0	3.0%	3.0%	75.0%	75.0%	75.1%	75.1%	0.000	131.9%	0.0%	0.0%		
1.B.2.a.	Petróleo	CH ₄	2.1	0.5	3.0%	3.0%	75.0%	75.0%	75.1%	75.1%	0.000	-74.1%	0.0%	0.0%		
2.A.1.	Producción de cemento	CO ₂	410.5	990.2	14.1%	14.1%	30.1%	30.1%	33.2%	33.2%	0.001	141.2%	0.0%	0.0%		
2.A.2.	Producción de cal	CO ₂	149.3	185.0	6.0%	6.0%	2.0%	2.0%	6.3%	6.3%	0.000	23.9%	0.0%	0.0%		
2.A.3.	Producción de vidrio	CO ₂	3.5	13.2	5.0%	5.0%	60.0%	60.0%	60.2%	60.2%	0.000	275.2%	0.0%	0.0%		
2.A.4.	Otros usos de carbonatos en los procesos	CO ₂	2.5	35.0	4.2%	4.2%	3.0%	3.0%	5.2%	5.2%	0.000	1320.9%	0.0%	0.0%		
2.C.1.	Producción de hierro y acero	CO ₂	1.8	24.0	10.0%	10.0%	25.0%	25.0%	26.9%	26.9%	0.000	1247.5%	0.0%	0.0%		
2.C.2.	Producción de ferroaleaciones	CO ₂	NO	0.3	5.0%	5.0%	25.0%	25.0%	25.5%	25.5%	0.000	NA	0.0%	0.0%		
2.D.1.	Uso de lubricantes	CO ₂	2.7	26.1	15.0%	15.0%	50.1%	50.1%	52.3%	52.3%	0.000	860.7%	0.0%	0.0%		
2.D.2.	Uso de la cera de parafina	CO ₂	1.0	5.4	15.0%	15.0%	100.1%	100.1%	101.2%	101.2%	0.000	459.9%	0.0%	0.0%		
2.F.1.	Refrigeración y aire acondicionado	HFC	NE	713.6	30.0%	30.0%	68.5%	68.5%	74.8%	74.8%	0.002	NA	0.0%	0.0%		
3.A.1.a.	Vacas lecheras	CH ₄	181.0	263.6	45.0%	45.0%	30.0%	30.0%	54.1%	54.1%	0.000	45.6%	0.0%	0.0%		
3.A.1.b.	Otros vacunos	CH ₄	2,563.5	3,731.9	45.0%	45.0%	30.0%	30.0%	54.1%	54.1%	0.024	45.6%	0.3%	0.3%		
3.A.2.	Ovinos	CH ₄	63.8	61.6	60.0%	60.0%	30.0%	30.0%	67.1%	67.1%	0.000	-3.5%	0.0%	0.0%		
3.A.3.	Porcinos	CH ₄	19.3	35.5	60.0%	60.0%	30.0%	30.0%	67.1%	67.1%	0.000	84.0%	0.0%	0.0%		
3.A.4.a.	Búfalos	CH ₄	3.3	3.3	150.0%	150.0%	30.0%	30.0%	153.0%	153.0%	0.000	0.0%	0.0%	0.0%		
3.A.4.d.	Caprinos	CH ₄	11.9	11.5	50.0%	50.0%	30.0%	30.0%	58.3%	58.3%	0.000	-3.8%	0.0%	0.0%		
3.A.4.e.	Equinos	CH ₄	74.3	70.9	50.0%	50.0%	30.0%	30.0%	58.3%	58.3%	0.000	-4.6%	0.0%	0.0%		
3.A.4.f.	Mulas y asnos	CH ₄	14.4	12.9	30.0%	30.0%	30.0%	30.0%	42.4%	42.4%	0.000	-10.3%	0.0%	0.0%		
3.B.1.a.	Vacas lecheras	CH ₄	1.8	2.6	45.0%	45.0%	50.0%	50.0%	67.3%	67.3%	0.000	45.6%	0.0%	0.0%		
3.B.1.a.	Vacas lecheras	N ₂ O	19.3	28.1	45.0%	45.0%	150.0%	150.0%	156.6%	156.6%	0.000	45.6%	0.0%	0.0%		
3.B.1.b.	Otros vacunos	CH ₄	45.8	66.6	45.0%	45.0%	50.0%	50.0%	67.3%	67.3%	0.000	45.6%	0.0%	0.0%		
3.B.1.b.	Otros vacunos	N ₂ O	38.2	55.6	45.0%	45.0%	150.0%	150.0%	156.6%	156.6%	0.000	45.6%	0.0%	0.0%		
3.B.2.	Ovinos	CH ₄	1.9	1.8	60.0%	60.0%	50.0%	50.0%	78.1%	78.1%	0.000	-3.5%	0.0%	0.0%		
3.B.2.	Ovinos	N ₂ O	2.0	1.9	60.0%	60.0%	150.0%	150.0%	161.6%	161.6%	0.000	-3.5%	0.0%	0.0%		
3.B.3.	Porcinos	CH ₄	19.3	35.5	60.0%	60.0%	50.0%	50.0%	78.1%	78.1%	0.000	84.0%	0.0%	0.0%		
3.B.3.	Porcinos	N ₂ O	32.5	59.8	60.0%	60.0%	150.0%	150.0%	161.6%	161.6%	0.000	84.0%	0.0%	0.0%		
3.B.4.a.	Búfalos	CH ₄	0.0	0.0	150.0%	150.0%	50.0%	50.0%	158.1%	158.1%	0.000	0.0%	0.0%	0.0%		
3.B.4.a.	Búfalos	N ₂ O	0.1	0.1	150.0%	150.0%	150.0%	150.0%	212.1%	212.1%	0.000	0.0%	0.0%	0.0%		
3.B.4.d.	Caprinos	CH ₄	0.4	0.4	50.0%	50.0%	50.0%	50.0%	70.7%	70.7%	0.000	-3.8%	0.0%	0.0%		
3.B.4.d.	Caprinos	N ₂ O	0.3	0.3	50.0%	50.0%	150.0%	150.0%	158.1%	158.1%	0.000	-3.8%	0.0%	0.0%		
3.B.4.e.	Equinos	CH ₄	6.8	6.5	50.0%	50.0%	50.0%	50.0%	70.7%	70.7%	0.000	-4.6%	0.0%	0.0%		
3.B.4.e.	Equinos	N ₂ O	7.1	6.8	50.0%	50.0%	150.0%	150.0%	158.1%	158.1%	0.000	-4.6%	0.0%	0.0%		
3.B.4.f.	Mulas y asnos	CH ₄	1.3	1.2	30.0%	30.0%	50.0%	50.0%	58.3%	58.3%	0.000	-10.3%	0.0%	0.0%		

Anexo técnico del 1BA de Guatemala: Informe del Inventario Nacional 2022

Código	Categorías de fuente y sumidero de GEI	GEI	C	D	E		F		G		H	I	J	
			Emisiones o absorciones de 1990	Emisiones o absorciones de 2018	(-) %	(+) %	Incertidumbre del factor de emisión	Incertidumbre combinada	Contribución a la varianza por categoría en 2018	Tendencia del inventario en las emisiones nacionales para el incremento de 2018 respecto a 1990	Incertidumbre introducida en la tendencia en las emisiones nacionales totales respecto a 2018			
			kt CO ₂ eq	kt CO ₂ eq	(-) %	(+) %	(-) %	(+) %	(-) %	(+) %	(fracción)	(% de 1990)	(-) %	(+) %
3.B.4.f.	Mulas y asnos	N ₂ O	1.4	1.2	30.0%	30.0%	150.0%	150.0%	153.0%	153.0%	0.000	-10.3%	0.0%	0.0%
3.B.4.g.	Aves de corral	CH ₄	14.7	33.4	75.0%	75.0%	50.0%	50.0%	90.1%	90.1%	0.000	126.8%	0.0%	0.0%
3.B.4.g.	Aves de corral	N ₂ O	10.9	24.7	75.0%	75.0%	150.0%	150.0%	167.7%	167.7%	0.000	126.8%	0.0%	0.0%
3.B.5.	Emisiones indirectas de N ₂ O	N ₂ O	43.2	80.4	150.0%	150.0%	500.0%	500.0%	522.0%	522.0%	0.001	86.1%	0.0%	0.0%
3.C.1.	Irrigadas	CH ₄	2.0	1.8	28.0%	28.0%	230.0%	230.0%	231.7%	231.7%	0.000	-5.7%	0.0%	0.0%
3.C.2.	Alimentadas a lluvia	CH ₄	30.9	16.5	28.0%	28.0%	230.0%	230.0%	231.7%	231.7%	0.000	-46.6%	0.0%	0.0%
3.D.1.a.	Fertilizantes inorgánicos	N ₂ O	261.6	579.3	20.0%	20.0%	300.0%	300.0%	300.7%	300.7%	0.018	121.4%	0.0%	0.0%
3.D.1.b.i.	Estiércol animal aplicado a los suelos	N ₂ O	61.2	114.3	65.0%	65.0%	300.0%	300.0%	307.0%	307.0%	0.001	86.8%	0.0%	0.0%
3.D.1.b.iii.	Otros fertilizantes orgánicos aplicados a los suelos	N ₂ O	4.4	14.8	65.0%	65.0%	300.0%	300.0%	307.0%	307.0%	0.000	233.4%	0.0%	0.0%
3.D.1.c.	Orina y estiércol depositado por animales de pastoreo	N ₂ O	83.2	120.3	69.0%	69.0%	330.0%	330.0%	337.1%	337.1%	0.001	44.5%	0.0%	0.0%
3.D.1.d.	Residuos de cosechas	N ₂ O	78.2	222.2	75.0%	75.0%	300.0%	300.0%	309.2%	309.2%	0.003	183.9%	0.0%	0.0%
3.D.2.a.	Deposición atmosférica	N ₂ O	87.5	155.2	75.0%	75.0%	500.0%	500.0%	505.6%	505.6%	0.004	77.3%	0.0%	0.0%
3.D.2.b.	Lixiviación y escurrimiento	N ₂ O	163.6	326.5	75.0%	75.0%	600.0%	600.0%	604.7%	604.7%	0.023	99.6%	0.0%	0.0%
3.E.	Quema prescrita de sabanas	CH ₄	215.4	93.7	105.0%	105.0%	50.0%	50.0%	116.3%	116.3%	0.000	-56.5%	0.0%	0.0%
3.E.	Quema prescrita de sabanas	N ₂ O	234.4	101.9	105.0%	105.0%	50.0%	50.0%	116.3%	116.3%	0.000	-56.5%	0.0%	0.0%
3.F.	Quema de residuos agrícola en el campo	CH ₄	78.9	130.7	80.0%	80.0%	100.0%	100.0%	128.1%	128.1%	0.000	65.8%	0.0%	0.0%
3.F.	Quema de residuos agrícola en el campo	N ₂ O	24.4	40.4	80.0%	80.0%	100.0%	100.0%	128.1%	128.1%	0.000	65.8%	0.0%	0.0%
3.H.	Aplicación de urea	CO ₂	10.4	37.3	20.0%	20.0%	50.0%	50.0%	53.9%	53.9%	0.000	257.8%	0.0%	0.0%
4.A.1.	Tierras forestales que permanecen como tales	CO ₂	15,533.8	26,731.6	23.4%	23.4%	23.4%	23.4%	33.1%	33.1%	0.459	72.1%	4.3%	4.3%
4.A.1.	Tierras forestales que permanecen como tales	CH ₄	215.4	215.4	70.0%	70.0%	59.0%	59.0%	91.5%	91.5%	0.000	0.0%	0.0%	0.0%
4.A.1.	Tierras forestales que permanecen como tales	N ₂ O	75.5	75.5	70.0%	70.0%	53.0%	53.0%	87.8%	87.8%	0.000	0.0%	0.0%	0.0%
4.A.2.a.	Tierras de cultivo convertidas en tierras forestales	CO ₂	114.3	-1,136.4	45.8%	45.8%	18.0%	18.0%	49.2%	49.2%	0.002	-1094.6%	0.0%	0.0%
4.A.2.b.	Pastizales convertidos en tierras forestales	CO ₂	835.8	-9,558.4	45.8%	45.8%	18.0%	18.0%	49.2%	49.2%	0.130	-1243.6%	2.3%	2.3%
4.B.1.	Tierras de cultivo que permanecen como tales	CO ₂	66.2	146.5	45.8%	45.8%	75.0%	75.0%	87.9%	87.9%	0.000	121.3%	0.0%	0.0%
4.B.2.a.	Tierras forestales convertidas en tierras de cultivo	CO ₂	1,023.5	3,331.3	45.8%	45.8%	18.0%	18.0%	49.2%	49.2%	0.016	225.5%	0.3%	0.3%
4.B.2.b.	Pastizales convertidos en tierras de cultivo	CO ₂	128.3	3.5	45.8%	45.8%	75.0%	75.0%	87.9%	87.9%	0.000	-97.3%	0.0%	0.0%
4.B.2.c.	Humedales convertidos en tierras de cultivo	CO ₂	0.0	-1.2	45.8%	45.8%	75.0%	75.0%	87.9%	87.9%	0.000	-6788.1%	0.0%	0.0%
4.B.2.d.	Asentamientos convertidos en tierras de cultivo	CO ₂	0.0	-1.9	45.8%	45.8%	75.0%	75.0%	87.9%	87.9%	0.000	-27656.3%	0.0%	0.0%
4.B.2.e.	Otras tierras convertidas en tierras de cultivo	CO ₂	0.0	-3.0	45.8%	45.8%	75.0%	75.0%	87.9%	87.9%	0.000	-12665.4%	0.0%	0.0%
4.C.2.a.	Tierras forestales convertidas en pastizales	CO ₂	13,340.2	10,388.1	45.8%	45.8%	18.0%	18.0%	49.2%	49.2%	0.153	-22.1%	2.6%	2.6%
4.C.2.b.	Tierras de cultivo convertidas en pastizales	CO ₂	109.0	42.5	45.8%	45.8%	75.0%	75.0%	87.9%	87.9%	0.000	-61.0%	0.0%	0.0%
4.C.2.c.	Humedales convertidos en pastizales	CO ₂	0.5	-13.4	45.8%	45.8%	75.0%	75.0%	87.9%	87.9%	0.000	-3047.4%	0.0%	0.0%
4.C.2.d.	Asentamientos convertidos en pastizales	CO ₂	0.1	-1.9	45.8%	45.8%	75.0%	75.0%	87.9%	87.9%	0.000	-3047.4%	0.0%	0.0%
4.C.2.e.	Otras tierras convertidas en pastizales	CO ₂	0.7	-19.2	45.8%	45.8%	75.0%	75.0%	87.9%	87.9%	0.000	-3047.4%	0.0%	0.0%
4.D.2.a.	Tierras forestales convertidas en humedales	CO ₂	61.2	78.6	45.8%	45.8%	18.0%	18.0%	49.2%	49.2%	0.000	28.4%	0.0%	0.0%
4.D.2.b.	Tierras de cultivo convertidas en humedales	CO ₂	1.7	3.5	45.8%	45.8%	75.0%	75.0%	87.9%	87.9%	0.000	106.9%	0.0%	0.0%

Anexo técnico del IBA de Guatemala: Informe del Inventario Nacional 2022

Código	Categorías de fuente y sumidero de GEI	GEI	C		D		E		F		G		H	I	J	
			Emisiones o absorciones de 1990	Emisiones o absorciones de 2018	Incertidumbre de los datos de actividad		Incertidumbre del factor de emisión		Incertidumbre combinada		Contribución a la varianza por categoría en 2018	Tendencia del inventario en las emisiones nacionales para el incremento de 2018 respecto a 1990			Incertidumbre introducida en la tendencia en las emisiones nacionales totales respecto a 2018	
					kt CO ₂ eq	kt CO ₂ eq	(-) %	(+) %	(-) %	(+) %					(-) %	(+) %
4.D.2.c.	Pastizales convertidos en humedales	CO ₂	4.2	8.8	45.8%	45.8%	75.0%	75.0%	87.9%	87.9%	0.000	106.9%	0.0%	0.0%		
4.E.2.a.	Tierras forestales convertidas en asentamientos	CO ₂	14.9	122.6	45.8%	45.8%	18.0%	18.0%	49.2%	49.2%	0.000	722.0%	0.0%	0.0%		
4.E.2.b.	Tierras de cultivo convertidas en asentamientos	CO ₂	1.8	24.0	45.8%	45.8%	75.0%	75.0%	87.9%	87.9%	0.000	1224.5%	0.0%	0.0%		
4.E.2.c.	Pastizales convertidos en asentamientos	CO ₂	1.6	21.1	45.8%	45.8%	75.0%	75.0%	87.9%	87.9%	0.000	1224.5%	0.0%	0.0%		
4.F.2.a.	Tierras forestales convertidas en otras tierras	CO ₂	122.7	307.8	45.8%	45.8%	18.0%	18.0%	49.2%	49.2%	0.000	150.8%	0.0%	0.0%		
4.F.2.b.	Tierras de cultivo convertidas en otras tierras	CO ₂	0.9	3.5	45.8%	45.8%	75.0%	75.0%	87.9%	87.9%	0.000	304.2%	0.0%	0.0%		
4.F.2.c.	Pastizales convertidos en otras tierras	CO ₂	8.7	35.1	45.8%	45.8%	75.0%	75.0%	87.9%	87.9%	0.000	304.2%	0.0%	0.0%		
5.A.1.	Sitios de disposición de residuos gestionados	CH ₄	241.8	511.3	173.2%	173.2%	104.5%	104.5%	202.3%	202.3%	0.006	111.4%	0.1%	0.1%		
5.A.2.	Sitios de disposición de residuos no gestionados	CH ₄	126.3	393.1	173.2%	173.2%	108.3%	108.3%	204.3%	204.3%	0.004	211.3%	0.1%	0.1%		
5.B.1.	Compostaje	CH ₄	3.6	45.1	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	141.4%	141.4%	0.000	1166.8%	0.0%	0.0%		
5.B.1.	Compostaje	N ₂ O	3.2	40.3	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	141.4%	141.4%	0.000	1166.8%	0.0%	0.0%		
5.C.2.	Incineración abierta de residuos	CO ₂	50.3	171.5	173.2%	173.2%	40.0%	40.0%	177.8%	177.8%	0.001	241.2%	0.0%	0.0%		
5.C.2.	Incineración abierta de residuos	CH ₄	50.7	173.0	173.2%	173.2%	100.0%	100.0%	200.0%	200.0%	0.001	241.2%	0.0%	0.0%		
5.C.2.	Incineración abierta de residuos	N ₂ O	13.9	47.6	173.2%	173.2%	100.0%	100.0%	200.0%	200.0%	0.000	241.2%	0.0%	0.0%		
5.D.1.	Aguas residuales domésticas	CH ₄	41.8	79.4	87.7%	87.7%	87.7%	87.7%	124.1%	124.1%	0.000	89.8%	0.0%	0.0%		
5.D.1.	Aguas residuales domésticas	N ₂ O	76.6	240.7	33.5%	33.5%	90.0%	90.0%	96.0%	96.0%	0.000	214.2%	0.0%	0.0%		
5.D.2.	Aguas residuales industriales	CH ₄	19.2	48.8	103.1%	103.1%	44.8%	44.8%	112.4%	112.4%	0.000	154.8%	0.0%	0.0%		
Total				42,914.6	62,058.6					21.0%	21.0%	1.000	44.6%	32.2%	32.2%	

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

Anexo 3. Resumen de los métodos y factores de emisión aplicados

Tabla A.3.1.

Resumen de los métodos y factores de emisión aplicados para la serie temporal 1990-2018 por sector, categoría y gas

Código	Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero	CO ₂		CH ₄		N ₂ O		HFC	
		Método	FE	Método	FE	Método	FE	Método	FE
0.	Todas las emisiones y las absorciones nacionales	T2, T1, NA, NE, NO, IE	CS, D, NA, NE, NO, IE	T2, T1, NE, NO, IE	CS, D, DR, NE, NO, IE	T2, T1, NE, NO, IE	CS, D, DR, NE, NO, IE	T1a, NO, IE	D, NO, IE
1.	Energía	T1, NE, NO, IE	D, NE, NO, IE	T1, NE, NO, IE	D, NE, NO, IE	T1, NE, NO, IE	D, NE, NO, IE		
1.A.	Actividades de quema de combustible	T1, NE, NO, IE	D, NE, NO, IE	T1, NE, NO, IE	D, NE, NO, IE	T1, NE, NO, IE	D, NE, NO, IE		
1.A.1.	Industrias de la energía	T1, NE	D, NE	T1, NE	D, NE	T1, NE	D, NE		
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	D, IE	T1, IE	D, IE	T1, IE	D, IE		
1.A.4.	Otros sectores	T1, IE	D, IE	T1, IE	D, IE	T1, IE	D, IE		
1.A.5.	Otros (especificar)	NO	NO	NO	NO	NO	NO		
1.B.	Emisiones fugitivas de combustibles	T1, NO	D, NO	T1, NE, NO	D, NE, NO	T1, NE, NO	D, NE, NO		
1.B.1.	Combustibles sólidos	NO	NO	NO	NO	NO	NO		
1.B.2.	Petróleo y gas natural y otras emisiones de la producción de energía	T1	D	T1, NE	D, NE	T1, NE	D, NE		
1.C.	Transporte y almacenamiento de CO ₂	NO	NO						
2.	Procesos industriales y uso de productos	T2, T1, NE, NO	CS, D, NE, NO	NO	NO	NO, NE	NO, NE	T1a, NO, IE	D, NO, IE
2.A.	Industria de los minerales	T2, T1	CS, D						
2.B.	Industria química	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
2.C.	Industria de los metales	T1, NE	D, NE	NO	NO	NO	NO	NO	NO
2.D.	Productos no energéticos de combustibles y uso de solventes	T1	D	NO	NO	NO	NO		
2.E.	Industria electrónica							NO	NO
2.F.	Uso de productos sustitutos de las SAO							T1a, IE	D, IE
2.G.	Manufactura y utilización de otros productos	NO	NO	NO	NO	NE	NE	NO	NO
2.H.	Otros (especificar)	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
3.	Agricultura	T1, NE, NO	D, NE, NO	T1, NE, NO	DR, D, NO	T1, NE, NO	DR, D, NE, NO		
3.A.	Fermentación entérica			T1, NE, NO	DR				
3.B.	Gestión del estiércol			T1, NE, NO	D	T1, NE	DR, NE		
3.C.	Cultivo del arroz			T1, NO	DR				
3.D.	Suelos agrícolas					T1, NE	DR, NE		
3.E.	Quema prescrita de sabanas			T1	D	T1	D		
3.F.	Quema de residuos agrícola en el campo			T1, NE	DR	T1, NE	DR, NE		
3.G.	Encalado	NE	NE						
3.H.	Aplicación de urea	T1	D						
3.I.	Otros fertilizantes que contienen carbono	NO	NO						
3.J.	Otros (especificar)	NO	NO	NO	NO	NO	NO		
4.	Uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura	T2, T1, NE, NO	CS, D, NE, NO	T2, T1, NE, NO, IE	CS, D, NE, NO, IE	T2, T1, NE, NO, IE	CS, D, NE, NO, IE		
4.A.	Tierras forestales	T2, T1, NE	CS, D, NE	T2, T1	CS, D	T2, T1	CS, D		
4.B.	Tierras de cultivo	T2, T1, NE	CS, D, NE	NE	NE	NE	NE		

Anexo técnico del 1IBA de Guatemala: Informe del Inventario Nacional 2022

Código	Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero	CO ₂		CH ₄		N ₂ O		HFC	
		Método	FE	Método	FE	Método	FE	Método	FE
4.C.	Pastizales	T2, T1, NE, IE	CS, D, NE, IE	IE	IE	IE	IE		
4.D.	Humedales	T2, T1, NE	CS, D, NE	NE	NE	NE	NE		
4.E.	Asentamientos	T2, T1, NE	CS, D, NE	NO	NO	NO	NO		
4.F.	Otras tierras	T2, T1, NE	CS, D, NE	NO	NO	NO	NO		
4.G.	Productos de madera recolectada	NE	NE						
4.H.	Otros (especificar)	NO	NO	NO	NO	NO	NO		
5.	Residuos	T1, NA, NE, NO	D, NA, NE, NO	T1, NE, NO	D, NE, NO	T1, NE, NO	D, NE, NO		
5.A.	Disposición de residuos sólidos	NA	NA	T1	D				
5.B.	Tratamiento biológico de residuos sólidos			T1	D	T1	D		
5.C.	Incineración y quema abierta de residuos	T1, NE	D, NE	T1, NE	D, NE	T1, NE	D, NE		
5.D.	Tratamiento y descarga de aguas residuales			T1	D	T1	D		
5.E.	Otros (especificar)	NO	NO	NO	NO	NO	NO		
	Elementos informativos								
	Tanque internacional	T1, IE	D, NE	T1, IE	D, NE	T1, IE	D, NE		
	Aviación internacional	T1	D	T1	D	T1	D		
	Navegación internacional	IE	IE	IE	IE	IE	IE		
	Operaciones multilaterales	NO	NO	NO	NO	NO	NO		
	Emissiones de CO ₂ de la biomasa	T1	D						
	CO ₂ capturado	NO	NO						
	Almacenamiento a largo plazo de C en sitios de disposición de residuos	T1	D						
	N ₂ O indirecto					NE	NE		
	CO ₂ indirecto	NE	NE						

Nota: T1 = método de Nivel 1; T2 = método de Nivel 2; T1a = método de Nivel 1a enfoque del factor de emisión; NA = no aplica; NE = no estimado; NO = no ocurre; IE = incluido en otro lugar; CS = país específico; D = por defecto de las *Directrices del IPCC de 2006*; DR = por defecto del *Refinamiento de 2019 del IPCC*.

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

Anexo 4. Resumen de los inventarios presentados previamente por Guatemala

Tabla A.4.1.

Resumen del inventario nacional de gases de efecto invernadero por sector, categoría y gas — 1994

Código	Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero	CO ₂ (kt)	CH ₄ (kt)	N ₂ O (kt)	HFC (kt CO ₂ eq)	PFC (kt CO ₂ eq)	SF ₆ (kt CO ₂ eq)	NF ₃ (kt CO ₂ eq)
0.	Todas las emisiones y las absorciones nacionales	39,883.7	194.4	5.7	NE, NO	NO	NE, NO	NO
1.	Energía	6,870.7	33.2	0.6				
1.A.	Actividades de quema de combustible	6,870.7	33.1	0.6				
1.A.1.	Industrias de la energía	2,540.2	0.3	0.1				
1.A.2.	Industrias manufactureras y de la construcción	958.3	0.1	0.0				
1.A.3.	Transporte	2,884.9	0.7	0.1				
1.A.4.	Otros sectores	487.4	32.0	0.4				
1.A.5.	Otros (especificar)	NO	NO	NO				
1.B.	Emisiones fugitivas de combustibles	0.0	0.1	-				
1.B.1.	Combustibles sólidos	NO	NO	NO				
1.B.2.	Petróleo y gas natural y otras emisiones de la producción de energía	0.0	0.1	-				
1.C.	Transporte y almacenamiento de CO ₂	NO						
2.	Procesos industriales y uso de productos	588.4	NO	NE, NO	NE, NO	NO	NE, NO	NO
2.A.	Industria de los minerales	580.9						
2.B.	Industria química	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
2.C.	Industria de los metales	3.1	NO	NO	NO	NO	NO	NO
2.D.	Productos no energéticos de combustibles y uso de solventes	4.4	NO	NO				
2.E.	Industria electrónica				NO	NO	NO	NO
2.F.	Uso de productos sustitutos de las SAO				NE	NO	NO	NO
2.G.	Manufactura y utilización de otros productos	NO	NO	NE	NO	NO	NE	NO
2.H.	Otros (especificar)	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
3.	Agricultura	11.3	132.0	4.4				
3.A.	Fermentación entérica		114.9					
3.B.	Gestión del estiércol		3.7	0.5				
3.C.	Cultivo del arroz		1.2					
3.D.	Suelos agrícolas			3.0				
3.E.	Quema prescrita de sabanas		8.6	0.8				
3.F.	Quema de residuos agrícola en el campo		3.6	0.1				
3.G.	Encalado	NE						
3.H.	Aplicación de urea	11.3						
3.I.	Otros fertilizantes que contienen carbono	NO						
3.J.	Otros (especificar)	NO	NO	NO				
4.	Uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura	32,355.7	8.6	0.3				
4.A.	Tierras forestales	17,692.2	8.6	0.3				
4.B.	Tierras de cultivo	1,135.5	IE	IE				
4.C.	Pastizales	13,310.4	IE	IE				

Anexo técnico del IBA de Guatemala: Informe del Inventario Nacional 2022

Código	Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero	CO ₂ (kt)	CH ₄ (kt)	N ₂ O (kt)	HFC (kt CO ₂ eq)	PFC (kt CO ₂ eq)	SF ₆ (kt CO ₂ eq)	NF ₃ (kt CO ₂ eq)
4.D.	Humedales	67.2	NE	NE				
4.E.	Asentamientos	18.3	NO	NO				
4.F.	Otras tierras	132.3	NO	NO				
4.G.	Productos de madera recolectada	NE						
4.H.	Otros (especificar)	NO	NO	NO				
5.	Residuos	57.4	20.6	0.4				
5.A.	Disposición de residuos sólidos	NA	17.0					
5.B.	Tratamiento biológico de residuos sólidos		0.2	0.0				
5.C.	Incineración y quema abierta de residuos	57.4	2.3	0.1				
5.D.	Tratamiento y descarga de aguas residuales		1.1	0.3				
5.E.	Otros (especificar)	NO	NO	NO				
Elementos informativos								
	Tanque internacional	133.7	0.0	0.0				
	Aviación internacional	133.7	0.0	0.0				
	Navegación internacional	IE	IE	IE				
	Operaciones multilaterales	NO	NO	NO				
	Emisiones de CO ₂ de la biomasa	12,943.0						
	CO ₂ capturado	NO						
	Almacenamiento a largo plazo de C en sitios de disposición de residuos	29.8						
	N ₂ O indirecto			NE				
	CO ₂ indirecto	NE						

Nota: NA = no aplica; NE = no estimado; NO = no ocurre; IE = incluido en otro lugar.

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

Tabla A.4.2.

Resumen del inventario nacional de gases de efecto invernadero por sector, categoría y gas — 2000

Código	Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero	CO ₂ (kt)	CH ₄ (kt)	N ₂ O (kt)	HFC (kt CO ₂ eq)	PFC (kt CO ₂ eq)	SF ₆ (kt CO ₂ eq)	NF ₃ (kt CO ₂ eq)
	Todas las emisiones y las absorciones nacionales	41,701.4	202.5	6.1	NE, NO	NO	NE, NO	NO
1.	Energía	10,722.2	41.7	0.9				
1.A.	Actividades de quema de combustible	10,722.2	41.6	0.9				
1.A.1.	Industrias de la energía	4,014.4	0.6	0.1				
1.A.2.	Industrias manufactureras y de la construcción	1,280.4	0.1	0.0				
1.A.3.	Transporte	4,735.5	1.2	0.2				
1.A.4.	Otros sectores	691.9	39.7	0.5				
1.A.5.	Otros (especificar)	NO	NO	NO				
1.B.	Emisiones fugitivas de combustibles	0.0	0.1	NO				
1.B.1.	Combustibles sólidos	NO	NO	NO				
1.B.2.	Petróleo y gas natural y otras emisiones de la producción de energía	0.0	0.1	NO				
1.C.	Transporte y almacenamiento de CO ₂	NO						
2.	Procesos industriales y uso de productos	1,019.7	NO	NE, NO	NE, NO	NO	NE, NO	NO
2.A.	Industria de los minerales	1,000.3						
2.B.	Industria química	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
2.C.	Industria de los metales	13.3	NO	NO	NO	NO	NO	NO
2.D.	Productos no energéticos de combustibles y uso de solventes	6.0	NO	NO				
2.E.	Industria electrónica				NO	NO	NO	NO
2.F.	Uso de productos sustitutos de las SAO				NE	NO	NO	NO
2.G.	Manufactura y utilización de otros productos	NO	NO	NE	NO	NO	NE	NO
2.H.	Otros (especificar)	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
3.	Agricultura	18.6	125.6	4.4				
3.A.	Fermentación entérica		111.4					
3.B.	Gestión del estiércol		3.7	0.5				
3.C.	Cultivo del arroz		1.4					
3.D.	Suelos agrícolas			3.3				
3.E.	Quema prescrita de sabanas		5.4	0.5				
3.F.	Quema de residuos agrícola en el campo		3.9	0.1				
3.G.	Encalado	NE						
3.H.	Aplicación de urea	18.6						
3.I.	Otros fertilizantes que contienen carbono	NO						
3.J.	Otros (especificar)	NO	NO	NO				
4.	Uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura	29,881.1	8.6	0.3				
4.A.	Tierras forestales	15,551.4	8.6	0.3				
4.B.	Tierras de cultivo	1,011.6	IE	IE				
4.C.	Pastizales	13,100.3	IE	IE				
4.D.	Humedales	67.2	NE	NE				
4.E.	Asentamientos	18.3	NO	NO				
4.F.	Otras tierras	132.3	NO	NO				

Anexo técnico del 1IBA de Guatemala: Informe del Inventario Nacional 2022

Código	Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero	CO ₂ (kt)	CH ₄ (kt)	N ₂ O (kt)	HFC (kt CO ₂ eq)	PFC (kt CO ₂ eq)	SF ₆ (kt CO ₂ eq)	NF ₃ (kt CO ₂ eq)
4.G.	Productos de madera recolectada	NE						
4.H.	Otros (especificar)	NO	NO	NO				
5.	Residuos	59.9	26.6	0.5				
5.A.	Disposición de residuos sólidos	NA	20.9					
5.B.	Tratamiento biológico de residuos sólidos		1.8	0.1				
5.C.	Incineración y quema abierta de residuos	59.9	2.4	0.1				
5.D.	Tratamiento y descarga de aguas residuales		1.4	0.3				
5.E.	Otros (especificar)	NO	NO	NO				
	Elementos informativos							
	Tanque internacional	152.4	0.0	0.0				
	Aviación internacional	152.4	0.0	0.0				
	Navegación internacional	IE	IE	IE				
	Operaciones multilaterales	NO	NO	NO				
	Emisiones de CO ₂ de la biomasa	16,467.0						
	CO ₂ capturado	NO						
	Almacenamiento a largo plazo de C en sitios de disposición de residuos	35.6						
	N ₂ O indirecto			NE				
	CO ₂ indirecto	NE						

Nota: NA = no aplica; NE = no estimado; NO = no ocurre; IE = incluido en otro lugar.

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

Tabla A.4.3.

Resumen del inventario nacional de gases de efecto invernadero por sector, categoría y gas — 2005

Código	Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero	CO ₂ (kt)	CH ₄ (kt)	N ₂ O (kt)	HFC (kt CO ₂ eq)	PFC (kt CO ₂ eq)	SF ₆ (kt CO ₂ eq)	NF ₃ (kt CO ₂ eq)
	Todas las emisiones y las absorciones nacionales	44,002.9	272.4	8.8	2.8	NO	NE, NO	NO
1.	Energía	10,746.5	62.1	1.2				
1.A.	Actividades de quema de combustible	10,746.5	62.1	1.2				
1.A.1.	Industrias de la energía	2,908.5	0.8	0.1				
1.A.2.	Industrias manufactureras y de la construcción	1,463.2	0.1	0.0				
1.A.3.	Transporte	5,806.4	1.3	0.3				
1.A.4.	Otros sectores	568.4	59.9	0.8				
1.A.5.	Otros (especificar)	NO	NO	NO				
1.B.	Emisiones fugitivas de combustibles	0.0	0.0	NO				
1.B.1.	Combustibles sólidos	NO	NO	NO				
1.B.2.	Petróleo y gas natural y otras emisiones de la producción de energía	0.0	0.0	NO				
1.C.	Transporte y almacenamiento de CO ₂	NO						
2.	Procesos industriales y uso de productos	989.6	NO	NE, NO	2.8	NO	NE, NO	NO
2.A.	Industria de los minerales	942.0						
2.B.	Industria química	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
2.C.	Industria de los metales	16.6	NO	NO	NO	NO	NO	NO
2.D.	Productos no energéticos de combustibles y uso de solventes	31.0	NO	NO				
2.E.	Industria electrónica				NO	NO	NO	NO
2.F.	Uso de productos sustitutos de las SAO				2.8	NO	NO	NO
2.G.	Manufactura y utilización de otros productos	NO	NO	NE	NO	NO	NE	NO
2.H.	Otros (especificar)	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
3.	Agricultura	33.6	153.9	6.3				
3.A.	Fermentación entérica		122.6					
3.B.	Gestión del estiércol		4.2	0.6				
3.C.	Cultivo del arroz		0.8					
3.D.	Suelos agrícolas			3.6				
3.E.	Quema prescrita de sabanas		22.0	2.0				
3.F.	Quema de residuos agrícola en el campo		4.3	0.1				
3.G.	Encalado	NE						
3.H.	Aplicación de urea	33.6						
3.I.	Otros fertilizantes que contienen carbono	NO						
3.J.	Otros (especificar)	NO	NO	NO				
4.	Uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura	32,155.9	25.1	0.7				
4.A.	Tierras forestales	18,104.5	25.1	0.7				
4.B.	Tierras de cultivo	908.4	IE	IE				
4.C.	Pastizales	12,925.3	IE	IE				
4.D.	Humedales	67.2	NE	NE				
4.E.	Asentamientos	18.3	NO	NO				
4.F.	Otras tierras	132.3	NO	NO				

Anexo técnico del 1IBA de Guatemala: Informe del Inventario Nacional 2022

Código	Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero	CO ₂ (kt)	CH ₄ (kt)	N ₂ O (kt)	HFC (kt CO ₂ eq)	PFC (kt CO ₂ eq)	SF ₆ (kt CO ₂ eq)	NF ₃ (kt CO ₂ eq)
4.G.	Productos de madera recolectada	NE						
4.H.	Otros (especificar)	NO	NO	NO				
5.	Residuos	77.2	31.3	0.5				
5.A.	Disposición de residuos sólidos	NA	25.6					
5.B.	Tratamiento biológico de residuos sólidos		1.3	0.1				
5.C.	Incineración y quema abierta de residuos	77.2	3.1	0.1				
5.D.	Tratamiento y descarga de aguas residuales		1.3	0.4				
5.E.	Otros (especificar)	NO	NO	NO				
	Elementos informativos							
	Tanque internacional	204.9	0.0	0.0				
	Aviación internacional	204.9	0.0	0.0				
	Navegación internacional	IE	IE	IE				
	Operaciones multilaterales	NO	NO	NO				
	Emisiones de CO ₂ de la biomasa	24,675.5						
	CO ₂ capturado	NO						
	Almacenamiento a largo plazo de C en sitios de disposición de residuos	46.7						
	N ₂ O indirecto			NE				
	CO ₂ indirecto	NE						

Nota: NA = no aplica; NE = no estimado; NO = no ocurre; IE = incluido en otro lugar.

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

Anexo 5. Otra información sectorial

Anexo 5.1. Sector Energía

No se incluyen anexos para este sector.

Anexo 5.2. Sector IPPU

No se incluyen anexos para este sector.

Anexo 5.3. Sector Agricultura

No se incluyen anexos para este sector.

Anexo 5.4. Sector UTCUTS

Tabla A.5.4.1.

Otros parámetros y variables utilizadas en el sector UTCUTS

<i>Constante</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidad de medida</i>	<i>Descripción</i>	<i>Fuente</i>
Fracción de carbono (conífera, latifoliado, Tierras Forestales)	0.47	ton d. m. ha ⁻¹ año ⁻¹	Valor por defecto, utilizado para bosques y plantaciones	Directrices del IPCC de 2006 (Cuadro 4.3, Cap. 4, Vol. 4)
Fracción de carbono (TC, PA, HU, AS, OT)	0.50	ton d. m. ha ⁻¹ año ⁻¹	Valor por defecto utilizado para usos distintos a bosques y plantaciones	Valor por defecto tomado del capítulo 4, volumen 4 de las Directrices del IPCC, 2006.
FEB de plantaciones de coníferas	1.20	-	Valor por defecto	Valor por defecto tomado del cuadro 4.5 Factores de conversión y expansión de biomasa por defecto para la zona climática mediterráneo, tropical seco, subtropical y mencionado en la tabla 12. Factores de expansión, relación biomasa aérea subterránea y fracción de carbono para plantaciones forestales, del Documento técnico: Factores de emisión para la construcción de niveles de referencia subnacional de emisiones y absorciones forestales (NRF/NREF) para REDD+ (http://www.snicc.marn.gob.gt/Content/PDF/Factores_de_Emisi%C3%B3n_web.pdf)

Constante	Valor	Unidad de medida	Descripción	Fuente
FEB de plantaciones latifoliadas	1.50	-	Valor por defecto	Valor por defecto tomado del cuadro 4.5 Factores de conversión y expansión de biomasa por defecto para la zona climática mediterráneo, tropical seco, subtropical de las Directrices del IPCC, 2006 y mencionado en la tabla 12. Factores de expansión, relación biomasa aérea subterránea y fracción de carbono para plantaciones forestales, del Documento técnico: Factores de emisión para la construcción de niveles de referencia subnacional de emisiones y absorciones forestales (NRF/NREF) para REDD+ (http://www.snicc.marn.gob.gt/Content/PDF/Factores_de_Emisi%C3%B3n_web.pdf)
Relación biomasa subterránea y aérea (R)	0.20	-	Factor que permite estimar la biomasa viva debajo del suelo a partir de la biomasa viva existente sobre el suelo. Utilizado para bosques y plantaciones	Tomada del Cuadro 4.4. Relación biomasa subterránea / biomasa aérea (R), para los bosques tropicales húmedos de hojas caducas con biomasa aérea <math> < 125 \text{ ton ha}^{-1}</math> de las directrices del IPCC, 2006 y mencionado en la a tabla 12. Factores de expansión, relación biomasa aérea subterránea y fracción de carbono para plantaciones forestales, del Documento técnico: Factores de emisión para la construcción de niveles de referencia subnacional de emisiones y absorciones forestales (NRF/NREF) para REDD+ (http://www.snicc.marn.gob.gt/Content/PDF/Factores_de_Emisi%C3%B3n_web.pdf)
Densidad de plantaciones coníferas	0.61	g cm^{-3}	Densidades básicas de las maderas de coníferas, se emplea en la conversión de valores en volumen a masa (peso)	Tomado de la Tabla 11. Densidad de la madera de acuerdo con los diferentes tipos de plantaciones, del Documento técnico: Factores de emisión para la construcción de niveles de referencia subnacional de emisiones y absorciones forestales (NRF/NREF) para REDD+ (http://www.snicc.marn.gob.gt/Content/PDF/Factores_de_Emisi%C3%B3n_web.pdf)
Densidad de plantaciones latifoliadas	0.62	g cm^{-3}	Densidades básicas de las maderas de latifoliadas, se emplea en la conversión de valores en volumen a masa (peso)	Tomado de la Tabla 11. Densidad de la madera de acuerdo con los diferentes tipos de plantaciones, del Documento técnico: Factores de emisión para la construcción de niveles de referencia subnacional de emisiones y absorciones forestales (NRF/NREF) para REDD+ (http://www.snicc.marn.gob.gt/Content/PDF/Factores_de_Emisi%C3%B3n_web.pdf)
Fracción de biomasa pérdida durante los incendios forestales (conífera, latifoliado)	0.50	-	Es una medida de la proporción del combustible que realmente se quema	Tomada del Cuadro 4.4. Valores de los factores de combustión, para los bosques tropicales primarios húmedo y los bosques tropicales secundarios avanzados, de las Directrices del IPCC, 2006.
Factores de emisión para la materia seca quemada (Gef) -CO2	1,580.00	g kg^{-1} de materia seca quemada	Factor que determina la cantidad de emisiones de este gas que se generan por la combustión de la biomasa en campo por los incendios forestales	Tomado del Cuadro 2.5. Factores de emisión para distintos tipos de quemados, seleccionando los valores correspondientes a Bosques Tropicales, de las Directrices del IPCC, 2006.

<i>Constante</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidad de medida</i>	<i>Descripción</i>	<i>Fuente</i>
Factores de emisión para la materia seca quemada (Gef) - CH4	6.80	g kg ⁻¹ de materia seca quemada	Factor que determina la cantidad de emisiones de este gas que se generan por la combustión de la biomasa en campo por los incendios forestales	Tomado del Cuadro 2.5. Factores de emisión para distintos tipos de quemados, seleccionando los valores correspondientes a Bosques Tropicales, de las Directrices del IPCC, 2006.
Factores de emisión para la materia seca quemada (Gef) - N2O	0.20	g kg ⁻¹ de materia seca quemada	Factor que determina la cantidad de emisiones de este gas que se generan por la combustión de la biomasa en campo por los incendios forestales	Tomado del Cuadro 2.5. Factores de emisión para distintos tipos de quemados, seleccionando los valores correspondientes a Bosques Tropicales, de las Directrices del IPCC, 2006.
Factores de emisión para la materia seca quemada (Gef) - Nox	1.60	g kg ⁻¹ de materia seca quemada	Factor que determina la cantidad de emisiones de este gas que se generan por la combustión de la biomasa en campo por los incendios forestales	Tomado del Cuadro 2.5. Factores de emisión para distintos tipos de quemados, seleccionando los valores correspondientes a Bosques Tropicales, de las Directrices del IPCC, 2006.
Factores de emisión para la materia seca quemada (Gef) - CO	104.00	g kg ⁻¹ de materia seca quemada	Factor que determina la cantidad de emisiones de este gas que se generan por la combustión de la biomasa en campo por los incendios forestales	Tomado del Cuadro 2.5. Factores de emisión para distintos tipos de quemados, seleccionando los valores correspondientes a Bosques Tropicales, de las Directrices del IPCC, 2006.
Factores de ajuste de para convertir los datos estadísticos de la FAO sobre cosecha de madera en remociones de madera venable incluyendo la corteza	1.15		Factor de ajuste de expansión de volúmenes venables sin corteza	Tomado del Ecuación 2.13. y 2.14 Factores de ajuste de para convertir los datos estadísticos de la FAO sobre cosecha de madera en remociones de madera venable incluyendo la corteza de las Directrices del IPCC, 2006.

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

Tabla A.5.4.2.

Matriz de uso y cambio de uso de la tierra 1990

Uso final	Categoría final	Estrato final	TF						TC			PA	HU	AS	OT	Subtotal usos finales
			Bosque				Plantaciones coníferas	Plantaciones latifoliadas	Cultivos anuales	Cultivos permanentes	SAF					
			Estrato I	Estrato II	Estrato III	Estrato IV										
TF	Bosque	Estrato I	639,439.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,639,439.0
TF	Bosque	Estrato II	-	1,115,810.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,115,810.4
TF	Bosque	Estrato III	-	-	780,711.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	780,711.1
TF	Bosque	Estrato IV	-	-	-	405,926.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	405,926.3
TF	Plantaciones coníferas	Plantaciones coníferas	-	-	-	-	40,963.7	-	-	-	-	-	-	-	-	40,963.7
TF	Plantaciones latifoliadas	Plantaciones latifoliadas	-	-	-	-	-	28,803.6	-	-	-	-	-	-	-	28,803.6
TC	Cultivos anuales	Cultivos anuales	-	-	-	-	-	-	1,331,104.2	-	-	-	-	-	-	1,331,104.2
TC	Cultivos permanentes	Cultivos permanentes	-	-	-	-	-	-	-	159,869.6	-	-	-	-	-	159,869.6
TC	SAF	SAF	-	-	-	-	-	-	-	-	468,587.1	-	-	-	-	468,587.1
PA	PA	PA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,492,044.4	-	-	-	4,492,044.4
HU	HU	HU	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	236,391.5	-	-	236,391.5
AS	AS	AS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	136,025.0	-	136,025.0
OT	OT	OT	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	53,224.1	53,224.1
Subtotal usos iniciales			1,639,439.0	1,115,810.4	780,711.1	405,926.3	40,963.7	28,803.6	1,331,104.2	159,869.6	468,587.1	4,492,044.4	236,391.5	136,025.0	53,224.1	10,888,900.0

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en el GIMBUT.

Tabla A.5.4.3.

Matriz de uso y cambio de uso de la tierra 1991

Uso final	Categoría final	Estrato final	TF						TC			PA	HU	AS	OT	Subtotal usos finales
			Bosque				Plantaciones coníferas	Plantaciones latifoliadas	Cultivos anuales	Cultivos permanentes	SAF					
			Estrato I	Estrato II	Estrato III	Estrato IV										
TF	Bosque	Estrato I	1,624,430.6	-	-	-	-	-	563.8	-	141.0	8,034.9	-	-	-	1,633,170.2
TF	Bosque	Estrato II	-	1,102,700.5	-	-	-	-	927.8	-	-	8,350.6	-	-	-	1,111,978.9
TF	Bosque	Estrato III	-	-	775,076.2	-	-	-	561.5	-	-	3,509.1	-	-	-	779,146.7
TF	Bosque	Estrato IV	-	-	-	404,260.7	-	-	289.3	-	-	1,446.6	-	-	-	405,996.7
TF	Plantaciones coníferas	Plantaciones coníferas	-	-	-	-	40,678.1	-	44.9	-	29.9	164.6	-	-	-	40,917.6
TF	Plantaciones latifoliadas	Plantaciones latifoliadas	-	-	-	-	-	28,200.6	83.8	-	-	335.2	-	-	-	28,619.6
TC	Cultivos anuales	Cultivos anuales	333.6	637.0	364.0	212.3	-	30.3	1,324,531.9	150.6	320.0	5,157.7	18.8	-	18.8	1,331,775.0
TC	Cultivos permanentes	Cultivos permanentes	17.8	83.2	41.6	17.8	5.9	-	92.2	159,515.3	48.0	524.0	-	3.7	3.7	160,353.3
TC	SAF	SAF	101.0	353.5	151.5	202.0	50.5	-	626.9	125.4	467,614.5	783.6	-	-	-	470,008.9
PA	PA	PA	14,431.5	11,797.2	5,039.6	1,145.4	229.1	572.7	3,198.7	71.1	426.5	4,462,946.0	497.6	71.1	710.8	4,501,137.2
HU	HU	HU	74.6	74.6	-	-	-	-	92.6	-	-	231.5	235,804.0	46.3	138.9	236,462.5
AS	AS	AS	11.7	11.7	-	11.7	-	-	43.4	7.2	7.2	86.8	-	135,904.0	-	136,083.6
OT	OT	OT	38.2	152.7	38.2	76.4	-	-	47.4	-	-	473.9	71.1	-	52,351.9	53,249.8
Subtotal usos iniciales			1,639,439.0	1,115,810.4	780,711.1	405,926.3	40,963.7	28,803.6	1,331,104.2	159,869.6	468,587.1	4,492,044.4	236,391.5	136,025.0	53,224.1	10,888,900.0

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en el GIMBUT.

Tabla A.5.4.4.

Matriz de uso y cambio de uso de la tierra 1992

Uso final	Categoría final	Estrato final	TF						TC			PA	HU	AS	OT	Subtotal usos finales
			Bosque				Plantaciones coníferas	Plantaciones latifoliadas	Cultivos anuales	Cultivos permanentes	SAF					
			Estrato I	Estrato II	Estrato III	Estrato IV										
TF	Bosque	Estrato I	1,609,422.1	-	-	-	-	-	1,127.7	-	281.9	16,069.7	-	-	-	1,626,901.4
TF	Bosque	Estrato II	-	1,089,590.5	-	-	-	-	1,855.7	-	-	16,701.1	-	-	-	1,108,147.3
TF	Bosque	Estrato III	-	-	769,441.3	-	-	-	1,122.9	-	-	7,018.2	-	-	-	777,582.3
TF	Bosque	Estrato IV	-	-	-	402,595.2	-	-	578.7	-	-	2,893.3	-	-	-	406,067.1
TF	Plantaciones coníferas	Plantaciones coníferas	-	-	-	-	40,392.6	-	89.8	-	59.9	329.2	-	-	-	40,871.5
TF	Plantaciones latifoliadas	Plantaciones latifoliadas	-	-	-	-	-	27,597.6	167.6	-	-	670.4	-	-	-	28,435.6
TC	Cultivos anuales	Cultivos anuales	667.3	1,273.9	728.0	424.6	-	60.7	1,317,959.6	301.2	640.0	10,315.4	37.6	-	37.6	1,332,445.9
TC	Cultivos permanentes	Cultivos permanentes	35.7	166.5	83.2	35.7	11.9	-	184.5	159,161.0	95.9	1,047.9	-	7.4	7.4	160,837.1
TC	SAF	SAF	202.0	707.1	303.0	404.0	101.0	-	1,253.7	250.7	466,641.9	1,567.2	-	-	-	471,430.8
PA	PA	PA	28,863.1	23,594.4	10,079.2	2,290.7	458.1	1,145.4	6,397.3	142.2	853.0	4,433,847.6	995.1	142.2	1,421.6	4,510,229.9
HU	HU	HU	149.2	149.2	-	-	-	-	185.2	-	-	463.0	235,216.5	92.6	277.8	236,533.5
AS	AS	AS	23.3	23.3	-	23.3	-	-	86.8	14.5	14.5	173.6	-	135,782.9	-	136,142.1
OT	OT	OT	76.4	305.5	76.4	152.7	-	-	94.8	-	-	947.9	142.2	-	51,479.7	53,275.5
Subtotal usos iniciales			1,639,439.0	1,115,810.4	780,711.1	405,926.3	40,963.7	28,803.6	1,331,104.2	159,869.6	468,587.1	4,492,044.4	236,391.5	136,025.0	53,224.1	10,888,900.0

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en el GIMBUT.

Tabla A.5.4.5.

Matriz de uso y cambio de uso de la tierra 1993

Uso final	Categoría final	Estrato final	TF						TC			PA	HU	AS	OT	Subtotal usos finales
			Bosque				Plantaciones coníferas	Plantaciones latifoliadas	Cultivos anuales	Cultivos permanentes	SAF					
			Estrato I	Estrato II	Estrato III	Estrato IV										
TF	Bosque	Estrato I	1,594,413.6	-	-	-	-	-	1,691.5	-	422.9	24,104.6	-	-	-	1,620,632.6
TF	Bosque	Estrato II	-	1,076,480.6	-	-	-	-	2,783.5	-	-	25,051.7	-	-	-	1,104,315.8
TF	Bosque	Estrato III	-	-	763,806.4	-	-	-	1,684.4	-	-	10,527.2	-	-	-	776,018.0
TF	Bosque	Estrato IV	-	-	-	400,929.6	-	-	868.0	-	-	4,339.9	-	-	-	406,137.5
TF	Plantaciones coníferas	Plantaciones coníferas	-	-	-	-	40,107.1	-	134.7	-	89.8	493.9	-	-	-	40,825.4
TF	Plantaciones latifoliadas	Plantaciones latifoliadas	-	-	-	-	-	26,994.6	251.4	-	-	1,005.7	-	-	-	28,251.6
TC	Cultivos anuales	Cultivos anuales	1,000.9	1,910.9	1,091.9	637.0	-	91.0	1,311,387.3	451.8	960.0	15,473.0	56.5	-	56.5	1,333,116.7
TC	Cultivos permanentes	Cultivos permanentes	53.5	249.7	124.9	53.5	17.8	-	276.7	158,806.7	143.9	1,571.9	-	11.1	11.1	161,320.9
TC	SAF	SAF	303.0	1,060.6	454.5	606.1	151.5	-	1,880.6	376.1	465,669.3	2,350.8	-	-	-	472,852.6
PA	PA	PA	43,294.6	35,391.6	15,118.8	3,436.1	687.2	1,718.0	9,596.0	213.2	1,279.5	4,404,749.2	1,492.7	213.2	2,132.4	4,519,322.6
HU	HU	HU	223.8	223.8	-	-	-	-	277.8	-	-	694.5	234,629.1	138.9	416.7	236,604.5
AS	AS	AS	35.0	35.0	-	35.0	-	-	130.2	21.7	21.7	260.3	-	135,661.8	-	136,200.6
OT	OT	OT	114.6	458.2	114.6	229.1	-	-	142.2	-	-	1,421.8	213.3	-	50,607.4	53,301.2
Subtotal usos iniciales			1,639,439.0	1,115,810.4	780,711.1	405,926.3	40,963.7	28,803.6	1,331,104.2	159,869.6	468,587.1	4,492,044.4	236,391.5	136,025.0	53,224.1	10,888,900.0

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en el GIMBUT.

Tabla A.5.4.6.

Matriz de uso y cambio de uso de la tierra 1994

Uso final	Categoría final	Estrato final	TF						TC			PA	HU	AS	OT	Subtotal usos finales
			Bosque				Plantaciones coníferas	Plantaciones latifoliadas	Cultivos anuales	Cultivos permanentes	SAF					
			Estrato I	Estrato II	Estrato III	Estrato IV										
TF	Bosque	Estrato I	1,579,405.2	-	-	-	-	-	2,255.4	-	563.8	32,139.4	-	-	-	1,614,363.8
TF	Bosque	Estrato II	-	1,063,370.7	-	-	-	-	3,711.4	-	-	33,402.3	-	-	-	1,100,484.3
TF	Bosque	Estrato III	-	-	758,171.5	-	-	-	2,245.8	-	-	14,036.3	-	-	-	774,453.6
TF	Bosque	Estrato IV	-	-	-	399,264.1	-	-	1,157.3	-	-	5,786.5	-	-	-	406,207.9
TF	Plantaciones coníferas	Plantaciones coníferas	-	-	-	-	39,821.6	-	179.6	-	119.7	658.5	-	-	-	40,779.3
TF	Plantaciones latifoliadas	Plantaciones latifoliadas	-	-	-	-	-	26,391.6	335.2	-	-	1,340.9	-	-	-	28,067.7
TC	Cultivos anuales	Cultivos anuales	1,334.6	2,547.8	1,455.9	849.3	-	121.3	1,304,814.9	602.4	1,280.0	20,630.7	75.3	-	75.3	1,333,787.5
TC	Cultivos permanentes	Cultivos permanentes	71.3	333.0	166.5	71.3	23.8	-	369.0	158,452.5	191.9	2,095.9	-	14.8	14.8	161,804.7
TC	SAF	SAF	404.0	1,414.1	606.1	808.1	202.0	-	2,507.5	501.5	464,696.7	3,134.4	-	-	-	474,274.4
PA	PA	PA	57,726.1	47,188.8	20,158.3	4,581.4	916.3	2,290.7	12,794.6	284.3	1,705.9	4,375,650.8	1,990.3	284.3	2,843.2	4,528,415.3
HU	HU	HU	298.4	298.4	-	-	-	-	370.4	-	-	925.9	234,041.6	185.2	555.6	236,675.4
AS	AS	AS	46.6	46.6	-	46.6	-	-	173.6	28.9	28.9	347.1	-	135,540.8	-	136,259.1
OT	OT	OT	152.7	611.0	152.7	305.5	-	-	189.6	-	-	1,895.8	284.4	-	49,735.2	53,326.9
Subtotal usos iniciales			1,639,439.0	1,115,810.4	780,711.1	405,926.3	40,963.7	28,803.6	1,331,104.2	159,869.6	468,587.1	4,492,044.4	236,391.5	136,025.0	53,224.1	10,888,900.0

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en el GIMBUT.

Tabla A.5.4.7.

Matriz de uso y cambio de uso de la tierra 1995

Uso final	Categoría final	Estrato final	TF						TC			PA	HU	AS	OT	Subtotal usos finales
			Bosque				Plantaciones coníferas	Plantaciones latifoliadas	Cultivos anuales	Cultivos permanentes	SAF					
			Estrato I	Estrato II	Estrato III	Estrato IV										
TF	Bosque	Estrato I	1,564,396.7	-	-	-	-	-	2,819.2	-	704.8	40,174.3	-	-	-	1,608,095.0
TF	Bosque	Estrato II	-	1,050,260.7	-	-	-	-	4,639.2	-	-	41,752.8	-	-	-	1,096,652.8
TF	Bosque	Estrato III	-	-	752,536.7	-	-	-	2,807.3	-	-	17,545.4	-	-	-	772,889.3
TF	Bosque	Estrato IV	-	-	-	397,598.5	-	-	1,446.6	-	-	7,233.2	-	-	-	406,278.3
TF	Plantaciones coníferas	Plantaciones coníferas	-	-	-	-	39,536.1	-	224.5	-	149.7	823.1	-	-	-	40,733.3
TF	Plantaciones latifoliadas	Plantaciones latifoliadas	-	-	-	-	-	25,788.5	419.0	-	-	1,676.1	-	-	-	27,883.7
TC	Cultivos anuales	Cultivos anuales	1,668.2	3,184.8	1,819.9	1,061.6	-	151.7	1,298,242.6	752.9	1,600.0	25,788.4	94.1	-	94.1	1,334,458.3
TC	Cultivos permanentes	Cultivos permanentes	89.2	416.2	208.1	89.2	29.7	-	461.2	158,098.2	239.8	2,619.9	-	18.4	18.4	162,288.4
TC	SAF	SAF	505.1	1,767.7	757.6	1,010.1	252.5	-	3,134.4	626.9	463,724.2	3,918.0	-	-	-	475,696.3
PA	PA	PA	72,157.7	58,986.0	25,197.9	5,726.8	1,145.4	2,863.4	15,993.3	355.4	2,132.4	4,346,552.4	2,487.8	355.4	3,554.1	4,537,508.0
HU	HU	HU	373.0	373.0	-	-	-	-	463.0	-	-	1,157.4	233,454.1	231.5	694.5	236,746.4
AS	AS	AS	58.3	58.3	-	58.3	-	-	216.9	36.2	36.2	433.9	-	135,419.7	-	136,317.6
OT	OT	OT	190.9	763.7	190.9	381.8	-	-	237.0	-	-	2,369.7	355.5	-	48,863.0	53,352.6
Subtotal usos iniciales			1,639,439.0	1,115,810.4	780,711.1	405,926.3	40,963.7	28,803.6	1,331,104.2	159,869.6	468,587.1	4,492,044.4	236,391.5	136,025.0	53,224.1	10,888,900.0

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en el GIMBUT.

Tabla A.5.4.8.

Matriz de uso y cambio de uso de la tierra 1996

Uso final	Categoría final	Estrato final	TF						TC			PA	HU	AS	OT	Subtotal usos finales
			Bosque				Plantaciones coníferas	Plantaciones latifoliadas	Cultivos anuales	Cultivos permanentes	SAF					
			Estrato I	Estrato II	Estrato III	Estrato IV										
TF	Bosque	Estrato I	1,549,388.3	-	-	-	-	-	3,383.1	-	845.8	48,209.1	-	-	-	1,601,826.2
TF	Bosque	Estrato II	-	1,037,150.8	-	-	-	-	5,567.0	-	-	50,103.4	-	-	-	1,092,821.2
TF	Bosque	Estrato III	-	-	746,901.8	-	-	-	3,368.7	-	-	21,054.5	-	-	-	771,324.9
TF	Bosque	Estrato IV	-	-	-	395,932.9	-	-	1,736.0	-	-	8,679.8	-	-	-	406,348.7
TF	Plantaciones coníferas	Plantaciones coníferas	-	-	-	-	39,250.5	-	269.4	-	179.6	987.7	-	-	-	40,687.2
TF	Plantaciones latifoliadas	Plantaciones latifoliadas	-	-	-	-	-	25,185.5	502.8	-	-	2,011.3	-	-	-	27,699.7
TC	Cultivos anuales	Cultivos anuales	2,001.9	3,821.7	2,183.9	1,273.9	-	182.0	1,291,670.3	903.5	1,920.0	30,946.1	112.9	-	112.9	1,335,129.1
TC	Cultivos permanentes	Cultivos permanentes	107.0	499.4	249.7	107.0	35.7	-	553.5	157,743.9	287.8	3,143.8	-	22.1	22.1	162,772.2
TC	SAF	SAF	606.1	2,121.2	909.1	1,212.1	303.0	-	3,761.2	752.2	462,751.6	4,701.5	-	-	-	477,118.1
PA	PA	PA	86,589.2	70,783.2	30,237.5	6,872.2	1,374.4	3,436.1	19,191.9	426.5	2,558.9	4,317,454.0	2,985.4	426.5	4,264.9	4,546,600.7
HU	HU	HU	447.6	447.6	-	-	-	-	555.6	-	-	1,388.9	232,866.6	277.8	833.3	236,817.4
AS	AS	AS	69.9	69.9	-	69.9	-	-	260.3	43.4	43.4	520.7	-	135,298.6	-	136,376.1
OT	OT	OT	229.1	916.4	229.1	458.2	-	-	284.4	-	-	2,843.7	426.6	-	47,990.8	53,378.3
Subtotal usos iniciales			1,639,439.0	1,115,810.4	780,711.1	405,926.3	40,963.7	28,803.6	1,331,104.2	159,869.6	468,587.1	4,492,044.4	236,391.5	136,025.0	53,224.1	10,888,900.0

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en el GIMBUT.

Tabla A.5.4.9.

Matriz de uso y cambio de uso de la tierra 1997

Uso final	Categoría final	Estrato final	TF						TC			PA	HU	AS	OT	Subtotal usos finales
			Bosque				Plantaciones coníferas	Plantaciones latifoliadas	Cultivos anuales	Cultivos permanentes	SAF					
			Estrato I	Estrato II	Estrato III	Estrato IV										
TF	Bosque	Estrato I	1,534,379.8	-	-	-	-	-	3,946.9	-	986.7	56,244.0	-	-	-	1,595,557.4
TF	Bosque	Estrato II	-	1,024,040.9	-	-	-	-	6,494.9	-	-	58,454.0	-	-	-	1,088,989.7
TF	Bosque	Estrato III	-	-	741,266.9	-	-	-	3,930.2	-	-	24,563.5	-	-	-	769,760.6
TF	Bosque	Estrato IV	-	-	-	394,267.4	-	-	2,025.3	-	-	10,126.4	-	-	-	406,419.1
TF	Plantaciones coníferas	Plantaciones coníferas	-	-	-	-	38,965.0	-	314.3	-	209.5	1,152.3	-	-	-	40,641.1
TF	Plantaciones latifoliadas	Plantaciones latifoliadas	-	-	-	-	-	24,582.5	586.6	-	-	2,346.5	-	-	-	27,515.7
TC	Cultivos anuales	Cultivos anuales	2,335.5	4,458.7	2,547.8	1,486.2	-	212.3	1,285,098.0	1,054.1	2,240.0	36,103.8	131.8	-	131.8	1,335,800.0
TC	Cultivos permanentes	Cultivos permanentes	124.9	582.7	291.3	124.9	41.6	-	645.7	157,389.6	335.8	3,667.8	-	25.8	25.8	163,256.0
TC	SAF	SAF	707.1	2,474.8	1,060.6	1,414.1	353.5	-	4,388.1	877.6	461,779.0	5,485.1	-	-	-	478,540.0
PA	PA	PA	101,020.7	82,580.4	35,277.1	8,017.5	1,603.5	4,008.8	22,390.6	497.6	2,985.4	4,288,355.6	3,483.0	497.6	4,975.7	4,555,693.4
HU	HU	HU	522.2	522.2	-	-	-	-	648.2	-	-	1,620.4	232,279.1	324.1	972.2	236,888.4
AS	AS	AS	81.6	81.6	-	81.6	-	-	303.7	50.6	50.6	607.4	-	135,177.6	-	136,434.6
OT	OT	OT	267.3	1,069.2	267.3	534.6	-	-	331.8	-	-	3,317.6	497.6	-	47,118.6	53,403.9
Subtotal usos iniciales			1,639,439.0	1,115,810.4	780,711.1	405,926.3	40,963.7	28,803.6	1,331,104.2	159,869.6	468,587.1	4,492,044.4	236,391.5	136,025.0	53,224.1	10,888,900.0

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en el GIMBUT.

Tabla A.5.4.10.

Matriz de uso y cambio de uso de la tierra 1998

Uso final	Categoría final	Estrato final	TF						TC			PA	HU	AS	OT	Subtotal usos finales
			Bosque				Plantaciones coníferas	Plantaciones latifoliadas	Cultivos anuales	Cultivos permanentes	SAF					
			Estrato I	Estrato II	Estrato III	Estrato IV										
TF	Bosque	Estrato I	1,519,371.3	-	-	-	-	-	4,510.8	-	1,127.7	64,278.8	-	-	-	1,589,288.6
TF	Bosque	Estrato II	-	1,010,930.9	-	-	-	-	7,422.7	-	-	66,804.5	-	-	-	1,085,158.2
TF	Bosque	Estrato III	-	-	735,632.0	-	-	-	4,491.6	-	-	28,072.6	-	-	-	768,196.2
TF	Bosque	Estrato IV	-	-	-	392,601.8	-	-	2,314.6	-	-	11,573.1	-	-	-	406,489.5
TF	Plantaciones coníferas	Plantaciones coníferas	-	-	-	-	38,679.5	-	359.2	-	239.4	1,316.9	-	-	-	40,595.0
TF	Plantaciones latifoliadas	Plantaciones latifoliadas	-	-	-	-	-	23,979.5	670.4	-	-	2,681.8	-	-	-	27,331.7
TC	Cultivos anuales	Cultivos anuales	2,669.2	5,095.7	2,911.8	1,698.6	-	242.7	1,278,525.6	1,204.7	2,560.0	41,261.4	150.6	-	150.6	1,336,470.8
TC	Cultivos permanentes	Cultivos permanentes	142.7	665.9	333.0	142.7	47.6	-	738.0	157,035.4	383.8	4,191.8	-	29.5	29.5	163,739.8
TC	SAF	SAF	808.1	2,828.3	1,212.1	1,616.2	404.0	-	5,015.0	1,003.0	460,806.4	6,268.7	-	-	-	479,961.8
PA	PA	PA	115,452.3	94,377.7	40,316.7	9,162.9	1,832.6	4,581.4	25,589.2	568.6	3,411.9	4,259,257.1	3,980.5	568.6	5,686.5	4,564,786.1
HU	HU	HU	596.8	596.8	-	-	-	-	740.8	-	-	1,851.9	231,691.6	370.4	1,111.1	236,959.4
AS	AS	AS	93.2	93.2	-	93.2	-	-	347.1	57.9	57.9	694.2	-	135,056.5	-	136,493.2
OT	OT	OT	305.5	1,221.9	305.5	611.0	-	-	379.2	-	-	3,791.6	568.7	-	46,246.4	53,429.6
Subtotal usos iniciales			1,639,439.0	1,115,810.4	780,711.1	405,926.3	40,963.7	28,803.6	1,331,104.2	159,869.6	468,587.1	4,492,044.4	236,391.5	136,025.0	53,224.1	10,888,900.0

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en el GIMBUT.

Tabla A.5.4.11.

Matriz de uso y cambio de uso de la tierra 1999

Uso final	Categoría final	Estrato final	TF						TC			PA	HU	AS	OT	Subtotal usos finales
			Bosque				Plantaciones coníferas	Plantaciones latifoliadas	Cultivos anuales	Cultivos permanentes	SAF					
			Estrato I	Estrato II	Estrato III	Estrato IV										
TF	Bosque	Estrato I	1,504,362.9	-	-	-	-	-	5,074.6	-	1,268.7	72,313.7	-	-	-	1,583,019.8
TF	Bosque	Estrato II	-	997,821.0	-	-	-	-	8,350.6	-	-	75,155.1	-	-	-	1,081,326.7
TF	Bosque	Estrato III	-	-	729,997.1	-	-	-	5,053.1	-	-	31,581.7	-	-	-	766,631.9
TF	Bosque	Estrato IV	-	-	-	390,936.3	-	-	2,603.9	-	-	13,019.7	-	-	-	406,559.9
TF	Plantaciones coníferas	Plantaciones coníferas	-	-	-	-	38,394.0	-	404.1	-	269.4	1,481.6	-	-	-	40,548.9
TF	Plantaciones latifoliadas	Plantaciones latifoliadas	-	-	-	-	-	23,376.5	754.2	-	-	3,017.0	-	-	-	27,147.7
TC	Cultivos anuales	Cultivos anuales	3,002.8	5,732.6	3,275.8	1,910.9	-	273.0	1,271,953.3	1,355.3	2,880.0	46,419.1	169.4	-	169.4	1,337,141.6
TC	Cultivos permanentes	Cultivos permanentes	160.5	749.2	374.6	160.5	53.5	-	830.2	156,681.1	431.7	4,715.7	-	33.2	33.2	164,223.5
TC	SAF	SAF	909.1	3,181.8	1,363.6	1,818.2	454.5	-	5,641.9	1,128.4	459,833.8	7,052.3	-	-	-	481,383.7
PA	PA	PA	129,883.8	106,174.9	45,356.3	10,308.2	2,061.6	5,154.1	28,787.9	639.7	3,838.4	4,230,158.7	4,478.1	639.7	6,397.3	4,573,878.8
HU	HU	HU	671.4	671.4	-	-	-	-	833.3	-	-	2,083.4	231,104.2	416.7	1,250.0	237,030.4
AS	AS	AS	104.9	104.9	-	104.9	-	-	390.5	65.1	65.1	781.0	-	134,935.4	-	136,551.7
OT	OT	OT	343.7	1,374.6	343.7	687.3	-	-	426.6	-	-	4,265.5	639.8	-	45,374.1	53,455.3
Subtotal usos iniciales			1,639,439.0	1,115,810.4	780,711.1	405,926.3	40,963.7	28,803.6	1,331,104.2	159,869.6	468,587.1	4,492,044.4	236,391.5	136,025.0	53,224.1	10,888,900.0

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en el GIMBUT.

Tabla A.5.4.12.

Matriz de uso y cambio de uso de la tierra 2000

Uso final	Categoría final	Estrato final	TF						TC			PA	HU	AS	OT	Subtotal usos finales
			Bosque				Plantaciones coníferas	Plantaciones latifoliadas	Cultivos anuales	Cultivos permanentes	SAF					
			Estrato I	Estrato II	Estrato III	Estrato IV										
TF	Bosque	Estrato I	1,489,354.4	-	-	-	-	-	5,638.5	-	1,409.6	80,348.5	-	-	-	1,576,751.0
TF	Bosque	Estrato II	-	984,711.1	-	-	-	-	9,278.4	-	-	83,505.7	-	-	-	1,077,495.2
TF	Bosque	Estrato III	-	-	724,362.3	-	-	-	5,614.5	-	-	35,090.8	-	-	-	765,067.5
TF	Bosque	Estrato IV	-	-	-	389,270.7	-	-	2,893.3	-	-	14,466.3	-	-	-	406,630.3
TF	Plantaciones coníferas	Plantaciones coníferas	-	-	-	-	38,108.4	-	449.0	-	299.3	1,646.2	-	-	-	40,502.9
TF	Plantaciones latifoliadas	Plantaciones latifoliadas	-	-	-	-	-	22,773.5	838.0	-	-	3,352.2	-	-	-	26,963.7
TC	Cultivos anuales	Cultivos anuales	3,336.4	6,369.6	3,639.8	2,123.2	-	303.3	1,265,381.0	1,505.9	3,200.0	51,576.8	188.2	-	188.2	1,337,812.4
TC	Cultivos permanentes	Cultivos permanentes	178.4	832.4	416.2	178.4	59.5	-	922.5	156,326.8	479.7	5,239.7	-	36.9	36.9	164,707.3
TC	SAF	SAF	1,010.1	3,535.4	1,515.2	2,020.2	505.1	-	6,268.7	1,253.7	458,861.2	7,835.9	-	-	-	482,805.5
PA	PA	PA	144,315.3	117,972.1	50,395.8	11,453.6	2,290.7	5,726.8	31,986.6	710.8	4,264.9	4,201,060.3	4,975.7	710.8	7,108.1	4,582,971.6
HU	HU	HU	746.0	746.0	-	-	-	-	925.9	-	-	2,314.9	230,516.7	463.0	1,388.9	237,101.3
AS	AS	AS	116.5	116.5	-	116.5	-	-	433.9	72.3	72.3	867.8	-	134,814.4	-	136,610.2
OT	OT	OT	381.8	1,527.4	381.8	763.7	-	-	473.9	-	-	4,739.5	710.9	-	44,501.9	53,481.0
Subtotal usos iniciales			1,639,439.0	1,115,810.4	780,711.1	405,926.3	40,963.7	28,803.6	1,331,104.2	159,869.6	468,587.1	4,492,044.4	236,391.5	136,025.0	53,224.1	10,888,900.0

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en el GIMBUT.

Tabla A.5.4.13.

Matriz de uso y cambio de uso de la tierra 2001

Uso final	Categoría final	Estrato final	TF						TC			PA	HU	AS	OT	Subtotal usos finales
			Bosque				Plantaciones coníferas	Plantaciones latifoliadas	Cultivos anuales	Cultivos permanentes	SAF					
			Estrato I	Estrato II	Estrato III	Estrato IV										
TF	Bosque	Estrato I	1,474,345.9	-	-	-	-	-	6,202.3	-	1,550.6	88,383.4	-	-	-	1,570,482.2
TF	Bosque	Estrato II	-	971,601.1	-	-	-	-	10,206.2	-	-	91,856.2	-	-	-	1,073,663.6
TF	Bosque	Estrato III	-	-	718,727.4	-	-	-	6,176.0	-	-	38,599.8	-	-	-	763,503.2
TF	Bosque	Estrato IV	-	-	-	387,605.2	-	-	3,182.6	-	-	15,913.0	-	-	-	406,700.7
TF	Plantaciones coníferas	Plantaciones coníferas	-	-	-	-	37,822.9	-	493.9	-	329.2	1,810.8	-	-	-	40,456.8
TF	Plantaciones latifoliadas	Plantaciones latifoliadas	-	-	-	-	-	22,170.5	921.9	-	-	3,687.4	-	-	-	26,779.8
TC	Cultivos anuales	Cultivos anuales	3,670.1	7,006.5	4,003.7	2,335.5	-	333.6	1,258,808.7	1,656.5	3,520.0	56,734.5	207.1	-	207.1	1,338,483.3
TC	Cultivos permanentes	Cultivos permanentes	196.2	915.6	457.8	196.2	65.4	-	1,014.7	155,972.5	527.7	5,763.7	-	40.6	40.6	165,191.1
TC	SAF	SAF	1,111.1	3,888.9	1,666.7	2,222.2	555.6	-	6,895.6	1,379.1	457,888.7	8,619.5	-	-	-	484,227.4
PA	PA	PA	158,746.9	129,769.3	55,435.4	12,599.0	2,519.8	6,299.5	35,185.2	781.9	4,691.4	4,171,961.9	5,473.3	781.9	7,818.9	4,592,064.3
HU	HU	HU	820.6	820.6	-	-	-	-	1,018.5	-	-	2,546.3	229,929.2	509.3	1,527.8	237,172.3
AS	AS	AS	128.2	128.2	-	128.2	-	-	477.3	79.5	79.5	954.5	-	134,693.3	-	136,668.7
OT	OT	OT	420.0	1,680.1	420.0	840.1	-	-	521.3	-	-	5,213.4	782.0	-	43,629.7	53,506.7
Subtotal usos iniciales			1,639,439.0	1,115,810.4	780,711.1	405,926.3	40,963.7	28,803.6	1,331,104.2	159,869.6	468,587.1	4,492,044.4	236,391.5	136,025.0	53,224.1	10,888,900.0

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en el GIMBUT.

Tabla A.5.4.14.

Matriz de uso y cambio de uso de la tierra 2002

Uso final	Categoría final	Estrato final	TF						TC			PA	HU	AS	OT	Subtotal usos finales
			Bosque				Plantaciones coníferas	Plantaciones latifoliadas	Cultivos anuales	Cultivos permanentes	SAF					
			Estrato I	Estrato II	Estrato III	Estrato IV										
TF	Bosque	Estrato I	1,459,337.5	-	-	-	-	-	6,766.2	-	1,691.5	96,418.2	-	-	-	1,564,213.4
TF	Bosque	Estrato II	-	958,491.2	-	-	-	-	11,134.1	-	-	100,206.8	-	-	-	1,069,832.1
TF	Bosque	Estrato III	-	-	713,092.5	-	-	-	6,737.4	-	-	42,108.9	-	-	-	761,938.8
TF	Bosque	Estrato IV	-	-	-	385,939.6	-	-	3,471.9	-	-	17,359.6	-	-	-	406,771.1
TF	Plantaciones coníferas	Plantaciones coníferas	-	-	-	-	37,537.4	-	538.7	-	359.2	1,975.4	-	-	-	40,410.7
TF	Plantaciones latifoliadas	Plantaciones latifoliadas	-	-	-	-	-	21,567.5	1,005.7	-	-	4,022.6	-	-	-	26,595.8
TC	Cultivos anuales	Cultivos anuales	4,003.7	7,643.5	4,367.7	2,547.8	-	364.0	1,252,236.3	1,807.1	3,840.0	61,892.2	225.9	-	225.9	1,339,154.1
TC	Cultivos permanentes	Cultivos permanentes	214.0	998.9	499.4	214.0	71.3	-	1,107.0	155,618.3	575.6	6,287.7	-	44.3	44.3	165,674.9
TC	SAF	SAF	1,212.1	4,242.4	1,818.2	2,424.3	606.1	-	7,522.5	1,504.5	456,916.1	9,403.1	-	-	-	485,649.2
PA	PA	PA	173,178.4	141,566.5	60,475.0	13,744.3	2,748.9	6,872.2	38,383.9	853.0	5,117.8	4,142,863.5	5,970.8	853.0	8,529.7	4,601,157.0
HU	HU	HU	895.2	895.2	-	-	-	-	1,111.1	-	-	2,777.8	229,341.7	555.6	1,666.7	237,243.3
AS	AS	AS	139.8	139.8	-	139.8	-	-	520.7	86.8	86.8	1,041.3	-	134,572.2	-	136,727.2
OT	OT	OT	458.2	1,832.9	458.2	916.4	-	-	568.7	-	-	5,687.4	853.1	-	42,757.5	53,532.4
Subtotal usos iniciales			1,639,439.0	1,115,810.4	780,711.1	405,926.3	40,963.7	28,803.6	1,331,104.2	159,869.6	468,587.1	4,492,044.4	236,391.5	136,025.0	53,224.1	10,888,900.0

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en el GIMBUT.

Tabla A.5.4.15.

Matriz de uso y cambio de uso de la tierra 2003

Uso final	Categoría final	Estrato final	TF						TC			PA	HU	AS	OT	Subtotal usos finales
			Bosque				Plantaciones coníferas	Plantaciones latifoliadas	Cultivos anuales	Cultivos permanentes	SAF					
			Estrato I	Estrato II	Estrato III	Estrato IV										
TF	Bosque	Estrato I	1,444,329.0	-	-	-	-	-	7,330.0	-	1,832.5	104,453.1	-	-	-	1,557,944.6
TF	Bosque	Estrato II	-	945,381.3	-	-	-	-	12,061.9	-	-	108,557.4	-	-	-	1,066,000.6
TF	Bosque	Estrato III	-	-	707,457.6	-	-	-	7,298.9	-	-	45,618.0	-	-	-	760,374.5
TF	Bosque	Estrato IV	-	-	-	384,274.0	-	-	3,761.2	-	-	18,806.2	-	-	-	406,841.5
TF	Plantaciones coníferas	Plantaciones coníferas	-	-	-	-	37,251.9	-	583.6	-	389.1	2,140.0	-	-	-	40,364.6
TF	Plantaciones latifoliadas	Plantaciones latifoliadas	-	-	-	-	-	20,964.5	1,089.5	-	-	4,357.9	-	-	-	26,411.8
TC	Cultivos anuales	Cultivos anuales	4,337.4	8,280.4	4,731.7	2,760.1	-	394.3	1,245,664.0	1,957.7	4,160.0	67,049.8	244.7	-	244.7	1,339,824.9
TC	Cultivos permanentes	Cultivos permanentes	231.9	1,082.1	541.1	231.9	77.3	-	1,199.2	155,264.0	623.6	6,811.6	-	48.0	48.0	166,158.6
TC	SAF	SAF	1,313.1	4,596.0	1,969.7	2,626.3	656.6	-	8,149.3	1,629.9	455,943.5	10,186.7	-	-	-	487,071.1
PA	PA	PA	187,609.9	153,363.7	65,514.6	14,889.7	2,977.9	7,444.8	41,582.5	924.1	5,544.3	4,113,765.1	6,468.4	924.1	9,240.6	4,610,249.7
HU	HU	HU	969.8	969.8	-	-	-	-	1,203.7	-	-	3,009.3	228,754.2	601.9	1,805.6	237,314.3
AS	AS	AS	151.5	151.5	-	151.5	-	-	564.0	94.0	94.0	1,128.1	-	134,451.2	-	136,785.7
OT	OT	OT	496.4	1,985.6	496.4	992.8	-	-	616.1	-	-	6,161.3	924.2	-	41,885.3	53,558.1
Subtotal usos iniciales			1,639,439.0	1,115,810.4	780,711.1	405,926.3	40,963.7	28,803.6	1,331,104.2	159,869.6	468,587.1	4,492,044.4	236,391.5	136,025.0	53,224.1	10,888,900.0

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en el GIMBUT.

Tabla A.5.4.16.

Matriz de uso y cambio de uso de la tierra 2004

Uso final	Categoría final	Estrato final	TF						TC			PA	HU	AS	OT	Subtotal usos finales
			Bosque				Plantaciones coníferas	Plantaciones latifoliadas	Cultivos anuales	Cultivos permanentes	SAF					
			Estrato I	Estrato II	Estrato III	Estrato IV										
TF	Bosque	Estrato I	1,429,320.5	-	-	-	-	-	7,893.9	-	1,973.5	112,487.9	-	-	-	1,551,675.8
TF	Bosque	Estrato II	-	932,271.4	-	-	-	-	12,989.8	-	-	116,907.9	-	-	-	1,062,169.1
TF	Bosque	Estrato III	-	-	701,822.7	-	-	-	7,860.3	-	-	49,127.1	-	-	-	758,810.1
TF	Bosque	Estrato IV	-	-	-	382,608.5	-	-	4,050.6	-	-	20,252.9	-	-	-	406,911.9
TF	Plantaciones coníferas	Plantaciones coníferas	-	-	-	-	36,966.3	-	628.5	-	419.0	2,304.6	-	-	-	40,318.5
TF	Plantaciones latifoliadas	Plantaciones latifoliadas	-	-	-	-	-	20,361.4	1,173.3	-	-	4,693.1	-	-	-	26,227.8
TC	Cultivos anuales	Cultivos anuales	4,671.0	8,917.4	5,095.7	2,972.5	-	424.6	1,239,091.7	2,108.2	4,480.0	72,207.5	263.5	-	263.5	1,340,495.7
TC	Cultivos permanentes	Cultivos permanentes	249.7	1,165.4	582.7	249.7	83.2	-	1,291.5	154,909.7	671.6	7,335.6	-	51.7	51.7	166,642.4
TC	SAF	SAF	1,414.1	4,949.5	2,121.2	2,828.3	707.1	-	8,776.2	1,755.2	454,970.9	10,970.3	-	-	-	488,492.9
PA	PA	PA	202,041.5	165,160.9	70,554.2	16,035.0	3,207.0	8,017.5	44,781.2	995.1	5,970.8	4,084,666.7	6,966.0	995.1	9,951.4	4,619,342.4
HU	HU	HU	1,044.4	1,044.4	-	-	-	-	1,296.3	-	-	3,240.8	228,166.7	648.2	1,944.5	237,385.3
AS	AS	AS	163.1	163.1	-	163.1	-	-	607.4	101.2	101.2	1,214.9	-	134,330.1	-	136,844.2
OT	OT	OT	534.6	2,138.3	534.6	1,069.2	-	-	663.5	-	-	6,635.3	995.3	-	41,013.1	53,583.8
Subtotal usos iniciales			1,639,439.0	1,115,810.4	780,711.1	405,926.3	40,963.7	28,803.6	1,331,104.2	159,869.6	468,587.1	4,492,044.4	236,391.5	136,025.0	53,224.1	10,888,900.0

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en el GIMBUT.

Tabla A.5.4.17.

Matriz de uso y cambio de uso de la tierra 2005

Uso final	Categoría final	Estrato final	TF						TC			PA	HU	AS	OT	Subtotal usos finales
			Bosque				Plantaciones coníferas	Plantaciones latifoliadas	Cultivos anuales	Cultivos permanentes	SAF					
			Estrato I	Estrato II	Estrato III	Estrato IV										
TF	Bosque	Estrato I	1,414,312.1	-	-	-	-	-	8,457.7	-	2,114.4	120,522.8	-	-	-	1,545,407.0
TF	Bosque	Estrato II	-	919,161.4	-	-	-	-	13,917.6	-	-	125,258.5	-	-	-	1,058,337.5
TF	Bosque	Estrato III	-	-	696,187.9	-	-	-	8,421.8	-	-	52,636.1	-	-	-	757,245.8
TF	Bosque	Estrato IV	-	-	-	380,942.9	-	-	4,339.9	-	-	21,699.5	-	-	-	406,982.3
TF	Plantaciones coníferas	Plantaciones coníferas	-	-	-	-	36,680.8	-	673.4	-	449.0	2,469.3	-	-	-	40,272.5
TF	Plantaciones latifoliadas	Plantaciones latifoliadas	-	-	-	-	-	19,758.4	1,257.1	-	-	5,028.3	-	-	-	26,043.8
TC	Cultivos anuales	Cultivos anuales	5,004.7	9,554.4	5,459.6	3,184.8	-	455.0	1,232,519.4	2,258.8	4,800.0	77,365.2	282.4	-	282.4	1,341,166.5
TC	Cultivos permanentes	Cultivos permanentes	267.6	1,248.6	624.3	267.6	89.2	-	1,383.7	154,555.4	719.5	7,859.6	-	55.3	55.3	167,126.2
TC	SAF	SAF	1,515.2	5,303.1	2,272.7	3,030.3	757.6	-	9,403.1	1,880.6	453,998.3	11,753.9	-	-	-	489,914.7
PA	PA	PA	216,473.0	176,958.1	75,593.8	17,180.4	3,436.1	8,590.2	47,979.8	1,066.2	6,397.3	4,055,568.3	7,463.5	1,066.2	10,662.2	4,628,435.1
HU	HU	HU	1,119.0	1,119.0	-	-	-	-	1,388.9	-	-	3,472.3	227,579.2	694.5	2,083.4	237,456.3
AS	AS	AS	174.8	174.8	-	174.8	-	-	650.8	108.5	108.5	1,301.6	-	134,209.0	-	136,902.8
OT	OT	OT	572.8	2,291.1	572.8	1,145.5	-	-	710.9	-	-	7,109.2	1,066.4	-	40,140.8	53,609.5
Subtotal usos iniciales			1,639,439.0	1,115,810.4	780,711.1	405,926.3	40,963.7	28,803.6	1,331,104.2	159,869.6	468,587.1	4,492,044.4	236,391.5	136,025.0	53,224.1	10,888,900.0

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en el GIMBUT.

Tabla A.5.4.18.

Matriz de uso y cambio de uso de la tierra 2006

Uso final	Categoría final	Estrato final	TF						TC			PA	HU	AS	OT	Subtotal usos finales
			Bosque				Plantaciones coníferas	Plantaciones latifoliadas	Cultivos anuales	Cultivos permanentes	SAF					
			Estrato I	Estrato II	Estrato III	Estrato IV										
TF	Bosque	Estrato I	1,399,303.6	-	-	-	-	-	9,021.6	-	2,255.4	128,557.6	-	-	-	1,539,138.2
TF	Bosque	Estrato II	-	906,051.5	-	-	-	-	14,845.5	-	-	133,609.1	-	-	-	1,054,506.0
TF	Bosque	Estrato III	-	-	690,553.0	-	-	-	8,983.2	-	-	56,145.2	-	-	-	755,681.4
TF	Bosque	Estrato IV	-	-	-	379,277.4	-	-	4,629.2	-	-	23,146.1	-	-	-	407,052.7
TF	Plantaciones coníferas	Plantaciones coníferas	-	-	-	-	36,395.3	-	718.3	-	478.9	2,633.9	-	-	-	40,226.4
TF	Plantaciones latifoliadas	Plantaciones latifoliadas	-	-	-	-	-	19,155.4	1,340.9	-	-	5,363.5	-	-	-	25,859.8
TC	Cultivos anuales	Cultivos anuales	5,338.3	10,191.3	5,823.6	3,397.1	-	485.3	1,225,947.0	2,409.4	5,120.0	82,522.9	301.2	-	301.2	1,341,837.4
TC	Cultivos permanentes	Cultivos permanentes	285.4	1,331.8	665.9	285.4	95.1	-	1,476.0	154,201.2	767.5	8,383.5	-	59.0	59.0	167,609.9
TC	SAF	SAF	1,616.2	5,656.6	2,424.3	3,232.3	808.1	-	10,030.0	2,006.0	453,025.7	12,537.5	-	-	-	491,336.6
PA	PA	PA	230,904.6	188,755.3	80,633.3	18,325.8	3,665.2	9,162.9	51,178.5	1,137.3	6,823.8	4,026,469.8	7,961.1	1,137.3	11,373.0	4,637,527.8
HU	HU	HU	1,193.6	1,193.6	-	-	-	-	1,481.5	-	-	3,703.8	226,991.8	740.8	2,222.3	237,527.2
AS	AS	AS	186.4	186.4	-	186.4	-	-	694.2	115.7	115.7	1,388.4	-	134,088.0	-	136,961.3
OT	OT	OT	611.0	2,443.8	611.0	1,221.9	-	-	758.3	-	-	7,583.2	1,137.5	-	39,268.6	53,635.2
Subtotal usos iniciales			1,639,439.0	1,115,810.4	780,711.1	405,926.3	40,963.7	28,803.6	1,331,104.2	159,869.6	468,587.1	4,492,044.4	236,391.5	136,025.0	53,224.1	10,888,900.0

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en el GIMBUT.

Tabla A.5.4.19.

Matriz de uso y cambio de uso de la tierra 2007

Uso final	Categoría final	Estrato final	TF						TC			PA	HU	AS	OT	Subtotal usos finales
			Bosque				Plantaciones coníferas	Plantaciones latifoliadas	Cultivos anuales	Cultivos permanentes	SAF					
			Estrato I	Estrato II	Estrato III	Estrato IV										
TF	Bosque	Estrato I	1,385,320.2	-	-	-	-	-	9,404.7	-	2,351.2	134,016.9	-	-	-	1,531,092.9
TF	Bosque	Estrato II	-	891,206.0	-	-	-	95.8	15,324.3	-	-	137,919.0	-	-	-	1,044,545.2
TF	Bosque	Estrato III	-	-	684,040.1	-	-	-	9,366.3	-	-	58,539.6	-	-	-	751,946.1
TF	Bosque	Estrato IV	-	-	-	376,499.8	-	-	4,820.8	-	-	24,103.9	-	-	-	405,424.5
TF	Plantaciones coníferas	Plantaciones coníferas	-	287.3	95.8	191.6	36,012.2	-	1,005.7	-	670.4	3,687.4	-	-	-	41,950.4
TF	Plantaciones latifoliadas	Plantaciones latifoliadas	95.8	95.8	-	-	-	18,485.0	1,628.2	-	-	6,512.8	-	-	-	26,817.6
TC	Cultivos anuales	Cultivos anuales	6,391.9	12,202.6	6,972.9	4,067.5	-	581.1	1,214,358.0	3,367.2	6,748.2	108,765.8	397.0	-	397.0	1,364,249.2
TC	Cultivos permanentes	Cultivos permanentes	572.7	2,672.7	1,336.4	572.7	190.9	-	3,870.4	152,860.3	2,012.6	21,983.9	-	154.8	154.8	186,382.3
TC	SAF	SAF	1,807.7	6,327.0	2,711.6	3,615.4	903.9	-	11,945.5	2,197.5	449,194.7	14,931.9	-	-	-	493,635.2
PA	PA	PA	242,972.5	198,620.4	84,847.5	19,283.5	3,856.7	9,641.8	55,488.5	1,233.1	7,398.5	3,965,364.0	8,631.5	1,233.1	12,330.8	4,610,901.8
HU	HU	HU	1,289.4	1,289.4	-	-	-	-	1,673.1	-	-	4,182.6	225,938.2	836.5	2,509.6	237,718.8
AS	AS	AS	282.2	282.2	-	282.2	-	-	1,268.9	211.5	211.5	2,537.7	-	133,800.6	-	138,876.8
OT	OT	OT	706.7	2,826.9	706.7	1,413.5	-	-	949.9	-	-	9,498.7	1,424.8	-	37,832.0	55,359.2
Subtotal usos iniciales			1,639,439.0	1,115,810.4	780,711.1	405,926.3	40,963.7	28,803.6	1,331,104.2	159,869.6	468,587.1	4,492,044.4	236,391.5	136,025.0	53,224.1	10,888,900.0

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en el GIMBUT.

Tabla A.5.4.20.

Matriz de uso y cambio de uso de la tierra 2008

Uso final	Categoría final	Estrato final	TF						TC			PA	HU	AS	OT	Subtotal usos finales
			Bosque				Plantaciones coníferas	Plantaciones latifoliadas	Cultivos anuales	Cultivos permanentes	SAF					
			Estrato I	Estrato II	Estrato III	Estrato IV										
TF	Bosque	Estrato I	1,371,336.7	-	-	-	-	-	9,787.8	-	2,447.0	139,476.2	-	-	-	1,523,047.7
TF	Bosque	Estrato II	-	876,360.6	-	-	-	191.6	15,803.2	-	-	142,229.0	-	-	-	1,034,584.4
TF	Bosque	Estrato III	-	-	677,527.3	-	-	-	9,749.4	-	-	60,934.1	-	-	-	748,210.8
TF	Bosque	Estrato IV	-	-	-	373,722.3	-	-	5,012.3	-	-	25,061.7	-	-	-	403,796.3
TF	Plantaciones coníferas	Plantaciones coníferas	-	574.7	191.6	383.1	35,629.1	-	1,293.0	-	862.0	4,741.0	-	-	-	43,674.4
TF	Plantaciones latifoliadas	Plantaciones latifoliadas	191.6	191.6	-	-	-	17,814.5	1,915.5	-	-	7,662.2	-	-	-	27,775.4
TC	Cultivos anuales	Cultivos anuales	7,445.4	14,213.9	8,122.3	4,738.0	-	676.9	1,202,769.0	4,325.0	8,376.5	135,008.7	492.7	-	492.7	1,386,661.0
TC	Cultivos permanentes	Cultivos permanentes	860.1	4,013.6	2,006.8	860.1	286.7	-	6,264.8	151,519.4	3,257.7	35,584.2	-	250.6	250.6	205,154.6
TC	SAF	SAF	1,999.3	6,997.5	2,998.9	3,998.6	999.6	-	13,861.1	2,389.1	445,363.6	17,326.3	-	-	-	495,933.9
PA	PA	PA	255,040.4	208,485.4	89,061.7	20,241.3	4,048.3	10,120.7	59,798.4	1,328.9	7,973.1	3,904,258.2	9,302.0	1,328.9	13,288.5	4,584,275.7
HU	HU	HU	1,385.2	1,385.2	-	-	-	-	1,864.6	-	-	4,661.5	224,884.7	932.3	2,796.9	237,910.3
AS	AS	AS	378.0	378.0	-	378.0	-	-	1,843.5	307.3	307.3	3,687.1	-	133,513.3	-	140,792.4
OT	OT	OT	802.5	3,210.0	802.5	1,605.0	-	-	1,141.4	-	-	11,414.2	1,712.1	-	36,395.3	57,083.2
Subtotal usos iniciales			1,639,439.0	1,115,810.4	780,711.1	405,926.3	40,963.7	28,803.6	1,331,104.2	159,869.6	468,587.1	4,492,044.4	236,391.5	136,025.0	53,224.1	10,888,900.0

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en el GIMBUT.

Tabla A.5.4.21.

Matriz de uso y cambio de uso de la tierra 2009

Uso final	Categoría final	Estrato final	TF						TC			PA	HU	AS	OT	Subtotal usos finales
			Bosque				Plantaciones coníferas	Plantaciones latifoliadas	Cultivos anuales	Cultivos permanentes	SAF					
			Estrato I	Estrato II	Estrato III	Estrato IV										
TF	Bosque	Estrato I	1,357,353.2	-	-	-	-	-	10,170.9	-	2,542.7	144,935.5	-	-	-	1,515,002.4
TF	Bosque	Estrato II	-	861,515.1	-	-	-	287.3	16,282.1	-	-	146,539.0	-	-	-	1,024,623.6
TF	Bosque	Estrato III	-	-	671,014.5	-	-	-	10,132.6	-	-	63,328.5	-	-	-	744,475.5
TF	Bosque	Estrato IV	-	-	-	370,944.8	-	-	5,203.9	-	-	26,019.4	-	-	-	402,168.1
TF	Plantaciones coníferas	Plantaciones coníferas	-	862.0	287.3	574.7	35,246.0	-	1,580.3	-	1,053.5	5,794.5	-	-	-	45,398.4
TF	Plantaciones latifoliadas	Plantaciones latifoliadas	287.3	287.3	-	-	-	17,144.1	2,202.9	-	-	8,811.5	-	-	-	28,733.1
TC	Cultivos anuales	Cultivos anuales	8,498.9	16,225.3	9,271.6	5,408.4	-	772.6	1,191,180.0	5,282.7	10,004.7	161,251.7	588.5	-	588.5	1,409,072.9
TC	Cultivos permanentes	Cultivos permanentes	1,147.4	5,354.5	2,677.2	1,147.4	382.5	-	8,659.3	150,178.5	4,502.8	49,184.6	-	346.4	346.4	223,926.9
TC	SAF	SAF	2,190.8	7,667.9	3,286.2	4,381.7	1,095.4	-	15,776.6	2,580.7	441,532.5	19,720.7	-	-	-	498,232.5
PA	PA	PA	267,108.3	218,350.4	93,275.9	21,199.1	4,239.8	10,599.5	64,108.4	1,424.6	8,547.8	3,843,152.4	9,972.4	1,424.6	14,246.3	4,557,649.7
HU	HU	HU	1,480.9	1,480.9	-	-	-	-	2,056.2	-	-	5,140.4	223,831.1	1,028.1	3,084.3	238,101.9
AS	AS	AS	473.8	473.8	-	473.8	-	-	2,418.2	403.0	403.0	4,836.4	-	133,226.0	-	142,707.9
OT	OT	OT	898.3	3,593.1	898.3	1,796.6	-	-	1,333.0	-	-	13,329.8	1,999.5	-	34,958.6	58,807.1
Subtotal usos iniciales			1,639,439.0	1,115,810.4	780,711.1	405,926.3	40,963.7	28,803.6	1,331,104.2	159,869.6	468,587.1	4,492,044.4	236,391.5	136,025.0	53,224.1	10,888,900.0

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en el GIMBUT.

Tabla A.5.4.22.

Matriz de uso y cambio de uso de la tierra 2010

Uso final	Categoría final	Estrato final	TF						TC			PA	HU	AS	OT	Subtotal usos finales
			Bosque				Plantaciones coníferas	Plantaciones latifoliadas	Cultivos anuales	Cultivos permanentes	SAF					
			Estrato I	Estrato II	Estrato III	Estrato IV										
TF	Bosque	Estrato I	1,343,369.8	-	-	-	-	-	10,554.0	-	2,638.5	150,394.8	-	-	-	1,506,957.1
TF	Bosque	Estrato II	-	846,669.7	-	-	-	383.1	16,761.0	-	-	150,849.0	-	-	-	1,014,662.7
TF	Bosque	Estrato III	-	-	664,501.6	-	-	-	10,515.7	-	-	65,722.9	-	-	-	740,740.2
TF	Bosque	Estrato IV	-	-	-	368,167.2	-	-	5,395.4	-	-	26,977.2	-	-	-	400,539.9
TF	Plantaciones coníferas	Plantaciones coníferas	-	1,149.3	383.1	766.2	34,862.9	-	1,867.7	-	1,245.1	6,848.1	-	-	-	47,122.3
TF	Plantaciones latifoliadas	Plantaciones latifoliadas	383.1	383.1	-	-	-	16,473.7	2,490.2	-	-	9,960.8	-	-	-	29,690.9
TC	Cultivos anuales	Cultivos anuales	9,552.5	18,236.6	10,420.9	6,078.9	-	868.4	1,179,590.9	6,240.5	11,632.9	187,494.6	684.3	-	684.3	1,431,484.7
TC	Cultivos permanentes	Cultivos permanentes	1,434.7	6,695.4	3,347.7	1,434.7	478.2	-	11,053.7	148,837.6	5,747.9	62,784.9	-	442.1	442.1	242,699.2
TC	SAF	SAF	2,382.4	8,338.3	3,573.6	4,764.8	1,191.2	-	17,692.1	2,772.2	437,701.4	22,115.2	-	-	-	500,531.2
PA	PA	PA	279,176.2	228,215.5	97,490.1	22,156.8	4,431.4	11,078.4	68,418.4	1,520.4	9,122.5	3,782,046.6	10,642.9	1,520.4	15,204.1	4,531,023.7
HU	HU	HU	1,576.7	1,576.7	-	-	-	-	2,247.7	-	-	5,619.3	222,777.6	1,123.9	3,371.6	238,293.5
AS	AS	AS	569.5	569.5	-	569.5	-	-	2,992.9	498.8	498.8	5,985.7	-	132,938.6	-	144,623.4
OT	OT	OT	994.1	3,976.2	994.1	1,988.1	-	-	1,524.5	-	-	15,245.3	2,286.8	-	33,522.0	60,531.1
Subtotal usos iniciales			1,639,439.0	1,115,810.4	780,711.1	405,926.3	40,963.7	28,803.6	1,331,104.2	159,869.6	468,587.1	4,492,044.4	236,391.5	136,025.0	53,224.1	10,888,900.0

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en el GIMBUT.

Tabla A.5.4.23.

Matriz de uso y cambio de uso de la tierra 2011

Uso final	Categoría final	Estrato final	TF						TC			PA	HU	AS	OT	Subtotal usos finales
			Bosque				Plantaciones coníferas	Plantaciones latifoliadas	Cultivos anuales	Cultivos permanentes	SAF					
			Estrato I	Estrato II	Estrato III	Estrato IV										
TF	Bosque	Estrato I	1,344,394.8	-	-	-	-	-	10,373.3	-	2,593.3	147,819.2	-	-	-	1,505,180.6
TF	Bosque	Estrato II	-	844,934.2	-	-	-	478.9	16,312.0	-	-	146,808.4	-	-	-	1,008,533.4
TF	Bosque	Estrato III	-	-	663,623.6	-	-	-	10,337.3	-	-	64,608.3	-	-	-	738,569.2
TF	Bosque	Estrato IV	-	-	-	367,055.2	-	-	5,297.7	-	-	26,488.4	-	-	-	398,841.3
TF	Plantaciones coníferas	Plantaciones coníferas	-	1,436.7	478.9	957.8	34,765.3	-	2,110.1	-	1,406.7	7,737.0	-	-	-	48,892.4
TF	Plantaciones latifoliadas	Plantaciones latifoliadas	478.9	478.9	-	-	-	16,406.2	2,693.7	-	-	10,774.9	-	-	-	30,832.7
TC	Cultivos anuales	Cultivos anuales	10,272.4	19,610.9	11,206.3	6,537.0	-	933.9	1,174,574.2	7,047.7	12,941.1	208,579.8	761.2	-	761.2	1,453,225.8
TC	Cultivos permanentes	Cultivos permanentes	1,704.2	7,953.0	3,976.5	1,704.2	568.1	-	13,355.9	147,851.0	6,945.1	75,861.3	-	534.2	534.2	260,987.7
TC	SAF	SAF	2,472.9	8,655.2	3,709.4	4,945.9	1,236.5	-	18,980.8	2,838.4	434,842.9	23,726.0	-	-	-	501,408.0
PA	PA	PA	276,812.6	226,283.3	96,664.7	21,969.3	4,393.9	10,984.6	69,529.7	1,545.1	9,270.6	3,750,039.3	10,815.7	1,545.1	15,451.0	4,495,304.9
HU	HU	HU	1,597.9	1,597.9	-	-	-	-	2,346.7	-	-	5,866.7	222,311.5	1,173.3	3,520.0	238,414.0
AS	AS	AS	653.7	653.7	-	653.7	-	-	3,524.1	587.4	587.4	7,048.3	-	132,772.4	-	146,480.5
OT	OT	OT	1,051.7	4,206.6	1,051.7	2,103.3	-	-	1,668.7	-	-	16,686.9	2,503.0	-	32,957.6	62,229.4
Subtotal usos iniciales			1,639,439.0	1,115,810.4	780,711.1	405,926.3	40,963.7	28,803.6	1,331,104.2	159,869.6	468,587.1	4,492,044.4	236,391.5	136,025.0	53,224.1	10,888,900.0

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en el GIMBUT.

Tabla A.5.4.24.

Matriz de uso y cambio de uso de la tierra 2012

Uso final	Categoría final	Estrato final	TF						TC			PA	HU	AS	OT	Subtotal usos finales
			Bosque				Plantaciones coníferas	Plantaciones latifoliadas	Cultivos anuales	Cultivos permanentes	SAF					
			Estrato I	Estrato II	Estrato III	Estrato IV										
TF	Bosque	Estrato I	1,330,411.3	-	-	-	-	-	10,756.4	-	2,689.1	153,278.5	-	-	-	1,497,135.3
TF	Bosque	Estrato II	-	830,088.7	-	-	-	574.7	16,790.9	-	-	151,118.3	-	-	-	998,572.6
TF	Bosque	Estrato III	-	-	657,110.8	-	-	-	10,720.4	-	-	67,002.7	-	-	-	734,833.9
TF	Bosque	Estrato IV	-	-	-	364,277.7	-	-	5,489.2	-	-	27,446.1	-	-	-	397,213.1
TF	Plantaciones coníferas	Plantaciones coníferas	-	1,724.0	574.7	1,149.3	34,382.2	-	2,397.4	-	1,598.3	8,790.5	-	-	-	50,616.4
TF	Plantaciones latifoliadas	Plantaciones latifoliadas	574.7	574.7	-	-	-	15,735.8	2,981.1	-	-	11,924.3	-	-	-	31,790.4
TC	Cultivos anuales	Cultivos anuales	11,325.9	21,622.3	12,355.6	7,207.4	-	1,029.6	1,162,985.2	8,005.5	14,569.3	234,822.8	857.0	-	857.0	1,475,637.6
TC	Cultivos permanentes	Cultivos permanentes	1,991.5	9,293.9	4,646.9	1,991.5	663.8	-	15,750.3	146,510.2	8,190.2	89,461.7	-	630.0	630.0	279,760.1
TC	SAF	SAF	2,664.5	9,325.7	3,996.7	5,329.0	1,332.2	-	20,896.3	3,029.9	431,011.8	26,120.4	-	-	-	503,706.6
PA	PA	PA	288,880.5	236,148.4	100,878.9	22,927.0	4,585.4	11,463.5	73,839.7	1,640.9	9,845.3	3,688,933.5	11,486.2	1,640.9	16,408.8	4,468,678.9
HU	HU	HU	1,693.7	1,693.7	-	-	-	-	2,538.2	-	-	6,345.6	221,258.0	1,269.1	3,807.4	238,605.6
AS	AS	AS	749.4	749.4	-	749.4	-	-	4,098.8	683.1	683.1	8,197.6	-	132,485.0	-	148,396.0
OT	OT	OT	1,147.4	4,589.7	1,147.4	2,294.9	-	-	1,860.2	-	-	18,602.5	2,790.4	-	31,520.9	63,953.4
Subtotal usos iniciales			1,639,439.0	1,115,810.4	780,711.1	405,926.3	40,963.7	28,803.6	1,331,104.2	159,869.6	468,587.1	4,492,044.4	236,391.5	136,025.0	53,224.1	10,888,900.0

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en el GIMBUT.

Tabla A.5.4.25.

Matriz de uso y cambio de uso de la tierra 2013

Uso final	Categoría final	Estrato final	TF						TC			PA	HU	AS	OT	Subtotal usos finales
			Bosque				Plantaciones coníferas	Plantaciones latifoliadas	Cultivos anuales	Cultivos permanentes	SAF					
			Estrato I	Estrato II	Estrato III	Estrato IV										
TF	Bosque	Estrato I	1,316,427.9	-	-	-	-	-	11,139.5	-	2,784.9	158,737.8	-	-	-	1,489,090.1
TF	Bosque	Estrato II	-	815,243.3	-	-	-	670.4	17,269.8	-	-	155,428.3	-	-	-	988,611.8
TF	Bosque	Estrato III	-	-	650,598.0	-	-	-	11,103.5	-	-	69,397.1	-	-	-	731,098.6
TF	Bosque	Estrato IV	-	-	-	361,500.2	-	-	5,680.8	-	-	28,403.9	-	-	-	395,584.9
TF	Plantaciones coníferas	Plantaciones coníferas	-	2,011.3	670.4	1,340.9	33,999.1	-	2,684.8	-	1,789.8	9,844.1	-	-	-	52,340.4
TF	Plantaciones latifoliadas	Plantaciones latifoliadas	670.4	670.4	-	-	-	15,065.4	3,268.4	-	-	13,073.6	-	-	-	32,748.2
TC	Cultivos anuales	Cultivos anuales	12,379.5	23,633.6	13,504.9	7,877.9	-	1,125.4	1,151,396.2	8,963.2	16,197.5	261,065.7	952.8	-	952.8	1,498,049.4
TC	Cultivos permanentes	Cultivos permanentes	2,278.9	10,634.8	5,317.4	2,278.9	759.6	-	18,144.7	145,169.3	9,435.3	103,062.0	-	725.8	725.8	298,532.4
TC	SAF	SAF	2,856.0	9,996.1	4,284.1	5,712.1	1,428.0	-	22,811.9	3,221.5	427,180.7	28,514.9	-	-	-	506,005.3
PA	PA	PA	300,948.4	246,013.4	105,093.1	23,884.8	4,777.0	11,942.4	78,149.6	1,736.7	10,420.0	3,627,827.7	12,156.6	1,736.7	17,366.6	4,442,052.8
HU	HU	HU	1,789.4	1,789.4	-	-	-	-	2,729.8	-	-	6,824.5	220,204.4	1,364.9	4,094.7	238,797.1
AS	AS	AS	845.2	845.2	-	845.2	-	-	4,673.5	778.9	778.9	9,346.9	-	132,197.7	-	150,311.6
OT	OT	OT	1,243.2	4,972.8	1,243.2	2,486.4	-	-	2,051.8	-	-	20,518.0	3,077.7	-	30,084.2	65,677.4
Subtotal usos iniciales			1,639,439.0	1,115,810.4	780,711.1	405,926.3	40,963.7	28,803.6	1,331,104.2	159,869.6	468,587.1	4,492,044.4	236,391.5	136,025.0	53,224.1	10,888,900.0

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en el GIMBUT.

Tabla A.5.4.26.

Matriz de uso y cambio de uso de la tierra 2014

Uso final	Categoría final	Estrato final	TF						TC			PA	HU	AS	OT	Subtotal usos finales
			Bosque				Plantaciones coníferas	Plantaciones latifoliadas	Cultivos anuales	Cultivos permanentes	SAF					
			Estrato I	Estrato II	Estrato III	Estrato IV										
TF	Bosque	Estrato I	1,302,444.4	-	-	-	-	-	11,522.6	-	2,880.7	164,197.1	-	-	-	1,481,044.8
TF	Bosque	Estrato II	-	800,397.8	-	-	-	766.2	17,748.7	-	-	159,738.3	-	-	-	978,651.0
TF	Bosque	Estrato III	-	-	644,085.1	-	-	-	11,486.6	-	-	71,791.6	-	-	-	727,363.3
TF	Bosque	Estrato IV	-	-	-	358,722.6	-	-	5,872.3	-	-	29,361.7	-	-	-	393,956.6
TF	Plantaciones coníferas	Plantaciones coníferas	-	2,298.7	766.2	1,532.4	33,616.0	-	2,972.1	-	1,981.4	10,897.6	-	-	-	54,064.4
TF	Plantaciones latifoliadas	Plantaciones latifoliadas	766.2	766.2	-	-	-	14,394.9	3,555.7	-	-	14,222.9	-	-	-	33,706.0
TC	Cultivos anuales	Cultivos anuales	13,433.0	25,644.9	14,654.2	8,548.3	-	1,221.2	1,139,807.1	9,921.0	17,825.7	287,308.6	1,048.6	-	1,048.6	1,520,461.3
TC	Cultivos permanentes	Cultivos permanentes	2,566.2	11,975.6	5,987.8	2,566.2	855.4	-	20,539.1	143,828.4	10,680.4	116,662.4	-	821.6	821.6	317,304.7
TC	SAF	SAF	3,047.6	10,666.6	4,571.4	6,095.2	1,523.8	-	24,727.4	3,413.1	423,349.7	30,909.3	-	-	-	508,304.0
PA	PA	PA	313,016.3	255,878.4	109,307.3	24,842.6	4,968.5	12,421.3	82,459.6	1,832.4	10,994.6	3,566,721.9	12,827.0	1,832.4	18,324.4	4,415,426.8
HU	HU	HU	1,885.2	1,885.2	-	-	-	-	2,921.3	-	-	7,303.4	219,150.9	1,460.7	4,382.0	238,988.7
AS	AS	AS	941.0	941.0	-	941.0	-	-	5,248.1	874.7	874.7	10,496.2	-	131,910.4	-	152,227.1
OT	OT	OT	1,339.0	5,355.9	1,339.0	2,678.0	-	-	2,243.4	-	-	22,433.6	3,365.0	-	28,647.6	67,401.4
Subtotal usos iniciales			1,639,439.0	1,115,810.4	780,711.1	405,926.3	40,963.7	28,803.6	1,331,104.2	159,869.6	468,587.1	4,492,044.4	236,391.5	136,025.0	53,224.1	10,888,900.0

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en el GIMBUT.

Tabla A.5.4.27.

Matriz de uso y cambio de uso de la tierra 2015

Uso final	Categoría final	Estrato final	TF						TC			PA	HU	AS	OT	Subtotal usos finales
			Bosque				Plantaciones coníferas	Plantaciones latifoliadas	Cultivos anuales	Cultivos permanentes	SAF					
			Estrato I	Estrato II	Estrato III	Estrato IV										
TF	Bosque	Estrato I	1,288,461.0	-	-	-	-	-	11,905.7	-	2,976.4	169,656.4	-	-	-	1,472,999.5
TF	Bosque	Estrato II	-	785,552.3	-	-	-	862.0	18,227.6	-	-	164,048.2	-	-	-	968,690.2
TF	Bosque	Estrato III	-	-	637,572.3	-	-	-	11,869.8	-	-	74,186.0	-	-	-	723,628.0
TF	Bosque	Estrato IV	-	-	-	355,945.1	-	-	6,063.9	-	-	30,319.4	-	-	-	392,328.4
TF	Plantaciones coníferas	Plantaciones coníferas	-	2,586.0	862.0	1,724.0	33,232.9	-	3,259.4	-	2,172.9	11,951.2	-	-	-	55,788.4
TF	Plantaciones latifoliadas	Plantaciones latifoliadas	862.0	862.0	-	-	-	13,724.5	3,843.1	-	-	15,372.2	-	-	-	34,663.7
TC	Cultivos anuales	Cultivos anuales	14,486.6	27,656.2	15,803.6	9,218.7	-	1,317.0	1,128,218.1	10,878.8	19,453.9	313,551.6	1,144.3	-	1,144.3	1,542,873.1
TC	Cultivos permanentes	Cultivos permanentes	2,853.5	13,316.5	6,658.3	2,853.5	951.2	-	22,933.6	142,487.5	11,925.5	130,262.7	-	917.3	917.3	336,077.0
TC	SAF	SAF	3,239.1	11,337.0	4,858.7	6,478.3	1,619.6	-	26,643.0	3,604.6	419,518.6	33,303.7	-	-	-	510,602.6
PA	PA	PA	325,084.3	265,743.5	113,521.5	25,800.3	5,160.1	12,900.2	86,769.6	1,928.2	11,569.3	3,505,616.1	13,497.5	1,928.2	19,282.1	4,388,800.8
HU	HU	HU	1,981.0	1,981.0	-	-	-	-	3,112.9	-	-	7,782.2	218,097.3	1,556.4	4,669.3	239,180.2
AS	AS	AS	1,036.8	1,036.8	-	1,036.8	-	-	5,822.8	970.5	970.5	11,645.6	-	131,623.0	-	154,142.6
OT	OT	OT	1,434.8	5,739.0	1,434.8	2,869.5	-	-	2,434.9	-	-	24,349.1	3,652.4	-	27,210.9	69,125.4
Subtotal usos iniciales			1,639,439.0	1,115,810.4	780,711.1	405,926.3	40,963.7	28,803.6	1,331,104.2	159,869.6	468,587.1	4,492,044.4	236,391.5	136,025.0	53,224.1	10,888,900.0

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en el GIMBUT.

Tabla A.5.4.28.

Matriz de uso y cambio de uso de la tierra 2016

Uso final	Categoría final	Estrato final	TF						TC			PA	HU	AS	OT	Subtotal usos finales
			Bosque				Plantaciones coníferas	Plantaciones latifoliadas	Cultivos anuales	Cultivos permanentes	SAF					
			Estrato I	Estrato II	Estrato III	Estrato IV										
TF	Bosque	Estrato I	1,274,477.5	-	-	-	-	-	12,288.8	-	3,072.2	175,115.7	-	-	-	1,464,954.2
TF	Bosque	Estrato II	-	770,706.9	-	-	-	957.8	18,706.5	-	-	168,358.2	-	-	-	958,729.3
TF	Bosque	Estrato III	-	-	631,059.4	-	-	-	12,252.9	-	-	76,580.4	-	-	-	719,892.7
TF	Bosque	Estrato IV	-	-	-	353,167.6	-	-	6,255.4	-	-	31,277.2	-	-	-	390,700.2
TF	Plantaciones coníferas	Plantaciones coníferas	-	2,873.3	957.8	1,915.5	32,849.7	-	3,546.7	-	2,364.5	13,004.7	-	-	-	57,512.3
TF	Plantaciones latifoliadas	Plantaciones latifoliadas	957.8	957.8	-	-	-	13,054.0	4,130.4	-	-	16,521.6	-	-	-	35,621.5
TC	Cultivos anuales	Cultivos anuales	15,540.1	29,667.5	16,952.9	9,889.2	-	1,412.7	1,116,629.1	11,836.5	21,082.1	339,794.5	1,240.1	-	1,240.1	1,565,285.0
TC	Cultivos permanentes	Cultivos permanentes	3,140.9	14,657.4	7,328.7	3,140.9	1,047.0	-	25,328.0	141,146.6	13,170.6	143,863.1	-	1,013.1	1,013.1	354,849.3
TC	SAF	SAF	3,430.7	12,007.4	5,146.0	6,861.4	1,715.3	-	28,558.5	3,796.2	415,687.5	35,698.1	-	-	-	512,901.3
PA	PA	PA	337,152.2	275,608.5	117,735.7	26,758.1	5,351.6	13,379.1	91,079.5	2,024.0	12,143.9	3,444,510.3	14,167.9	2,024.0	20,239.9	4,362,174.7
HU	HU	HU	2,076.8	2,076.8	-	-	-	-	3,304.5	-	-	8,261.1	217,043.8	1,652.2	4,956.7	239,371.8
AS	AS	AS	1,132.6	1,132.6	-	1,132.6	-	-	6,397.4	1,066.2	1,066.2	12,794.9	-	131,335.7	-	156,058.2
OT	OT	OT	1,530.5	6,122.2	1,530.5	3,061.1	-	-	2,626.5	-	-	26,264.6	3,939.7	-	25,774.3	70,849.4
Subtotal usos iniciales			1,639,439.0	1,115,810.4	780,711.1	405,926.3	40,963.7	28,803.6	1,331,104.2	159,869.6	468,587.1	4,492,044.4	236,391.5	136,025.0	53,224.1	10,888,900.0

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en el GIMBUT.

Tabla A.5.4.29.

Matriz de uso y cambio de uso de la tierra 2017

Uso final	Categoría final	Estrato final	TF						TC			PA	HU	AS	OT	Subtotal usos finales
			Bosque				Plantaciones coníferas	Plantaciones latifoliadas	Cultivos anuales	Cultivos permanentes	SAF					
			Estrato I	Estrato II	Estrato III	Estrato IV										
TF	Bosque	Estrato I	1,259,469.0	-	-	-	-	-	12,852.7	-	3,213.2	183,150.6	-	-	-	1,458,685.4
TF	Bosque	Estrato II	-	757,597.0	-	-	-	957.8	19,634.3	-	-	176,708.8	-	-	-	954,897.8
TF	Bosque	Estrato III	-	-	625,424.5	-	-	-	12,814.3	-	-	80,089.5	-	-	-	718,328.3
TF	Bosque	Estrato IV	-	-	-	351,502.0	-	-	6,544.8	-	-	32,723.8	-	-	-	390,770.6
TF	Plantaciones coníferas	Plantaciones coníferas	-	2,873.3	957.8	1,915.5	32,564.2	-	3,591.6	-	2,394.4	13,169.4	-	-	-	57,466.3
TF	Plantaciones latifoliadas	Plantaciones latifoliadas	957.8	957.8	-	-	-	12,451.0	4,214.2	-	-	16,856.8	-	-	-	35,437.5
TC	Cultivos anuales	Cultivos anuales	15,873.8	30,304.5	17,316.9	10,101.5	-	1,443.1	1,110,056.7	11,987.1	21,402.1	344,952.2	1,258.9	-	1,258.9	1,565,955.8
TC	Cultivos permanentes	Cultivos permanentes	3,158.7	14,740.6	7,370.3	3,158.7	1,052.9	-	25,420.3	140,792.4	13,218.5	144,387.0	-	1,016.8	1,016.8	355,333.1
TC	SAF	SAF	3,531.7	12,361.0	5,297.6	7,063.4	1,765.9	-	29,185.4	3,921.5	414,714.9	36,481.7	-	-	-	514,323.1
PA	PA	PA	351,583.7	287,405.7	122,775.3	27,903.5	5,580.7	13,951.7	94,278.2	2,095.1	12,570.4	3,415,411.9	14,665.5	2,095.1	20,950.7	4,371,267.4
HU	HU	HU	2,151.4	2,151.4	-	-	-	-	3,397.0	-	-	8,492.6	216,456.3	1,698.5	5,095.6	239,442.8
AS	AS	AS	1,144.2	1,144.2	-	1,144.2	-	-	6,440.8	1,073.5	1,073.5	12,881.7	-	131,214.6	-	156,116.7
OT	OT	OT	1,568.7	6,274.9	1,568.7	3,137.4	-	-	2,673.9	-	-	26,738.6	4,010.8	-	24,902.0	70,875.1
Subtotal usos iniciales			1,639,439.0	1,115,810.4	780,711.1	405,926.3	40,963.7	28,803.6	1,331,104.2	159,869.6	468,587.1	4,492,044.4	236,391.5	136,025.0	53,224.1	10,888,900.0

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en el GIMBUT.

Tabla A.5.4.30.

Matriz de uso y cambio de uso de la tierra 2018

Uso final	Categoría final	Estrato final	TF						TC			PA	HU	AS	OT	Subtotal usos finales
			Bosque				Plantaciones coníferas	Plantaciones latifoliadas	Cultivos anuales	Cultivos permanentes	SAF					
			Estrato I	Estrato II	Estrato III	Estrato IV										
TF	Bosque	Estrato I	1,245,485.6	-	-	-	-	-	13,235.8	-	3,308.9	188,609.9	-	-	-	1,450,640.2
TF	Bosque	Estrato II	-	742,751.5	-	-	-	1,053.5	20,113.2	-	-	181,018.7	-	-	-	944,937.0
TF	Bosque	Estrato III	-	-	618,911.7	-	-	-	13,197.4	-	-	82,483.9	-	-	-	714,593.0
TF	Bosque	Estrato IV	-	-	-	348,724.5	-	-	6,736.3	-	-	33,681.6	-	-	-	389,142.4
TF	Plantaciones coníferas	Plantaciones coníferas	-	3,160.6	1,053.5	2,107.1	32,181.1	-	3,879.0	-	2,586.0	14,222.9	-	-	-	59,190.3
TF	Plantaciones latifoliadas	Plantaciones latifoliadas	1,053.5	1,053.5	-	-	-	11,780.6	4,501.5	-	-	18,006.1	-	-	-	36,395.3
TC	Cultivos anuales	Cultivos anuales	16,927.3	32,315.8	18,466.2	10,771.9	-	1,538.8	1,098,467.7	12,944.9	23,030.4	371,195.1	1,354.7	-	1,354.7	1,588,367.6
TC	Cultivos permanentes	Cultivos permanentes	3,446.0	16,081.5	8,040.8	3,446.0	1,148.7	-	27,814.7	139,451.5	14,463.6	157,987.4	-	1,112.6	1,112.6	374,105.4
TC	SAF	SAF	3,723.3	13,031.4	5,584.9	7,446.5	1,861.6	-	31,100.9	4,113.1	410,883.8	38,876.2	-	-	-	516,621.7
PA	PA	PA	363,651.6	297,270.8	126,989.5	28,861.2	5,772.2	14,430.6	98,588.2	2,190.8	13,145.1	3,354,306.1	15,335.9	2,190.8	21,908.5	4,344,641.4
HU	HU	HU	2,247.2	2,247.2	-	-	-	-	3,588.6	-	-	8,971.5	215,402.7	1,794.3	5,382.9	239,634.3
AS	AS	AS	1,240.0	1,240.0	-	1,240.0	-	-	7,015.5	1,169.2	1,169.2	14,031.0	-	130,927.3	-	158,032.2
OT	OT	OT	1,664.5	6,658.0	1,664.5	3,329.0	-	-	2,865.4	-	-	28,654.1	4,298.1	-	23,465.4	72,599.1
Subtotal usos iniciales			1,639,439.0	1,115,810.4	780,711.1	405,926.3	40,963.7	28,803.6	1,331,104.2	159,869.6	468,587.1	4,492,044.4	236,391.5	136,025.0	53,224.1	10,888,900.0

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en el GIMBUT.

Anexo 5.5. Sector Residuos

Anexo 5.5.1. Procesamiento de datos de actividad de residuos sólidos de hogares

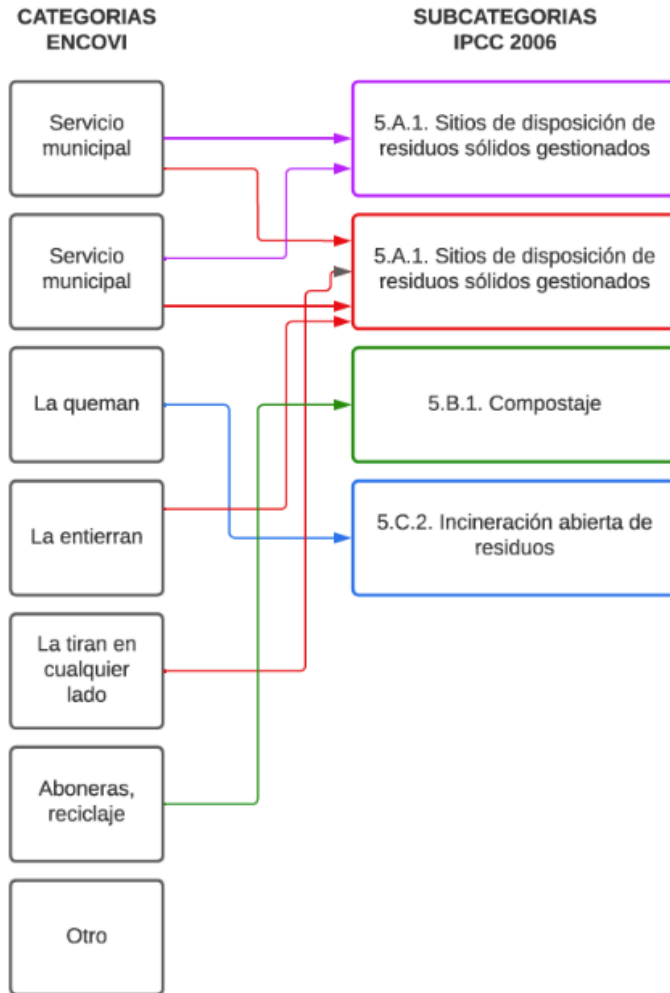
Los datos de actividad para las categorías 5.A, 5.B y 5.C se obtienen a partir del tipo de tratamiento que se les da a los residuos a nivel hogar reportadas en las ENCOVI de 2000, 2006, 2011 y 2014. Esta información se obtiene utilizando la boleta de la ENCOVI y se encuentra en el Capítulo I. La Vivienda y el hogar- Informante jefe de hogar, sección D. Situación habitacional del hogar, pregunta 20 (2006) y pregunta 21 (2011 y 2014): ¿cómo eliminan la mayor parte de la basura?

- Servicio municipal
- Servicio privado
- La queman
- La entierran
- La tiran en cualquier lado
- Aboneras, reciclaje
- Otro.

Adicionalmente se obtiene la misma información de los Censos 2002 y 2018.

La información de homologación de categorías se presenta en la siguiente figura. Se consideran con destino a SDRS gestionados los residuos procedentes del Departamento de Guatemala con «Servicio Municipal» o «Servicio privado» de recolección. Para los restantes departamentos con «Servicio Municipal» o «Servicio privado» de recolección se considera que su destino es un SDRS no gestionado.

Figura A.5.5.1.
Homologación de categorías de gestión de residuos



Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

A continuación, se presenta el detalle del procesamiento de la información para obtener los datos de actividad de residuos por sistema de manejo

Serie 2000-2018

- Se parte de los datos de población (No. personas – población total)
- De las ENCOVI para 2006, 2011 y 2014 se desagregan datos por departamento, área (urbano y rural) y nivel socioeconómico (extrema, no extrema y no pobre) y tratamiento de residuos y tipo de eliminación de aguas residuales a nivel hogar.
- Se obtiene población desagregada por tipo de tratamiento de residuos a nivel hogar (No. Personas – población encuestada)
- Se homogenizan¹¹ datos del censo 2002 y 2018 y de la ENCOVI 2000 utilizando información de ENCOVI 2006. Se obtienen datos de población desagregada por departamento, área, nivel socioeconómico y tratamiento de residuos y a nivel hogar.
- Se interpolan datos para la obtención de datos para los años en los que no se tiene información (2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2007, 2008, 2009, 2010, 2012, 2013, 2015 y 2016).
- Se ajustan datos de población para la serie 2000-2018 obtenidos en el inciso 4 a la población estimada y proyectada a largo plazo 1950-2019 del INE.
- Se obtiene dato de producción per cápita (kg/persona-día) a partir de criterio de experto.
- Se multiplica la población por la producción per cápita para obtener la cantidad de residuos generada por día (kg/día).
- Se obtiene las toneladas anuales por tipo de tratamiento, lo que permite obtener información para todas las categorías.

Serie 1990-1999

- Dato de población (No. Personas – población total), obtenida de la población estimada y proyectada a largo plazo 1950-2019 del INE.
- De las Encuesta Nacional de Condiciones de Vida del año 2000 se utiliza el porcentaje de desagregación por el tipo de tratamiento de residuos a nivel hogar.
- Se obtiene población desagregada por tipo de tratamiento de residuos a nivel hogar (No. Personas – población encuestada)
- Se obtiene dato de producción per cápita (kg/persona-día).
- Se multiplica la población por la producción per cápita para obtener la cantidad de residuos generada por día (kg/día).
- Se obtiene las toneladas anuales por tipo de tratamiento, lo que permite obtener información para todas las categorías.

¹¹ Este paso se realiza ya que los datos del censo no se encuentran por área (rural o urbana) y los datos de la ENCOVI 2000 se encuentran por región y no por departamento, por lo que es necesario homogenizarlo para mantener la coherencia en los datos.

Se utiliza el método de superposición parcial para empalmar los datos agregados a nivel nacional con los datos desagregados de 2000-2018, garantizando de esta forma la coherencia de la serie.

Tabla A.5.5.1.

PPC (kg/hab-día) por año, región, nivel socioeconómico 2001-2018 para los departamentos de Guatemala y Quetzaltenango

<i>Año</i>	<i>No pobre</i>	<i>No Extremo</i>	<i>Pobre extremo</i>
2001	0.56	0.44	0.3
2002	0.58	0.46	0.31
2003	0.59	0.47	0.33
2004	0.61	0.48	0.34
2005	0.62	0.5	0.36
2006	0.63	0.51	0.37
2007	0.65	0.52	0.38
2008	0.67	0.54	0.39
2009	0.68	0.55	0.4
2010	0.7	0.56	0.41
2011	0.72	0.58	0.44
2012	0.73	0.59	0.45
2013	0.74	0.6	0.46
2014	0.76	0.62	0.48
2015	0.77	0.63	0.5
2016	0.79	0.64	0.51
2017	0.8	0.65	0.52
2018	0.82	0.67	0.54

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en dictamen de experto, 2020

Tabla A.5.5.2.

PPC (kg/hab-día) por año, región, nivel socioeconómico 2001-2018 para áreas urbanas de ciudades intermedias

<i>Año</i>	<i>No pobre</i>	<i>No Extremo</i>	<i>Pobre extremo</i>
2001	0.49	0.38	0.26
2002	0.5	0.39	0.28
2003	0.52	0.4	0.29
2004	0.53	0.42	0.3
2005	0.55	0.43	0.31
2006	0.56	0.44	0.32
2007	0.58	0.46	0.34
2008	0.6	0.47	0.35
2009	0.61	0.48	0.36
2010	0.62	0.49	0.38
2011	0.64	0.5	0.39
2012	0.65	0.52	0.4
2013	0.66	0.54	0.41
2014	0.68	0.55	0.42
2015	0.7	0.56	0.43
2016	0.71	0.57	0.44
2017	0.72	0.59	0.46
2018	0.74	0.6	0.48

Nota: los departamentos con ciudades intermedias son los Departamentos de Sacatepéquez, Chimaltenango, Escuintla, Sololá, Totonicapán, Suchitepéquez, Retalhuleu, San Marcos, Huehuetenango, Quiché, Alta Verapaz, Petén, Izabal, Chiquimula y Jalapa.

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en dictamen de experto.

Tabla A.5.5.3.

PPC (kg/hab-día) por año, región, nivel socioeconómico 2001-2018 para áreas urbanas de otros departamentos

<i>Año</i>	<i>No pobre</i>	<i>No Extremo</i>	<i>Pobre extremo</i>
2001	0.36	0.3	0.23
2002	0.37	0.31	0.25
2003	0.38	0.33	0.26
2004	0.4	0.34	0.28
2005	0.42	0.36	0.3
2006	0.43	0.37	0.31
2007	0.45	0.39	0.32
2008	0.46	0.4	0.33
2009	0.48	0.42	0.34
2010	0.49	0.44	0.35
2011	0.51	0.45	0.36
2012	0.52	0.47	0.37
2013	0.54	0.49	0.38

<i>Año</i>	<i>No pobre</i>	<i>No Extremo</i>	<i>Pobre extremo</i>
2014	0.56	0.5	0.4
2015	0.57	0.52	0.41
2016	0.59	0.53	0.42
2017	0.6	0.55	0.43
2018	0.62	0.56	0.44

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, en base a dictamen experto.

Tabla A.5.5.4.

PPC (kg/hab-día) por año, 2001-2018 para áreas rurales

<i>Año</i>	<i>Área rural</i>
2001	0.15
2002	0.16
2003	0.17
2004	0.17
2005	0.18
2006	0.19
2007	0.2
2008	0.21
2009	0.21
2010	0.22
2011	0.23
2012	0.24
2013	0.25
2014	0.26
2015	0.27
2016	0.28
2017	0.29
2018	0.3

Nota: la producción per cápita para áreas rurales no se encuentra desagregada por departamento, ya que no se cuenta con la información suficiente para realizar eso, por lo que el mismo dato para cada año se utiliza en todas las áreas rurales del país.

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en dictamen de experto.

Tabla A.5.5.5.

Disposición de residuos por tipo de gestión

<i>Fuente</i>	<i>Servicio municipal</i>	<i>Servicio privado</i>	<i>La queman</i>	<i>La entierran</i>	<i>Tiran en cualquier lugar</i>	<i>Aboneras - reciclaje</i>	<i>Otro</i>
ENCOVI 2000	6%	18%	30%	5%	28%	10%	3%
CENSO 2002	10%	22%	31%	9%	25%	0%	4%
ENCOVI 2006	14%	21%	35%	5%	16%	7%	2%
ENCOVI 2011	17%	19%	42%	4%	14%	3%	1%
ENCOVI 2014	20%	18%	44%	4%	8%	3%	2%
CENSO 2018	17%	25%	43%	3%	4%	7%	1%

Nota: los porcentajes de la ENCOVI 2000, son los aplicados a la serie de datos 1990-1999.

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en dictamen de experto.

Tabla A.5.5.6.

Información ponderada nacional

<i>Año</i>	<i>Población</i>	<i>kg/hab_día</i>
1950	3,123,095	0.4
1951	3,206,515	0.4
1952	3,293,440	0.4
1953	3,383,981	0.4
1954	3,478,260	0.4
1955	3,576,393	0.4
1956	3,678,500	0.4
1957	3,784,721	0.4
1958	3,895,164	0.4
1959	4,009,905	0.4
1960	4,128,880	0.4
1961	4,251,911	0.4
1962	4,378,604	0.4
1963	4,508,444	0.4
1964	4,640,795	0.4
1965	4,774,984	0.4
1966	4,910,790	0.4
1967	5,047,435	0.4
1968	5,184,095	0.4
1969	5,320,100	0.4
1970	5,455,197	0.4
1971	5,589,563	0.4
1972	5,723,759	0.41
1973	5,858,466	0.42
1974	5,994,300	0.42

Anexo técnico del IBA de Guatemala: Informe del Inventario Nacional 2022

Año	Población	kg/hab_día
1975	6,131,151	0.425
1976	6,269,983	0.43
1977	6,412,667	0.435
1978	6,561,919	0.44
1979	6,720,582	0.445
1980	6,890,346	0.45
1981	7,071,186	0.45
1982	7,262,658	0.46
1983	7,462,585	0.46
1984	7,669,863	0.47
1985	7,884,034	0.475
1986	8,104,921	0.48
1987	8,332,446	0.485
1988	8,566,331	0.49
1989	8,805,995	0.495
1990	9,050,115	0.5
1991	9,296,814	0.5
1992	9,544,055	0.505
1993	9,790,619	0.51
1994	10,037,522	0.515
1995	10,286,786	0.52
1996	10,536,942	0.525
1997	10,788,362	0.53
1998	11,046,215	0.535
1999	11,311,078	0.54
2000	11,589,761	0.55
2001	11,871,565	0.56
2002	12,147,518	0.58
2003	12,415,334	0.59
2004	12,682,108	0.61
2005	12,948,292	0.62
2006	13,213,330	0.63
2007	13,477,017	0.65
2008	13,739,299	0.67
2009	14,000,190	0.68
2010	14,259,687	0.7
2011	14,521,515	0.72
2012	14,781,942	0.73
2013	15,043,981	0.74
2014	15,306,316	0.76
2015	15,567,419	0.77
2016	15,827,690	0.79

Anexo técnico del 1IBA de Guatemala: Informe del Inventario Nacional 2022

Año	Población	kg/hab_día
2017	16,087,418	0.8
2018	16,346,950	0.82

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en dictamen de experto.

REFERENCIAS

- Anacafé (Asociación Nacional de Café). (2021). Base de datos del sector café de Guatemala.
- Andreae, M. O., & Merlet, P. (2001). Emission of trace gases and aerosols from biomass burning. *Global Biogeochemical Cycles*, 15(4), 955–966.
- ARROZGUA (Asociación Guatemalteca del Arroz). (2021). Base de datos del sector arroz de Guatemala.
- BANGUAT. (2020). Comercio exterior anual.
<http://www.banguat.gob.gt/estaeco/ceie/hist/indicenr.asp?ktipo=CG>
- Bardales Espinoza, W. A., Castañón, C., & Herrera Herrera, J. L. (2019). Clima de Guatemala. Primer reporte de evaluación del conocimiento sobre cambio climático en Guatemala, 20–39.
- CEAB-UVG. (2020). Metodología para obtener los datos de actividad de las actividades generadoras de gases de efecto invernadero. En Proyecto Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero 2010, 2014 y 2010.
- CEPAL (2001). Guatemala: población y desarrollo, un diagnóstico sociodemográfico. Disponible en <https://www.cepal.org/es/publicaciones/7156-guatemala-poblacion-desarrollo-un-diagnostico-sociodemografico>
- Congreso de la República de Guatemala. (2013). Ley Marco para Regular la Reducción de la Vulnerabilidad, la Adaptación Obligatoria ante los Efectos del Cambio Climático y la Mitigación de Gases de Efecto Invernadero. Decreto 7-2013. Ciudad de Guatemala, Guatemala. Disponible en <http://www.marn.gob.gt/Multimedios/2682.pdf>
- Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC). (1992). Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. Rio de Janeiro: Naciones Unidas. Disponible en https://unfccc.int/sites/default/files/convention_text_with_annexes_spanish_for_posting.pdf
- Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC). (2019). Informe de la Conferencia de las Partes en calidad de reunión de las Partes en el Acuerdo de París sobre la tercera parte de su primer período de sesiones, celebrada en Katowice del 2 al 15 de diciembre de 2018. Decisión 18/CMA.1, Sección II, Anexo: 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. Disponible en https://unfccc.int/sites/default/files/resource/CMA2018_3a02S.pdf#page=23
- Degola, L., Trūpa, A., Aplociņa, E., & Berziņa, L. (2015). Methane from enteric fermentation of livestock in Latvia. “Nordic View to Sustainable Rural Development”, Proceedings of the 25th NJF Congress, Riga, Latvia, 16-18 June 2015, 4(Table 1), 270–273.

- Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M. G., Gonzalez, L., Tablada, M., & Robledo, C. W. (2014). InfoStat versión 2014. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. <http://www.infostat.com.ar>
- Dong, H., Mangino, J., McAllister, T. A., Hatfield, J. L., Johnson, D. E., Lassey, K. R., Aparecida de Lima, M., & Romanovskaya, A. (2006). Emisiones resultantes de la gestión del ganado y del estiércol. En Directrices del IPCC 2006 para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero (pp. 10.1-10.91). Instituto para las Estrategias Ambientales Globales (IGES). <https://doi.org/10.1002/hed.20625>
- EMEP/EEA (2019). EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019. <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2019>
- Espinosa, J., & Molina, E. (1999). Acidez y encalado de los suelos. International Plant Nutrition Institute (IPNI). http://www.cia.ucr.ac.cr/pdf/libros/Acidez_y_encalado_de_suelos
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (2017). El inventario nacional de gases de efecto invernadero para agricultura. <https://elearning.fao.org/course/view.php?id=335>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (2021a). Combustión - Sabana. FAOSTAT. <http://www.fao.org/faostat/es/#data/GH>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (2021b). Cultivos. FAOSTAT. <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (2021c). FAOSTAT. <http://www.fao.org/faostat/es/#home>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (2021d). Fertilizantes por nutriente. FAOSTAT.
- Fernando do Rosario, J. B., Concepción Toledo, D. N., Barrios Castillo, G., & González Suárez, E. (2014). Gestión De Los Residuos Sólidos Y Sus Impactos Económicos, Sociales Y Medioambientales Management of the Solid Residuals and Their Economic, Social and Environmental Impacts. Editorial Feijóo, 41(2), 9–20. Retrieved from <http://centroazucar.qf.uclv.edu.cu>
- Forster, P., V. Ramaswamy, P. Artaxo, T. Berntsen, R. Betts, D.W. Fahey, J. Haywood, J. Lean, D.C. Lowe, G. Myhre, J. Nganga, R. Prinn, G. Raga, M. Schulz and R. Van Dorland. (2007). Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. Disponible en <https://unfccc.int/sites/default/files/resource/gtmnc2.pdf>

- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). (2006). *Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero*. Eggleston, S. Buendía, L. Miwa, K., Ngara, T. y Tanabe, K. (Eds.). Japón: Instituto para las Estrategias Ambientales Globales, Programa de Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero. Disponible en <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/index.html>
- ICC (Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático). (2021). Base de datos del sector caña de azúcar.
- INE (Instituto Nacional de Estadística). (1989). Encuesta Agrícola de Granos Básicos 1984-1986-1987.
- INE (Instituto Nacional de Estadística). (2004). IV Censo Nacional Agropecuario: Número de fincas censales, superficie cultivada y producción obtenida de cultivos permanentes y semipermanentes. Tomo III.
- INE (Instituto Nacional de Estadística). (2005a). Encuesta Nacional Agropecuaria 2005.
- INE (Instituto Nacional de Estadística). (2005b). IV Censo Nacional Agropecuario. Número de fincas censales, existencia animal, producción pecuaria y características complementarias de la finca censal y del productor(a) agropecuario. Tomo IV.
- INE (Instituto Nacional de Estadística). (2006). Encuesta Nacional Agropecuaria 2006.
- INE (Instituto Nacional de Estadística). (2007). Encuesta Nacional Agropecuaria 2007.
- INE (Instituto Nacional de Estadística). (2008). Encuesta Nacional Agropecuaria 2008.
- INE (Instituto Nacional de Estadística). (2018). Encuesta Nacional Agropecuaria 2017-2018.
- INE (Instituto Nacional de Estadística). (2020a). Bases de datos de las Encuestas Nacionales de Condiciones de Vivienda. Instituto Nacional de Estadística.
<https://www.ine.gob.gt/estadisticasine/index.php/usuario/encovi>
- INE (Instituto Nacional de Estadística). (2020b). Encuesta Nacional Agropecuaria.
<https://www.ine.gob.gt/ine/estadisticas/bases-de-datos/encuesta-nacional-agropecuaria/>
- INE. (2015). Encuesta Nacional de Condiciones de Vida.
<https://www.ine.gob.gt/estadisticasine/index.php/usuario/encovi>
- INE. (2020). Estadísticas de comercio exterior y estadísticas de gestión municipal.
<https://www.ine.gob.gt/ine/estadisticas/bases-de-datos/estadisticas-de-comercio-exterior-y-estadisticas-de-gestion-municipal/>
- International Iron and Steel Institute. (2001). Steel Statistical Yearbook 2001 Edition. 289.
- Ledo, A., Heathcote, R., Hastings, A., Smith, P., & Hillier, J. (2018). Perennial-GHG: A new generic allometric model to estimate biomass accumulation and greenhouse gas emissions in

- perennial food and bioenergy crops. *Environmental Modelling and Software*, 102, 292–305. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.12.005>
- Levine, J. S. (1994). Biomass Burning and the Production of Greenhouse Gases. En R. G. Zepp (Ed.), *Climate Biosphere Interaction: Biogenic Emissions and Environmental Effects of Climate Change* (pp. 1–13).
- López Orizabal, M. C. (2009). Elaboración INGEI de los procesos industriales 1994 y 2005 y Cálculo de los potenciales de calentamiento global 1990, 1994, 2000 y 2005.
- MAGA (Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación). (2000). Primera aproximación al mapa de clasificación taxonómica de suelos de la República de Guatemala, a escala 1:250,000: Memoria Técnica.
- MAGA (Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación). (2020). Registro de insumos agrícolas [Base de datos]. Dirección de Sanidad Vegetal del Viceministerio de Sanidad Agropecuaria y Regulaciones.
- MAGA (Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación). (s/f). Informe sobre la situación de los recursos zoogenéticos de Guatemala (primer borrador). <http://www.fao.org/3/a1250e/annexes/CountryReports/Guatemala.pdf>
- MARN (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales), SGCCC (Sistema Guatemalteco de Ciencias del Cambio Climático), & PNUD (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo). (2021a). Informe de Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero de Guatemala 2010, 2014 y 2016. En Tercera Comunicación Nacional sobre Cambio Climático de Guatemala.
- MARN (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales), SGCCC (Sistema Guatemalteco de Ciencias del Cambio Climático), & PNUD (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo). (2021b). Tercera Comunicación Nacional sobre Cambio Climático de Guatemala.
- MARN. (2015). Integración de los Inventarios Nacionales de GEI 1990, 1994, 2000 y 2005. Hojas de trabajo. Segunda Comunicación Nacional sobre Cambio Climático. Dirección de Cambio Climático, Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.
- MARN. (2015). Integración de los Inventarios Nacionales de GEI 1990, 1994, 2000 y 2005. Hojas de trabajo. Segunda Comunicación Nacional sobre Cambio Climático. Guatemala, Guatemala: Dirección de Cambio Climático, Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.
- MARN. (2015a). Integración de los Inventarios Nacionales de GEI 1990, 1994, 2000 y 2005. Hojas de trabajo. Segunda Comunicación Nacional sobre Cambio Climático. Dirección de Cambio Climático, Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.
- MARN. (2015b). Segunda Comunicación Nacional sobre Cambio Climático Guatemala. MARN. <https://unfccc.int/sites/default/files/resource/gtmnc2.pdf>

- MARN. (2018). Guía para la Identificación Gráfica de los Residuos Sólidos Comunes (Vol. 1). Guatemala. Retrieved from <https://www.marn.gob.gt/Multimedios/13196.pdf>
- MEM. (2020). Revista Hidrocarburos - MEM. <https://www.mem.gob.gt/hidrocarburos/publicaciones/revista-hidrocarburos/>
- MINECO (Ministerio de Economía). (1983). III Censo nacional agropecuario 1979. Volumen III. Existencia de animales y productos agropecuarios derivados. Tomo I. Dirección General de Estadística. Ministerio de Economía.
- Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN). (2015a). Reglamento Orgánico Interno del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. Acuerdo Gubernamental Número 50-2015. Ciudad de Guatemala, Guatemala.
- Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN). (2015b). Segunda Comunicación Nacional sobre Cambio Climático. Ciudad de Guatemala, Guatemala. Disponible en <https://unfccc.int/sites/default/files/resource/gtmnc2.pdf>
- Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN). (2019). Manual Administrativo de la Dirección de Cambio Climático. Ciudad de Guatemala, Guatemala.
- Ministerio de Energía y Minas (2022). Estadísticas de comercialización de hidrocarburos. Disponible en: <https://mem.gob.gt/que-hacemos/hidrocarburos/comercializacion-downstream/estadisticas-de-mercado/>
- Moncayo, G. (2017). Estudio Del Biogas En Biodigestores. Uelzen-Niendorfer, Alemania: Aqua Limpia Engineering. Retrieved from www.aqualimpia.de
- OLADE (2017), Manual estadístico Energético. Disponible en <https://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/old0380.pdf>
- OLADE. (2021). Matriz del balance energético - Guatemala.
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). (2005). Managing the National Greenhouse Gas Inventory Process. United Nations Development Programme - GEF. Disponible en https://www.undp.org/content/undp/en/home/librarypage/environment-energy/low_emission_climateresilientdevelopment/managing-the-national-greenhouse-gas-inventory-process.html
- PROSA (Programa Nacional de Sanidad Avícola del Ministerio de Agricultura y Ganadería), ANAVI (Asociación Nacional de Avicultores), & OIRSA (Organismo Internacional Regional de Sanidad Avícola). (2018). Situación Sanitaria Avícola.
- Regalado, O., Villagrán, X., Pérez, G., Castellanos, E., Martínez, G., Incer, D., ... & Gómez, J. M. (2012). Mapa de cobertura forestal de Guatemala 2010 y dinámica de la cobertura forestal 2006–2010. National Forestry Institute (INAB), National Council for Protected Areas (CONAP), Universidad del Valle de Guatemala, Universidad Rafael Landívar, Guatemala City.

- SAT. (2020a). Estadísticas tributarias - Portal SAT. <https://portal.sat.gob.gt/portal/estadisticas-tributarias-sat/>
- SAT. (2020b). Información comercio internacional. <https://portal.sat.gob.gt/portal/operador-economico-autorizado/informacion-comercio-internacional/>
- SAT. (2020c). Información Comercio Internacional - Portal SAT. <https://portal.sat.gob.gt/portal/operador-economico-autorizado/informacion-comercio-internacional/>
- Sjardin, M. (2003). CO2 emission factors for non-energy use in the non-ferrous metal, ferroalloys and inorganics industry. Copernicus Institute.
- Superintendencia de administración tributaria (2022). Boletín estadístico. Disponible en <https://portal.sat.gob.gt/portal/estadisticas-tributarias-sat/>
- The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2019). 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories [Refinamiento de 2019 a las Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero]. Disponible en <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/index.html>
- U.S. Energy Information Administration (EIA). (s/f). Glossary. Recuperado el 15 de diciembre de 2020, de <https://www.eia.gov/tools/glossary/?id=a>
- United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). (2009). Resource guide module 3: national greenhouse gas inventories for preparing the national communications of non-annex i parties. Module 3 national greenhouse gas inventories. Bonn, Germany. Disponible en https://unfccc.int/resource/docs/publications/09_resource_guide3.pdf
- United Nations Statistics Division. (s/f). Environment Glossary. Environment Statistics. Recuperado el 15 de diciembre de 2020, de <https://unstats.un.org/unsd/environmentgl/gesform.asp?getitem=116>
- Vargas, H. (2020). Compilación de información relevante para obtener el tamaño y tipo de manejo del hato ganadero en Guatemala, requerida para estimar el inventario de gases de efecto invernadero en 2010, 2014 y 2016.
- Wilburn, D. R., & Buckingham, D. A. (2006). Apparent Consumption vs. Total Consumption-A Lead-Acid Battery Case Study.
- World Steel Association. (2020). Steel Statistical Yearbook. <https://www.worldsteel.org/steel-by-topic/statistics/steel-statistical-yearbook.html>
- Zea Osorio, N. L. (2005). Caracterización de las arcillas para la fabricación de ladrillos artesanales. Universidad de San Carlos de Guatemala.