

PRIMER INFORME BIENAL DE TRANSPARENCIA DE GUATEMALA, 2025



Ministerio de
**Ambiente y
Recursos Naturales**

CRÉDITOS Y AUTORES DEL 1BTR

Autoridades del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales:

- Ana Patricia Orantes Thomas, Ministra de Ambiente y Recursos Naturales
- Edwin Josué Castellanos López, Viceministro de Recursos Naturales y Cambio Climático
- Andrea Lucrecia Fión Góngora, Directora de Cambio Climático

Equipo de coordinación Dirección de Cambio Climático

- María Alejandra Salguero Pérez, Jefe del Departamento de Ciencia y Métrica de Cambio Climático
- Juan Pablo Reyes Quevedo, asesor del Departamento de Ciencia y Métrica de Cambio Climático

Equipo de apoyo interno a la coordinación técnica

- Karla Fabiola Díaz Ibarra, asesora de la Dirección de Cambio Climático
- Vilma Dina Aragón Chacón, asistente de la Dirección de Cambio Climático
- Mayra Angélica Peren Cana, asistente de la Dirección de Cambio Climático
- Magda Galilea Solano Morales, asistente de la Dirección de Cambio Climático
- Gregorio Saúl Pérez Arana, Jefe del Departamento de Mitigación del Cambio Climático
- Flor de María Calderón Zapet, asesora del Departamento de Mitigación del Cambio Climático

Equipo del PNUD para apoyo a la coordinación técnica

- Dunia Gabriela Ivanova López Menchú, Analista de Cambio Climático y Medio Ambiente, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
- Linon Saldarkhan, Consultora en alianzas estratégicas para la implementación de políticas climáticas, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.
- Ana Lorena Córdova López, facilitadora, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo

Equipo externo para apoyo a la coordinación técnica

- José Juan Ochoa Quezada, Director, Dirección de Cuencas del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales
- María José Pérez de León, asesora, Dirección de Cuencas del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales
- Laura Verónica López de Guillén, Jefe, Departamento de Coordinación para el Manejo Ambiental Racional de Productos Químicos y Desechos Peligrosos en Guatemala.
- Gabriel Armando Velásquez, Director Técnico, Unidad de Planificación Energético-Minero del Ministerio de Energía y Minas
- Adriana Nicolle Rodas Ortíz, asesora, Unidad de Planificación Energético-Minero del Ministerio de Energía y Minas
- Rosa Delfina Sunum Orellana, jefe, Departamento de Cambio Climático de Instituto Nacional de Bosques
- Isi Liliana Guerra Hernández, coordinadora, Unidad de Cambio Climático del Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación (apoyando desde INAB anteriormente)
- Cesar Pernillo, asesor, Unidad de Planificación y Programación del Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación

- Mónica Lucía Barillas, Directora, Dirección de Cambio Climático del Consejo Nacional de Áreas Protegidas.
- Jerson Elizardo Quevedo Corado, Coordinador para el Proyecto CBIT en Guatemala, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.
- José Salvador Dávila Munduate, encargado de mitigación para el proyecto CBIT en Guatemala, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.
- Julius Donado Leppe, encargado de monitoreo para el proyecto CBIT en Guatemala, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.

Créditos por capítulo del 1BTR de Guatemala

Capítulo 1:

- *Créditos en el respectivo capítulo.*

Capítulo 2:

- Juan Pablo Reyes Quevedo, asesor, Departamento de Ciencia y Métrica de Cambio Climático
- María Alejandra Salguero Pérez, jefe Departamento de Ciencia y Métrica de Cambio Climático
- Ana Lorena Córdova López, facilitadora, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo

Revisión de textos

- María Alejandra Salguero Pérez, jefe, Departamento de Ciencia y Métrica de Cambio Climático
- Gabriela María Fuentes Braeuner, asesora, Viceministerio de Recursos Naturales y Cambio Climático

Cita sugerida:

Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN). (2025). Primer Informe Bienal de Transparencia de Guatemala. Ciudad de Guatemala, Guatemala.

Agradecimientos:

Paulo Cornejo, consultor, apoyo técnico para la preparación del informe y asesoramiento.

Regional Climate Action Transparency Hub para países SICA, apoyo técnico, fortalecimiento de capacidades y asesoramiento.

Promesa Climática del PNUD, apoyo técnico, implementación y generación de insumos para la elaboración.

Proyecto CBIT en Guatemala, CATIE, apoyo técnico, desarrollo y generación de insumos para la elaboración.

CONTENIDOS

CONTENIDOS.....	4
SIGLAS Y ACRÓNIMOS	7
SECCIÓN I: INFORME DEL INVENTARIO NACIONAL	
CRÉDITOS Y AUTORES DEL DIN.....	13
CAPÍTULO 1: CIRCUNSTANCIAS NACIONALES, ARREGLOS INSTITUCIONALES E INFORMACIÓN TRANSVERSAL.....	14
1.1. ANTECEDENTES GENERALES DE LOS INVENTARIOS Y EL CAMBIO CLIMÁTICO	14
1.2. DESCRIPCIÓN DE LOS ARREGLOS INSTITUCIONALES PARA EL INVENTARIO	15
1.3. DESCRIPCIÓN DE LAS METODOLOGÍAS Y FUENTES DE INFORMACIÓN.....	18
1.4. ANÁLISIS DE CATEGORÍAS PRINCIPALES.....	20
1.5. DESCRIPCIÓN DEL PLAN DE GCCV Y SU IMPLEMENTACIÓN	23
1.6. EVALUACIÓN GENERAL DE LA INCERTIDUMBRE.....	24
1.7. EVALUACIÓN GENERAL DE LA EXHAUSTIVIDAD	25
1.8. SISTEMA DE MEDICIÓN	28
CAPÍTULO 2: TENDENCIA DE LAS EMISIONES Y ABSORCIONES NACIONALES.....	29
2.1. DESCRIPCIÓN DE LAS EMISIONES Y ABSORCIONES DE GEI DE 2022	29
2.2. DESCRIPCIÓN DE LA TENDENCIA DE LOS GEI POR SECTOR	34
2.3. DESCRIPCIÓN DE LA TENDENCIA POR GEI	35
2.4. DESCRIPCIÓN DE LA TENDENCIA POR GAS PRECURSOR	37
CAPÍTULO 3: SECTOR ENERGÍA (CRT 1).....	39
3.1. PANORAMA GENERAL DEL SECTOR	39
3.2. ACTIVIDADES DE QUEMA DE COMBUSTIBLES (CRT 1.A)	45
3.3. EMISIONES FUGITIVAS DE COMBUSTIBLES (CRT 1.B)	72
3.4. TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO DE CO ₂ (CRT 1.C).....	76
CAPÍTULO 4: SECTOR PROCESOS INDUSTRIALES Y USO DE PRODUCTOS (CRT 2)	77
4.1. PANORAMA GENERAL DEL SECTOR.....	77
4.2. INDUSTRIA DE LOS MINERALES (CRT 2.A)	84
4.3. INDUSTRIA QUÍMICA (CRT 2.B)	98
4.4. INDUSTRIA DE LOS METALES (CRT 2.C)	99
4.5. PRODUCTOS NO ENERGÉTICOS DE COMBUSTIBLES Y USO DE SOLVENTES (CRT 2.D)	107
4.6. INDUSTRIA ELECTRÓNICA (CRT 2.E)	113
4.7. USO DE PRODUCTOS SUSTITUTOS DE LAS SUSTANCIAS QUE AGOTAN LA CAPA DE OZONO (CRT 2.F)..	113
4.8. MANUFACTURA Y UTILIZACIÓN DE OTROS PRODUCTOS (CRT 2.G).....	124

4.9.	OTROS (CRT 2.H).....	124
CAPÍTULO 5: SECTOR AGRICULTURA (CRT 3)		125
5.1.	PANORAMA GENERAL DEL SECTOR.....	125
5.2.	FERMENTACIÓN ENTÉRICA (CRT 3.A).....	131
5.3.	GESTIÓN DEL ESTIÉRCOL (CRT 3.B).....	136
5.4.	CULTIVO DEL ARROZ (CRT 3.C)	141
5.5.	SUELOS AGRÍCOLAS (CRT 3.D)	145
5.6.	QUEMA PRESCRITA DE SABANAS (CRT 3.E).....	153
5.7.	QUEMA DE RESIDUOS AGRÍCOLAS EN EL CAMPO (CRT 3.F)	155
5.8.	ENCALADO (CRT 3.G).....	160
5.9.	APLICACIÓN DE UREA (CRT 3.H).....	160
5.10.	OTROS FERTILIZANTES QUE CONTIENEN CARBONO (CRT 3.I).....	163
CAPÍTULO 6: SECTOR USO DE LA TIERRA, CAMBIO DE USO DE LA TIERRA Y SILVICULTURA (CRT 4).....		164
6.1.	PANORAMA GENERAL DEL SECTOR.....	164
6.2.	DEFINICIONES DE USO DE LA TIERRA Y LOS SISTEMAS DE CLASIFICACIÓN	168
6.3.	MÉTODOS UTILIZADOS PARA LA REPRESENTACIÓN DE LAS TIERRAS	170
6.4.	MÉTODOS PARA LAS PERTURBACIONES NATURALES	171
6.5.	TIERRAS FORESTALES (CRT 4.A).....	171
6.6.	TIERRAS DE CULTIVO (CRT 4.B)	177
6.7.	PASTIZALES (CRT 4.C)	181
6.8.	HUMEDALES (CRT 4.D)	185
6.9.	ASENTAMIENTOS (CRT 4.E)	189
6.10.	OTRAS TIERRAS (CRT 4.F)	192
6.11.	PRODUCTOS DE MADERA RECOLECTADA (CRT 4.G)	196
CAPÍTULO 7: SECTOR RESIDUOS (CRT 5).....		197
7.1.	PANORAMA GENERAL DEL SECTOR.....	197
7.2.	DISPOSICIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS (CRT 5.A)	199
7.3.	TRATAMIENTO BIOLÓGICO DE RESIDUOS SÓLIDOS (CRT 5.B)	211
7.4.	INCINERACIÓN Y QUEMA ABIERTA DE RESIDUOS (CRT 5.C)	216
7.5.	TRATAMIENTO Y DESCARGA DE AGUAS RESIDUALES (CRT 5.D)	221
7.6.	OTROS (CRT 4.E)	230
CAPÍTULO 8: NUEVOS CÁLCULOS Y MEJORAS		231
9.1.	EXPLICACIÓN Y JUSTIFICACIÓN DE LOS NUEVOS CÁLCULOS.....	231
9.2.	IMPLICANCIAS DE LOS NUEVOS CÁLCULOS EN EL INVENTARIO.....	231
9.3.	ÁREAS DE MEJORAMIENTO IDENTIFICADAS	232

SECCIÓN II: SEGUIMIENTO DE LOS PROGRESOS ALCANZADOS EN LA APLICACIÓN Y EL CUMPLIMIENTO DE LA NDC DE GUATEMALA.

CAPÍTULO 1. CIRCUNSTANCIAS NACIONALES Y ARREGLOS INSTITUCIONALES.....	235
1.1. ANTECEDENTES DE LA NDC DE GUATEMALA.....	235
1.2. CIRCUNSTANCIAS NACIONALES.....	236
1.3. ARREGLOS INSTITUCIONALES PARA LA NDC.....	241
CAPÍTULO 2. DESCRIPCIÓN DE LA NDC DE GUATEMALA	249
2.1. META GLOBAL DE LA NDC.....	249
CAPÍTULO 3. SEGUIMIENTO DE LOS PROGRESOS ALCANZADOS EN LA NDC.....	251
3.1. AVANCES DEL INDICADOR DE LA NDC DE GUATEMALA	251
CAPÍTULO 4. POLÍTICAS, MEDIDAS, ACCIONES Y PLANES DE MITIGACIÓN, RELACIONADOS CON LA APLICACIÓN Y EL CUMPLIMIENTO DE LA NDC	256
4.1. DESCRIPCIÓN DE LAS POLÍTICAS Y MEDIDAS	257
CAPÍTULO 5. RESUMEN DE LAS EMISIONES NACIONALES	273
ANEXOS	275
ANEXO 1. ESTIMACIÓN DE LAS CATEGORÍAS PRINCIPALES.....	275
ANEXO 2. REPORTE DE LA EVALUACIÓN GENERAL DE LA INCERTIDUMBRE	295
ANEXO 3. RESUMEN DE LOS MÉTODOS Y FACTORES DE EMISIÓN APLICADOS.....	300
ANEXO 4. RESUMEN DEL INVENTARIO PRESENTADOS PREVIAMENTE POR GUATEMALA.....	302
ANEXO 5. OTRA INFORMACIÓN SECTORIAL.....	304
REFERENCIAS	332

SIGLAS Y ACRÓNIMOS

1BTR	Primer Informe Bienal de Transparencia 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
AGS	Agricultura, ganadería y seguridad alimentaria
ANACAFE	Asociación Nacional de Café
AR4	Cuarto Informe de Evaluación del IPCC (siglas en inglés)
AR5	Quinto Informe de Evaluación del IPCC, siglas en inglés
ATN	Atlántico Tropical Norte
BANGUAT	Banco de Guatemala
BE	Balance energético de Guatemala
BTR	Informes bienales de transparencia (siglas en inglés)
Ca,Mg(CO₃)₂	Dolomita
CaCO₃	Carbonato de calcio
CaO	Óxido de calcio
CBIT-GSP	Iniciativa de Fomento de la Capacidad para la Transparencia y Programa de Apoyo Global
CBIT (proyecto)	Fortalecimiento del Marco de Transparencia Mediante la Creación de Capacidades Nacionales para Implementar el Acuerdo de París en Guatemala
CEAB	Centro de Estudios Ambientales y Biodiversidad
CEDAW	Convención sobre la Eliminación de Todas las Formas de Discriminación Contra la Mujer, por sus siglas en inglés
CH₄	Metano
CITES	Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres, por sus siglas en inglés
CKD	Polvo de horno de cemento, siglas en inglés
CMNUCC	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, o simplemente Convención
CNCC	Consejo Nacional de 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
COP	Conferencia de las Partes
COVDM	Compuestos orgánicos volátiles diferentes al metano
CRT	Formato común de reporte de la RedINGEI
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
DIPLAN	Dirección de Información y Planeamiento
DIN	Documento del Inventario Nacional
DQO	Demanda química de oxígeno
DR	Factor de emisión por defecto del Refinamiento de 2019 del IPCC
ENACTS	Conjunto de datos que fusiona el valor de las estaciones convencionales de INSIVUMEH y los datos satelitales de CHIRPS para precipitación y MERRA2 para temperatura. Proporciona valores diarios de temperatura y precipitación desde 1981.
ENCOVI	Encuestas Nacionales de Condiciones de Vida
ENDBG	Estrategia Nacional para la Reducción de la Deforestación y Degradación de los Bosques en Guatemala
ENDBE	Estrategia Nacional de Desarrollo con Bajas Emisiones
ENE	Energía (código para NDC)
ENGBS	Estrategia nacional de ganadería bovina sostenible con bajas emisiones
ENOS	El Niño Oscilación del Sur
ENREDD+	Estrategia Nacional para la Reducción de Emisiones Forestales
ETA	Enfermedades transmitidas por agua y alimentos
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
FCI	Financiamiento Climático Internacional
FCPF	Fondo Cooperativo para el Carbono de los Bosques (FCPF, por sus siglas en inglés)
FCR	Formato común de reporte de la RedINGEI
FE	Factor de emisión
FeNi	Ferróníquel
FIP	Programa de Inversión Forestal, por sus siglas en inglés
FOD	Modelo de descomposición de primer orden, en inglés
FONCC	Fondo Nacional de Cambio Climático
FORT	Fortalecimiento de Capacidades
GCCV	Garantía y control de calidad, y verificación
GCI	Grupo de Coordinación Interinstitucional
GEF	Fondo para el Medio Ambiente Mundial, siglas en inglés
GEI	Gases de Efecto Invernadero
GIRH	Gestión Integrada de Recursos Hídricos
GIMBUT	Grupo Interinstitucional de Monitoreo de Bosques y Uso de la Tierra de Guatemala
GTAbe	Grupo Técnico de Adaptación basada en Ecosistemas
GTQ	Quetzales
HFC	Hidrofluorocarbonos
IBA	Informe bienal de actualización
ICC	Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático

IDH	Índice de desarrollo humano
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
INF	Infraestructura
INFOM	Instituto de fomento municipal de Guatemala
INGEI	Inventario nacional de gases de efecto invernadero
INSIVUMEH	Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología de Guatemala
InterU-GRD	Plataforma Guatemalteca Interuniversitaria de Gestión de Riesgo de Desastres
IPCC	Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, siglas en inglés
IPM-Gt	Índice de pobreza multidimensional de Guatemala
IPPU	Procesos industriales y uso de productos, siglas en inglés
Kt	Kilo toneladas
kWh	Kilovatio por hora
Ley marco de cambio climático	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 Legislativo 7-2013)
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
MCH	Meteorología, Climatología e Hidrología
MDL	Mecanismo de Desarrollo Limpio
MEM	Ministerio de Energía y Minas de Guatemala
MER	Monitoreo, Evaluación y Reporte
MICCG	Mesa Indígena de Cambio Climático de Guatemala
MIDES	Ministerio de Desarrollo
MINEX	Ministerio de Relaciones Exteriores
MINEX:	Ministerio de Relaciones Exteriores
MINFIN	Ministerio de Finanzas Públicas
MNV	Medición, Notificación y Verificación
MPD	Modalidades, procedimientos y directrices para el marco de transparencia del Acuerdo de París
MRV	Monitoreo, Reporte y Verificación
MSPAS	Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social
N2O	Óxido nitroso
NA	No aplica (clave de notación)
Na2CO3	Ceniza de sosa o carbonato de sodio
NAMA	Acciones de mitigación nacionalmente apropiadas (por sus siglas en inglés: Nationally Appropriate Mitigation Actions)
NAP	Procesos nacionales de planificación de la adaptación, por sus siglas en inglés
NDC	Contribución Determinada a Nivel Nacional, siglas en inglés
NE	No estimado (clave de notación)
NF3	Trifluoruro de nitrógeno

NO	No ocurre (clave de notación)
NO2	Óxido nitroso
NOx	Óxidos de nitrógeno
NREF/NRF	Nivel de referencia de emisiones y absorciones forestales
NTGDR	Norma Técnica de Generación Distribuida Renovable
OIM	Organización Internacional para las Migraciones
OMS	Organización Mundial de la Salud
PANCC	Plan de acción nacional de cambio climático
PCA	Potenciales de calentamiento atmosférico
PdP	Posición de País
PEA	Población económicamente activa
PFC	Perfluorocarbonos
PIB	Producto interno bruto
PINPEP	Programa de Incentivos Forestales para Poseedores de Pequeñas Extensiones de Tierra de Vocación Forestal o Agroforestal
PMR	Productos de la madera recolectada
PNUD	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
PROBOSQUE	Ley de Fomento al Establecimiento, Recuperación, Restauración, Manejo, Producción y Protección de Bosques en Guatemala
PRONACOM	Programa Nacional de Competitividad
RBM	Reserva de la Biosfera Maya
REA	Recursos forestales, Ecosistemas y Áreas protegidas
REDD+	Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación de Bosques
Redfia	Red Nacional de Formación e investigación Ambiental
RedINGEI	Red Latinoamericana de Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero
REP	Reporte
RES	Residuos
SAO	Sustancias que agotan la capa de ozono
SAT	Superintendencia de Administración Tributaria
SDRS	Sitios de Disposición de Residuos Sólidos
SEGEPLAN	Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia de la República de Guatemala
SEPREM	Secretaría Presidencial de la Mujer
SF6	Hexafluoruro de azufre
SGCCC	Sistema Guatemalteco de Ciencias del Cambio Climático
SIFGUA	Sistema de Información General de Guatemala
SIGAP	Sistema Guatemalteco de Áreas Protegidas
SLD	Salud Humana
SM&E	Sistemas de Monitoreo y Evaluación
SNER	Sistema Nacional de Extensión Rural
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
URL	Universidad Rafael Landívar
USAID	Agencia de los Estados Unidos de América para el Desarrollo Internacional, siglas en inglés
USD	Dólares americanos o estadounidenses
UTCUTS	Uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura
UVG	Universidad del Valle de Guatemala



Sección I: Informe del Inventario Nacional

Informe del Inventario Nacional 2024 que incluye el Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero 1990-2022 de Guatemala

CRÉDITOS Y AUTORES DEL DIN

Contacto del Sistema Nacional de Inventarios de Guatemala

Nombre:	Juan Pablo Reyes Quevedo
Cargo:	Asesor
Unidad:	Departamento de Ciencia y Métrica de Cambio Climático
Organización:	Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales
Dirección:	7 avenida 3-67 zona 13
Teléfono:	502 2423-0500
Correo:	jpreyes@marn.gob.gt
Sitio web:	https://www.marn.gob.gt/viceministro-de-recursos-naturales-y-cambio-climatico/direccion-de-cambio-climatico/

Listado de autores y contribuciones del DIN de Guatemala

Autor principal:	Juan Pablo Reyes Quevedo, asesor, Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales
Editor:	María Alejandra Salguero Pérez, jefe, Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales
Capítulo 1:	Juan Pablo Reyes Quevedo, asesor, Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales
Capítulo 2:	Juan Pablo Reyes Quevedo, asesor, Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales
Capítulo 3:	Jerson Quevedo Corado, Coordinador del proyecto CBIT en Guatemala, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza
Capítulo 4:	Jorge Plauchú, consultor, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza
Capítulo 5:	Juan Pablo Reyes Quevedo, asesor, Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales
Capítulo 6:	Juan Pablo Reyes Quevedo, asesor, Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales
Capítulo 7:	Sofía Gabriela Rodas Samayoa, consultora, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza
Capítulo 8:	Juan Pablo Reyes Quevedo, asesor, Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales
Capítulo 9:	Juan Pablo Reyes Quevedo, asesor, Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales
Revisión de textos:	Juan Pablo Reyes Quevedo, asesor, Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, para capítulos 2, 3 y 7. María Alejandra Salguero Pérez, jefe, Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.
Otros créditos:	CBIT-GSP, desarrollo y divulgación de la plantilla para elaborar este informe.

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 la quinta presentación ante la CMNUCC e incluye una serie de tiempo desde 1990 a 2022 como parte del Primer Informe Bienal de Transparencia, presentándose como un segundo Informe del Inventario Nacional. Para el análisis del inventario,

durante todo el documento se hace referencia a 2022, el último año de la serie temporal, a menos que se explicita lo contrario.

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. En el presente inventario, se trabajó en su mayoría por parte del Departamento de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, con el apoyo del GEF, a través del proyecto CBIT, que está siendo implementado con el CATIE, fortaleciendo el liderazgo y mejorando los canales de comunicación interinstitucional con el MARN.

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 al ser el sistema general de toda la información sobre Cambio Climático.

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.

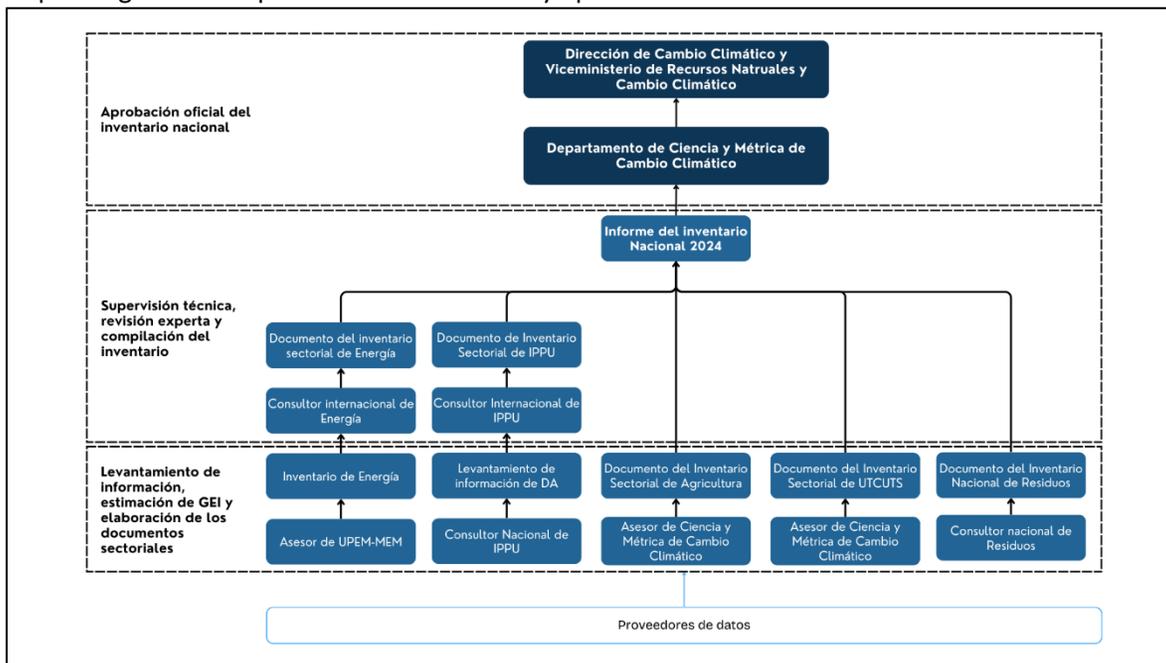
El SNIGT fue utilizado como un piloto en la elaboración del Primer Informe del Inventario Nacional, presentado como un anexo técnico del Primer Informe Bienal de Actualización de Guatemala y fue utilizado en la elaboración de la actual serie temporal 1990 – 2022, presentada en este informe. Este subsistema seguirá siendo la base principal para la elaboración de los inventarios del país en futuras presentaciones.

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 del Proyecto CBIT en Guatemala a través de los recursos financieros del Fondo para el Medio ambiente Mundial (GEF). La Figura 1.1 presenta un esquema general de la elaboración del inventario 1990-2022.

Figura 1.1.

Esquema general del proceso de elaboración y aprobación del inventario 1990-2022



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 personal del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales y consultores nacionales e internacionales contratados por el CATIE, a través del proyecto CBIT en Guatemala, y apoyados por ministerios sectoriales e instituciones gubernamentales, como el Ministerio de Energía y Minas (MEM) y el Instituto Nacional de Bosques (INAB).

En el proceso de desarrollo del inventario se presentaron brechas y obstáculos de gestión que alteraron la planificación inicial. Con esto, el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales tomó la decisión de mejorar el equipo técnico de la Dirección de Cambio Climático para tener un equipo fortalecido que sea el encargado de elaborar el inventario de forma centralizada, abasteciéndose de la información que generan los entes rectores sectoriales.

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, se hizo uso del subsistema como herramienta clave para la coordinación y compilación y se ha actualizado acorde a las herramientas necesarias para mejorar con la presentación de informes con cada ciclo. Esta práctica se mantendrá con cada actualización, velando por que se apliquen lecciones aprendidas y se continúen cerrando brechas identificadas en cada proceso.

1.3. Descripción de las metodologías y fuentes de información

El inventario 1990-2022 de Guatemala ha sido elaborado aplicando 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, continuando la metodología aplicada en el 1IBA y 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

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

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 casi 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 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. El Anexo 3 presenta el resumen de los métodos y factores de emisión aplicados para la serie temporal 1990-2022 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 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 (ICC) 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

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

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.

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. Guatemala, adoptando la disposición de flexibilidad sobre la identificación de categorías principales, en lugar del 95% se identificaron las que totalizan hasta el 85% de las emisiones nacionales para el método 1.

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 2022, y para la tendencia 1990-2022, 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 cuatro las categorías que cumplen todos los criterios: el CO₂ del *transporte terrestre*; el CO₂ de las *tierras forestales que permanecen como tales*, de las *tierras forestales convertidas en tierras de cultivo*, y de las *tierras forestales convertidas en pastizales*, y son estas las categorías que el país identifica como categorías principales.

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, 2022 y de la tendencia 1990-2022

A	B	C	D												E			
			1990				2022				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	
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Sólido	CO ₂						X		X		X			3	12	25.0%	
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Biomasa	CH ₄								X				X	2	12	16.7%	
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Biomasa	N ₂ O						X	X				X	X	4	12	33.3%	
1.A.1.b.	Refinación del petróleo - Líquido	CO ₂	X	X		X						X	X		X	6	12	50.0%
1.A.2.	Industrias manufactureras y de la construcción - Líquido	CO ₂		X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	10	12	83.3%
1.A.3.b.	Transporte terrestre	CO₂	X	X	X	X	12	12	100.0%									
1.A.3.b.	Transporte terrestre	CH ₄								X				X	X	3	12	25.0%
1.A.3.b.	Transporte terrestre	N ₂ O				X			X	X				X	X	5	12	41.7%
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			5	12	41.7%	
1.A.4.b.	Residencial - Biomasa	CH ₄		X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	10	12	83.3%	
1.A.4.b.	Residencial - Biomasa	N ₂ O			X	X			X	X			X		5	12	41.7%	
2.A.1.	Producción de cemento	CO ₂		X				X					X		3	12	25.0%	
2.A.2.	Producción de cal	CO ₂		X											1	12	8.3%	
2.F.1.	Refrigeración y aire acondicionado	HFC						X	X	X			X	X	5	12	41.7%	
3.A.1.a.	Vacas lecheras	CH ₄		X	X	X				X		X		X	6	12	50.0%	
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									1	12	8.3%	
3.A.4.e.	Equinos	CH ₄				X								X	2	12	16.7%	
3.B.1.b.	Otros vacunos	N ₂ O				X									1	12	8.3%	
3.B.3.	Porcinos	N ₂ O				X									1	12	8.3%	
3.B.5.	Emisiones indirectas de N2O	N ₂ O			X	X			X	X				X	5	12	41.7%	
3.C.2.	Alimentadas a lluvia	CH ₄				X								X	2	12	16.7%	
3.D.1.a.	Fertilizantes inorgánicos	N ₂ O		X	X	X			X	X		X	X	X	8	12	66.7%	
3.D.1.b.i.	Estiércol animal aplicado a los suelos	N ₂ O			X	X			X	X				X	5	12	41.7%	
3.D.1.c.	Orina y estiércol depositado por animales de pastoreo	N ₂ O			X	X			X	X				X	5	12	41.7%	
3.D.1.d.	Residuos de cosechas	N ₂ O			X	X			X	X			X	X	6	12	50.0%	

A Código	B Categorías de fuente y sumidero de GEI	C GEI	D											E			
			1990				2022				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.2.a.	Deposición atmosférica	N ₂ O			X	X			X	X				X	5	12	41.7%
3.D.2.b.	Lixiviación y escurrimiento	N ₂ O		X	X	X			X	X				X	6	12	50.0%
3.E.	Quema prescrita de sabanas	CH ₄		X	X	X			X			X	X	X	7	12	58.3%
3.E.	Quema prescrita de sabanas	N ₂ O		X	X	X			X			X	X	X	7	12	58.3%
3.F.	Quema de residuos agrícola en el campo	CH ₄			X	X			X					X	4	12	33.3%
4.A.1.	Tierras forestales que permanecen como tales	CO₂	X		6	6	100.0%										
4.A.1.	Tierras forestales que permanecen como tales	CH ₄			X				X						2	6	33.3%
4.A.2.a.	Tierras de cultivo convertidas en tierras forestales	CO ₂							X			X		X	3	6	50.0%
4.A.2.b.	Pastizales convertidos en tierras forestales	CO ₂			X		X		X			X		X	5	6	83.3%
4.B.2.a.	Tierras forestales convertidas en tierras de cultivo	CO₂	X		6	6	100.0%										
4.B.2.b.	Pastizales convertidos en tierras de cultivo	CO ₂			X				X				X		3	6	50.0%
4.C.2.a.	Tierras forestales convertidas en pastizales	CO₂	X		6	6	100.0%										
4.C.2.b.	Tierras de cultivo convertidas en pastizales	CO ₂			X										1	6	16.7%
5.A.1.	Sitios de disposición de residuos gestionados	CH ₄		X	X	X		X	X	X			X		7	12	58.3%
5.A.2.	Sitios de disposición de residuos no gestionados	CH ₄			X	X		X	X	X			X	X	7	12	58.3%
5.B.1.	Compostaje	CH ₄								X					1	12	8.3%
5.C.2.	Incineración abierta de residuos	CO ₂			X	X			X	X			X	X	6	12	50.0%
5.C.2.	Incineración abierta de residuos	CH ₄			X	X			X	X			X	X	6	12	50.0%
5.C.2.	Incineración abierta de residuos	N ₂ O								X					1	12	8.3%
5.D.1.	Aguas residuales domésticas	CH ₄				X				X					2	12	16.7%
5.D.1.	Aguas residuales domésticas	N ₂ O				X				X					2	12	16.7%

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.

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 fueron 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 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 1990-2022 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 $\pm 21.9\%$ en 2022, mientras que la incertidumbre de la tendencia 1990-2022 fue de $\pm 35.1\%$. 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 específicos 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 2022, y $\pm 45.3\%$ para la tendencia 1990-2022. 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 2022, y $\pm 109.0\%$ para la tendencia 1990-2022. 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 2022, y $\pm 58.0\%$ para la tendencia 1990-2022. 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 2022, y $\pm 45.9\%$ para la tendencia 1990-2022. 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 $\pm 88.1\%$ en 2022, y $\pm 273.2\%$ para la tendencia 1990-2022. 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 2022 y la tendencia de 1990-2022 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 1990-2022. 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

GEI	Sector	Categorías de fuente y sumidero
	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
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

GEI	Asignación según las Directrices del IPCC de 2006	Asignación según el país	Explicación o comentario
	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 *Quinto Informe de Evaluación del IPCC (AR5)*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 1990-2022

Nombre comercial o común	Fórmula química	Valor
Dióxido de carbono	CO ₂	1
Metano	CH ₄	28
Óxido nitroso	N ₂ O	265
HFC-23	CHF ₃	12,400
HFC-32	CH ₂ F ₂	677
HFC-125	CHF ₂ CF ₃	3,170
HFC-134a	CH ₂ FCF ₃	1,300
HFC-143a	CH ₃ CF ₃	4,800
HFC-152a	CH ₃ CHF ₂	138
HFC-227ea	CF ₃ CHF ₂ CF ₃	3,350
HFC-236fa	CF ₃ CH ₂ CF ₃	8,060
HFC-245fa	CH ₂ FCF ₂ CHF ₂	858
HFC-365mfc	CH ₃ CF ₂ CH ₂ CF ₃	804
HFC-43-10mee	CF ₃ CHFCH ₂ CF ₂ CF ₃	1,650

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en el AR5 del IPCC (IPCC, 2014).

³ Disponible en https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5_all_final.pdf

CAPÍTULO 2: TENDENCIA DE LAS EMISIONES Y ABSORCIONES NACIONALES

2.1. Descripción de las emisiones y absorciones de GEI de 2022

En 2022, las emisiones y absorciones de gases de efecto invernadero incluidas en el inventario de Guatemala, por tipo de GEI, fueron 51,273.0 kt CO₂; 369.2 kt CH₄; 8.5 kt N₂O; y 527.2 kt CO₂ eq de HFC, así como los gases precursores NO_x, CO, COVDM y SO_x (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. La Tabla 2.2 es el resumen de las emisiones y el balance nacional de gases de efecto invernadero. 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, incluyendo gases precursores, por sector, categoría y GEI para 2022

Código	Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero	CO ₂ neto (kt)	CH ₄ (kt)	N ₂ O (kt)	HFC (kt CO ₂ eq)	PFC (kt CO ₂ eq)	SF ₆ (kt)	NF ₃ (kt)	NO _x (kt)	CO (kt)	COVDM (kt)	SO _x (kt)	Total de GEI (kt CO ₂ eq)
0.	Todas las emisiones y las absorciones nacionales	51,273.0	369.2	8.5	527.2	NO	NE, NO	NO	104.7	1,935.2	212.1	21.9	64,382.5
1.	Energía	17,933.0	100.6	2.2					89.3	1,413.4	208.9	21.9	21,381.6
1.A.	Actividades de quema de combustible	17,933.0	100.6	2.2					89.1	1,413.2	208.7	21.7	21,380.6
1.A.1.	Industrias de la energía	1,608.2	2.2	0.3					9.6	6.8	0.6	14.5	1,812.7
1.A.2.	Industrias manufactureras y de la construcción	4,048.3	0.1	0.0					24.0	3.1	1.2	2.2	4,058.8
1.A.3.	Transporte	11,066.7	2.9	0.5					38.3	165.3	19.4	0.1	11,293.4
1.A.4.	Otros sectores	1,209.8	95.3	1.3					17.2	1,238.0	187.6	4.9	4,215.7
1.A.5.	Otros (especificar)	NO	NO	NO					NO	NO	NO	NO	NO
1.B.	Emisiones fugitivas de combustibles	0.0	0.0	NO					0.2	0.2	0.2	0.2	0.9
1.B.1.	Combustibles sólidos	NO	NO	NO					NO	NO	NO	NO	NO
1.B.2.	Petróleo y gas natural y otras emisiones de la producción de energía	0.0	0.0	NO					0.2	0.2	0.2	0.2	0.9
1.C.	Transporte y almacenamiento de CO ₂	NO											NO
2.	Procesos industriales y uso de productos	2,212.4	NO	NE, NO	527.2	NO	NE, NO	NO	0.0	0.5	3.2	0.0	2,739.6
2.A.	Industria de los minerales	2,118.0							NO	NO	0.8	NO	2,118.0
2.B.	Industria química	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
2.C.	Industria de los metales	49.4	NO	NO	NO	NO	NO	NO	0.0	0.5	0.0	0.0	49.4
2.D.	Productos no energéticos de combustibles y uso de solventes	45.0	NO	NO					NO	NO	0.4	NO	45.0
2.E.	Industria electrónica				NO	NO	NO	NO					NO
2.F.	Uso de productos sustitutos de las SAO				527.2	NO	NO	NO					527.2
2.G.	Manufactura y utilización de otros productos	NO	NO	NE	NO	NO	NE	NO	NO	NO	NO	NO	NE
2.H.	Otros (especificar)	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	2.0	NO	NO
3.	Agricultura	32.4	189.8	4.7					11.5	275.3	NO		6,578.4
3.A.	Fermentación entérica		173.9										4,870.3
3.B.	Gestión del estiércol		6.2	0.9							NO		413.1
3.C.	Cultivo del arroz		0.8								NO		23.4
3.D.	Suelos agrícolas			3.2							NO		855.4
3.E.	Quema prescrita de sabanas		4.4	0.4					7.4	123.9	NO		228.9
3.F.	Quema de residuos agrícola en el campo		4.4	0.1					4.1	151.4	NO		154.9
3.G.	Encalado	NE											NE
3.H.	Aplicación de urea	32.4											32.4
3.I.	Otros fertilizantes que contienen carbono	NO											NO
3.J.	Otros (especificar)	NO	NO	NO					NO	NO	NO		NO
4.	Uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura	30,898.0	16.1	0.5					3.8	246.0	NO		31,473.7
4.A.	Tierras forestales	16,943.0	16.1	0.5					3.8	246.0	NO		17,518.7
4.B.	Tierras de cultivo	3,075.4	IE	IE					NE	NE	NO		3,075.4
4.C.	Pastizales	10,274.6	IE	IE					NE	NE	NO		10,274.6
4.D.	Humedales	90.9	NE	NE					NE	NE	NO		90.9
4.E.	Asentamientos	167.6	NO	NO					NO	NO	NO		167.6
4.F.	Otras tierras	346.4	NO	NO					NO	NO	NO		346.4
4.G.	Productos de madera recolectada	NE											-
4.H.	Otros (especificar)	NO	NO	NO					NO	NO	NO		-
5.	Residuos	197.1	62.7	1.2					NO	NO	0.0	-	2,267.2

5.A.	Disposición de residuos sólidos	NA	46.5					NO	NO	0.0		1,303.1
5.B.	Tratamiento biológico de residuos sólidos		2.5	0.2				NO	NO	NO		121.9
5.C.	Incineración y quema abierta de residuos	197.1	8.0	0.2				NO	NO	NO	NO	468.5
5.D.	Tratamiento y descarga de aguas residuales		5.7	0.8				NO	NO	0.0		373.6
5.E.	Otros (especificar)	NO	NO	NO				NO	NO	NO	NO	NO
Elementos informativos												
	Tanque internacional	317.7	0.0	0.0				1.0	0.2	0.1	0.1	320.1
	Aviación internacional	317.7	0.0	0.0				1.0	0.2	0.1	0.1	320.1
	Navegación internacional	IE	IE	IE				IE	IE	IE	IE	IE
	Operaciones multilaterales	NO	NO	NO				NO	NO	NO	NO	NO
	Emisiones de CO ₂ de la biomasa	42,901.7										42,901.7
	CO ₂ capturado	NO										NO
	Almacenamiento a largo plazo de C en sitios de disposición de residuos	NE										NE
	N ₂ O indirecto			NE								NE
	CO ₂ indirecto	NE										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.

Tabla 2.2

Resumen del inventario nacional de gases de efecto invernadero por sector, categoría y GEI para 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)	Total de GEI (kt CO ₂ eq)
	Todas las emisiones y las absorciones nacionales	51,273.0	369.2	8.5	527.2	NO	NE, NO	NO	64,382.5
1.	Energía	17,933.0	100.6	2.2					21,323.6
1.A.	Actividades de quema de combustible	17,933.0	100.6	2.2					21,322.6
1.A.1.	Industrias de la energía	1,608.2	2.2	0.3					1,754.7
1.A.2.	Industrias manufactureras y de la construcción	4,048.3	0.1	0.0					4,058.8
1.A.3.	Transporte	11,066.7	2.9	0.5					11,293.5
1.A.4.	Otros sectores	1,209.8	95.3	1.3					4,215.7
1.A.5.	Otros (especificar)	NO	NO	NO					-
1.B.	Emisiones fugitivas de combustibles	0.0	0.0	NO					0.9
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					0.9
1.C.	Transporte y almacenamiento de CO ₂	NO							-
2.	Procesos industriales y uso de productos	2,212.4	NO	NE, NO	527.2	NO	NE, NO	NO	2,739.6
2.A.	Industria de los minerales	2,118.0							2,118.0
2.B.	Industria química	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	-
2.C.	Industria de los metales	49.4	NO	NO	NO	NO	NO	NO	49.4
2.D.	Productos no energéticos de combustibles y uso de solventes	45.0	NO	NO					45.0
2.E.	Industria electrónica				NO	NO	NO	NO	-
2.F.	Uso de productos sustitutos de las SAO				527.2	NO	NO	NO	527.2
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	32.4	189.8	4.7					6,578.4
3.A.	Fermentación entérica		173.9						4,870.3
3.B.	Gestión del estiércol		6.2	0.9					413.1
3.C.	Cultivo del arroz		0.8						23.4
3.D.	Suelos agrícolas			3.2					855.4
3.E.	Quema prescrita de sabanas		4.4	0.4					228.9
3.F.	Quema de residuos agrícola en el campo		4.4	0.1					154.9
3.G.	Encalado	NE							-
3.H.	Aplicación de urea	32.4							32.4
3.I.	Otros fertilizantes que contienen carbono	NO							-

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)	Total de GEI (kt CO ₂ eq)
3.J.	Otros (especificar)	NO	NO	NO					-
4.	Uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura	30,898.0	16.1	0.5					31,473.7
4.A.	Tierras forestales	16,943.0	16.1	0.5					17,518.7
4.B.	Tierras de cultivo	3,075.4	IE	IE					3,075.4
4.C.	Pastizales	10,274.6	IE	IE					10,274.6
4.D.	Humedales	90.9	NE	NE					90.9
4.E.	Asentamientos	167.6	NO	NO					167.6
4.F.	Otras tierras	346.4	NO	NO					346.4
4.G.	Productos de madera recolectada	NE							-
4.H.	Otros (especificar)	NO	NO	NO					-
5.	Residuos	197.1	62.7	1.2					2,267.2
5.A.	Disposición de residuos sólidos	NA	46.5						1,303.1
5.B.	Tratamiento biológico de residuos sólidos		2.5	0.2					121.9
5.C.	Incineración y quema abierta de residuos	197.1	8.0	0.2					468.5
5.D.	Tratamiento y descarga de aguas residuales		5.7	0.8					373.6
6.	Otros (especificar)	NO	NO	NO					-
	Elementos informativos								
1.D.1.	Tanque internacional	317.7	0.0	0.0					320.1
1.D.1.a.	Aviación internacional	317.7	0.0	0.0					320.1
1.D.1.b.	Navegación internacional	IE	IE	IE					-
1.D.2.	Operaciones multilaterales	NO	NO	NO					-
1.D.3.	Emisiones de CO ₂ de la biomasa	42,901.7							42,901.7
1.D.4.	CO ₂ capturado	NO							-
5.F.1.	Almacenamiento a largo plazo de C en sitios de disposición de residuos	NE							-
	N ₂ O indirecto			NE					-
	CO ₂ indirecto	NE							-
Total de CO₂ equivalente sin UTCUTS									33,908.8
Total de CO₂ equivalente con UTCUTS									64,382.5

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 2022, el balance nacional entre emisiones y absorciones de GEI fue de 64,382.5 kt CO₂ eq —incluyendo al sector UTCUTS—, aumentando el balance tendiente a las emisiones netas en un 48.7 % desde 1990 e incrementándose en un 3.5 % desde 2018 (Tabla 2.3), último año incluido en el inventario presentado como parte del Primer Informe Bienal de Actualización de Guatemala (MARN, 2023). 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 48.9 %, seguido del sector Energía con un 33.1 %, un 10.2 % del sector Agricultura, un 4.3 % del sector IPPU, y finalmente un 3.5 % del sector Residuos (Figura 2.1). 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 2.3.

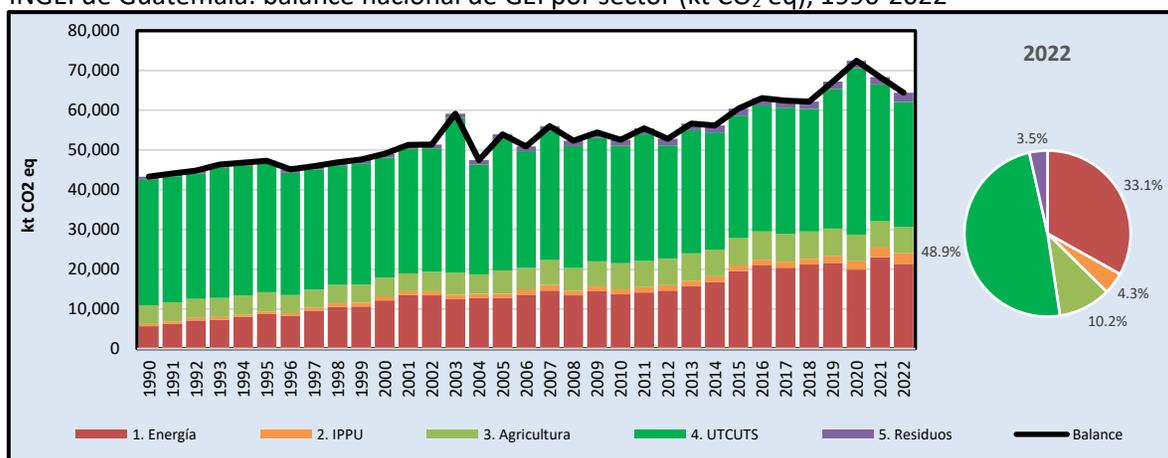
INGEI de Guatemala: balance nacional de GEI por sector (kt CO₂ eq)

Sector	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022
1. Energía	5,621.2	8,666.1	12,122.7	12,808.4	13,741.1	19,527.3	19,920.1	22,998.8	21,323.6
2. IPPU	573.9	702.8	1,036.3	1,013.8	1,224.0	1,436.5	2,065.7	2,437.9	2,739.6
3. Agricultura	4,743.3	4,832.2	4,706.0	5,856.7	6,499.1	6,897.4	6,756.5	6,590.0	6,578.4
4. UTCUTS	31,678.5	32,315.1	30,189.6	33,054.8	29,610.9	30,769.5	41,850.4	34,441.9	31,473.7
5. Residuos	675.0	798.9	992.5	1,152.0	1,486.7	1,761.9	1,864.6	1,864.6	2,267.2
Balance	43,291.9	47,315.2	49,047.1	53,885.7	52,561.8	60,392.6	72,457.2	68,333.2	64,382.5

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

Figura 2.1.

INGEI de Guatemala: balance nacional de GEI por sector (kt CO₂ eq), 1990-2022



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

En cuanto a las emisiones totales de GEI de 2022 —excluyendo al sector UTCUTS—, se registraron un total de 32,908.8 kt CO₂ eq, incrementándose en un 183.4 % desde 1990 y en un 4.9 % desde 2018 (Tabla 2.4). El sector Energía fue el sector de mayor impacto en las emisiones totales,

aportando 21,167.8 kt CO₂ eq (64.6 %), seguido del sector Agricultura con 6,578.4 kt CO₂ eq (20.1 %), del sector IPPU con 2,739.6 kt CO₂ eq (8.4 %) y, finalmente, el sector Residuos aportando con 2,267.2 kt CO₂ eq (6.9 %) (Figura 2.2). En el contexto de las emisiones totales, se puede resaltar el aumento en la incidencia del sector Energía a través de la serie temporal, ya que su representación en 1990 era de 48.4 %, aumentando a 67.5 % en 2018 y, finalmente, representando el 64.6 % en 2022. A su vez, el sector Energía está dominado por las emisiones de GEI del consumo de combustibles fósiles en el transporte.

Tabla 2.4.

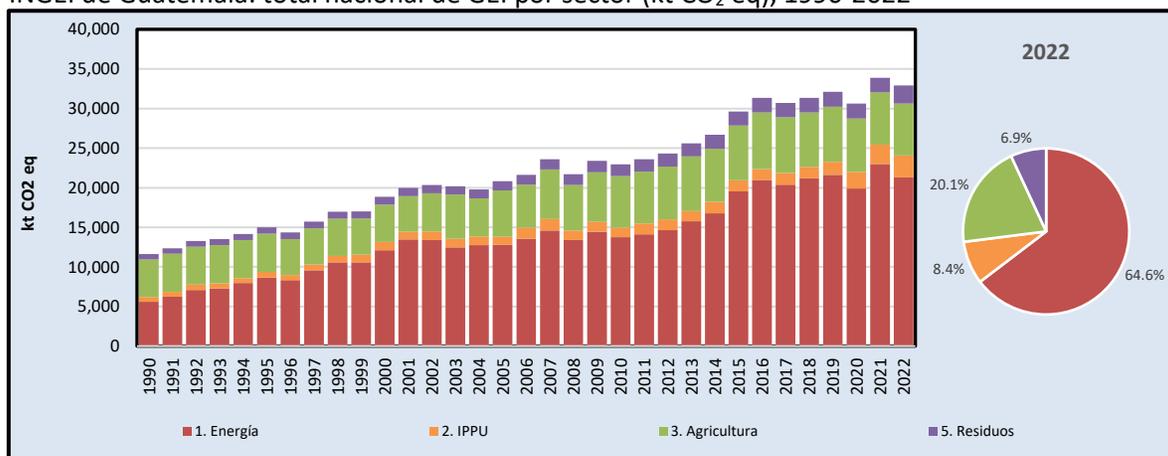
INGEI de Guatemala: total nacional de GEI por sector (kt CO₂ eq)

Sector	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022
1. Energía	5,621.2	8,666.1	12,122.7	12,808.4	13,741.1	19,527.3	19,920.1	22,998.8	21,323.6
2. IPPU	573.9	702.8	1,036.3	1,013.8	1,224.0	1,436.5	2,065.7	2,437.9	2,739.6
3. Agricultura	4,743.3	4,832.2	4,706.0	5,856.7	6,499.1	6,897.4	6,756.5	6,590.0	6,578.4
5. Residuos	675.0	798.9	992.5	1,152.0	1,486.7	1,761.9	1,864.6	1,864.6	2,267.2
Total	11,613.4	15,000.1	18,857.5	20,830.9	22,950.9	29,623.1	30,606.8	33,891.3	32,908.8

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

Figura 2.2.

INGEI de Guatemala: total nacional de GEI por sector (kt CO₂ eq), 1990-2022



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 2.5 presenta un resumen de la serie temporal 1990-2022, incluyendo y excluyendo el impacto que generan las fuentes y sumideros del sector UTCUTS.

Tabla 2.5.

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

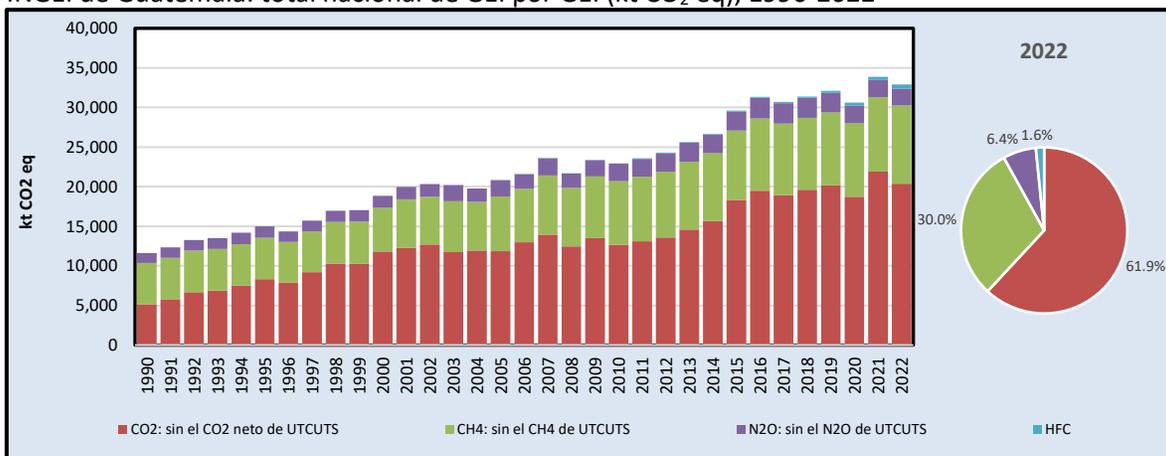
GEI	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022
CO ₂ : sin el CO ₂ neto de UTCUTS	5,161.3	8,311.3	11,836.9	11,867.7	12,651.6	18,346.1	18,712.4	21,901.0	20,375.0
CO ₂ : con el CO ₂ neto de UTCUTS	36,531.4	40,317.9	41,718.0	44,023.6	42,072.1	48,847.6	58,727.5	55,404.1	51,273.0
CH ₄ : sin el CH ₄ de UTCUTS	5,207.3	5,250.6	5,483.4	6,900.2	8,056.4	8,727.8	9,343.2	9,411.0	9,887.3
CH ₄ : con el CH ₄ de UTCUTS	5,448.6	5,491.8	5,724.7	7,603.4	8,205.4	8,937.5	10,778.8	10,145.4	10,337.6
N ₂ O: sin el N ₂ O de UTCUTS	1,244.8	1,438.3	1,537.2	2,059.6	2,181.1	2,434.1	2,217.1	2,172.5	2,119.4
N ₂ O: con el N ₂ O de UTCUTS	1,312.0	1,505.4	1,604.4	2,255.3	2,222.5	2,492.5	2,616.7	2,377.0	2,244.7
HFC	NE	NE	NE	3.3	60.3	115.1	334.2	406.8	527.2
PFC	NO	NO	NO	NO	NO	NO	0.0	0.0	0.0
SF ₆	NE, NO	0.0	0.0	0.0					
NF ₃	NO	NO	NO	NO	NO	NO	0.0	0.0	0.0
Total (sin UTCUTS)	11,613.4	15,000.1	18,857.5	20,830.9	22,949.4	29,623.1	30,606.8	33,891.3	32,908.8
Balance (con UTCUTS)	43,291.9	47,315.2	49,047.1	53,885.6	52,560.3	60,392.6	72,457.2	68,333.2	64,382.5

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 2022 —excluyendo al sector UTCUTS— estuvieron representadas por un 61.9 % de CO₂ (aumentando en un 294.8 % desde 1990 y en un 3.9 % desde 2018), seguido por el CH₄ con un 30.0 % (aumentando un 89.9 % desde 1990 y en un 8.9 % desde 2018), el N₂O con un 6.4 % (aumentando un 70.3 % desde 1990 y disminuyendo en un 15.8 % desde 2018) y, finalmente, el HFC con un aporte de 1.6 % (aumentando sobre un 10,000 % desde 2005, año en que se registra por primera vez, y en un 228.7 % desde 2018). Las emisiones de CO₂ estuvieron dominadas por el consumo de combustible fósil en el sector Energía.

Figura 2.3.

INGEI de Guatemala: total nacional de GEI por GEI (kt CO₂ eq), 1990-2022

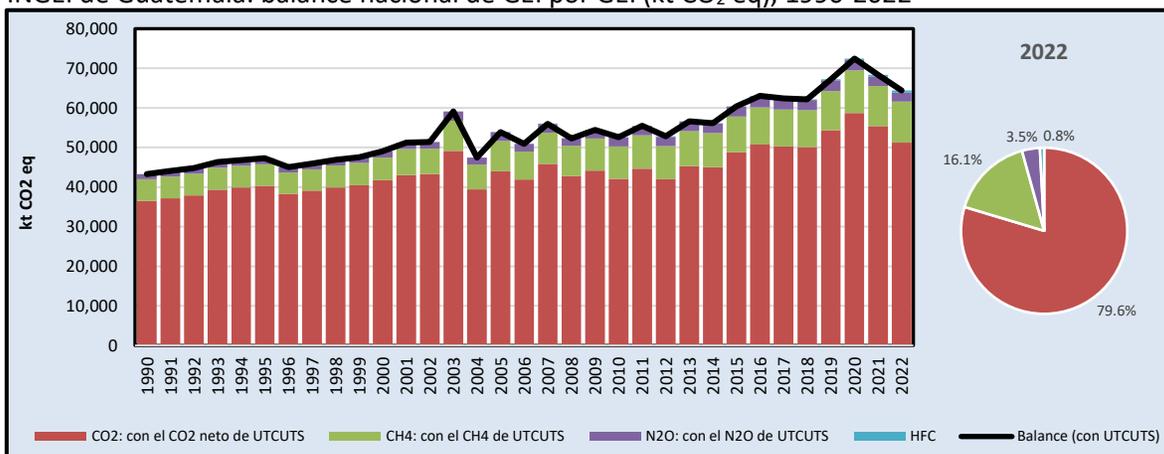


Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

Por otra parte, como se presenta en la Figura 2.4, el balance de GEI de 2022 —el cual incluye al sector UTCUTS— las emisiones de CO₂ fueron las de mayor relevancia alcanzando un 79.6 % de incidencia (aumentando en un 40.4 % desde 1990 y en un 2.3 % desde 2018), seguido por el CH₄ con un 16.1 % (aumentando un 89.7 % desde 1990 y en un 10.9 % desde 2018), el N₂O con un 3.5 % (aumentando un 71.2 % desde 1990 y disminuyendo en un 13.1 % desde 2018) y, finalmente, el HFC aporta un 0.8 %. 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 de Guatemala: balance nacional de GEI por GEI (kt CO₂ eq), 1990-2022



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

2.4. Descripción de la tendencia por gas precursor

Con respecto a las emisiones de los gases precursores, en 2022 su principal impulsor fue el sector *energía*, precisamente por las *actividades de quema de combustible*; sin embargo, las emisiones de estos gases no mantienen una tendencia lineal, debido a que el sector *UTCUTS* incide desde las emisiones por incendios forestales, generando principalmente CO. Para 2022, se pueden observar en la Tabla 2.6 y

Figura 2.5 que las emisiones de CO fueron las de mayor presencia, representando un 85.1 %, habiéndose incrementado en un 107.5 % desde 1990 y en un 14.5 % desde 2018; le siguen las emisiones de COVDM con un 9.3%, que se incrementaron en un 196.7 % desde 1990 y en un 10.4 % desde 2018; seguido se encuentra el NO_x con un 4.6%, el cuál ha incrementado en un 166.0 % desde 1990 y en un 16.0 % desde 2018; por último, están las emisiones de SO_x que representaron un 1.0%, lo cual fue un incremento de más de 400% desde 1990, y se han disminuido en un 56.7% desde 2018.

Tabla 2.6

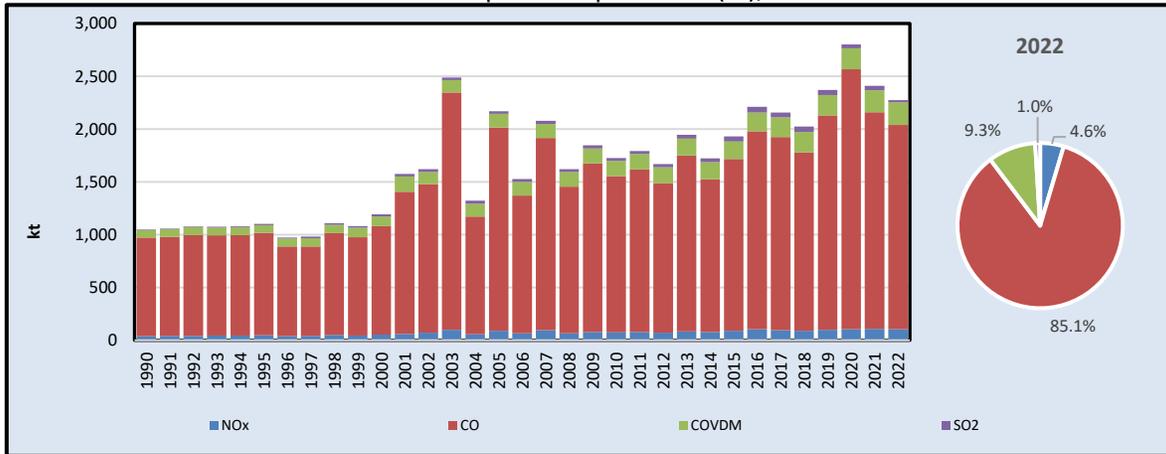
INGEI de Guatemala: emisiones por cada precursor (kt)

Gas precursor	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022
CO	39.4	48.2	55.4	90.7	75.7	91.1	106.6	107.5	104.7
NO _x	932.8	969.6	1,025.1	1,925.6	1,478.6	1,625.4	2,461.4	2,053.6	1,935.2
COVDM	71.5	74.1	91.8	127.4	145.7	166.4	198.1	206.7	212.1
SO _x	4.2	9.9	20.2	24.4	25.7	49.1	34.9	42.6	21.9
Total	1,047.8	1,101.7	1,192.5	2,168.1	1,725.7	1,932.0	2,801.1	2,410.3	2,273.8

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

Figura 2.5

INGEI de Guatemala: total de emisiones por cada precursor (kt), 1990-2022



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

CAPÍTULO 3: SECTOR ENERGÍA (CRT 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 2022, las emisiones por GEI del sector Energía fueron 17,933.0 kt CO₂, 100.6 kt CH₄ y 2.2 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 2022

Código	Categorías de fuente de GEI	CO ₂ (kt)	CH ₄ (kt)	N ₂ O (kt)	NO _x (kt)	CO (kt)	COVDM (kt)	SO _x (kt)	Total de GEI (kt CO ₂ eq)
1.	Energía	17,991.0	100.6	2.2	104.7	1,935.2	212.1	21.9	21,323.6
1.A.	Actividades de quema de combustible	17,991.0	100.6	2.2	89.3	1,413.4	208.9	21.9	21,322.6
1.A.1.	Industrias de la energía	1,666.2	2.2	0.3	89.1	1,413.2	208.7	21.7	1,754.7
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal	1,664.5	2.2	0.3	9.6	6.8	0.6	14.5	1,753.0
1.A.1.b.	Refinación del petróleo	1.7	0.0	0.0	9.5	6.8	0.6	14.4	1.7
1.A.1.c.	Manufactura de combustibles sólidos y otras industrias de la energía	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	-
1.A.2.	Industrias manufactureras y de la construcción	4,048.3	0.1	0.0	24.0	3.1	1.2	2.2	4,058.8
1.A.2.a.	Hierro y acero	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	-
1.A.2.b.	Metales no ferrosos	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	-
1.A.2.c.	Sustancias químicas	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	-
1.A.2.d.	Pulpa, papel e imprenta	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	-
1.A.2.e.	Procesamiento de alimentos, bebidas y tabaco	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	-
1.A.2.f.	Minerales no metálicos	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	-
1.A.2.g.	Otros (especificar)	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	-
1.A.3.	Transporte	11,066.7	2.9	0.5	38.3	165.3	19.4	0.1	11,293.5
1.A.3.a.	Aviación civil	5.5	0.0	0.0	0.0	2.1	0.0	0.0	5.5
1.A.3.b.	Transporte terrestre	11,061.2	2.9	0.5	38.3	163.1	19.3	0.1	11,287.9
1.A.3.c.	Ferrocarriles	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	-
1.A.3.d.	Navegación marítima y fluvial	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	-
1.A.3.e.	Otro tipo de transporte	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	-
1.A.4.	Otros sectores	1,209.8	95.3	1.3	17.2	1,238.0	187.6	4.9	4,215.7
1.A.4.a.	Comercial / Institucional	58.2	2.9	0.0	0.9	5.5	2.9	0.2	148.5
1.A.4.b.	Residencial	1,151.6	92.5	1.2	16.3	1,232.5	184.7	4.7	4,067.1
1.A.4.c.	Agricultura / Silvicultura / Pesca	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	-
1.A.5.	Otros (especificar)	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	-
1.A.5.a.	Estacionaria	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	-
1.A.5.b.	Móvil	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	-
1.B.	Emisiones fugitivas de combustibles	0.0	0.0	NE, NO	0.2	0.2	0.2	0.2	0.9
1.B.1.	Combustibles sólidos	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	-
1.B.1.a.	Minería y manejo del carbón	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	-
1.B.1.b.	Transformación de combustibles sólidos	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	-
1.B.1.c.	Otros (especificar)	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	-
1.B.2.	Petróleo y gas natural y otras emisiones de la producción de energía	0.0	0.0	NE, NO	0.2	0.2	0.2	0.2	0.9
1.B.2.a.	Petróleo	0.0	0.0	NE	0.2	0.2	0.2	0.2	0.9
1.B.2.b.	Gas natural	NE	NE			NE	NE	NE	-
1.B.2.c.	Venteo y quemado	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	-
1.B.2.d.	Otros (especificar)	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	-

Código	Categorías de fuente de GEI	CO ₂ (kt)	CH ₄ (kt)	N ₂ O (kt)	NO _x (kt)	CO (kt)	COVDM (kt)	SO _x (kt)	Total de GEI (kt CO ₂ eq)
1.C.	Transporte y almacenamiento de CO2	NO							-
1.C.1.	Transporte de CO2	NO							-
1.C.2.	Inyección y almacenamiento	NO							-
1.C.3.	Otros	NO							-
Elementos informativos									
1.D.1.	Combustibles internacionales	317.7	0.0	0.0					
1.D.1.a.	Aviación internacional	317.7	0.0	0.0					
1.D.1.b.	Navegación internacional	IE	IE	IE					
1.D.2.	Operaciones multilaterales	IE	IE	IE					
1.D.3.	Emisiones de CO2 de la biomasa	42,901.7							

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 33.1 % del balance nacional en 2022 o el 64.6 % 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.

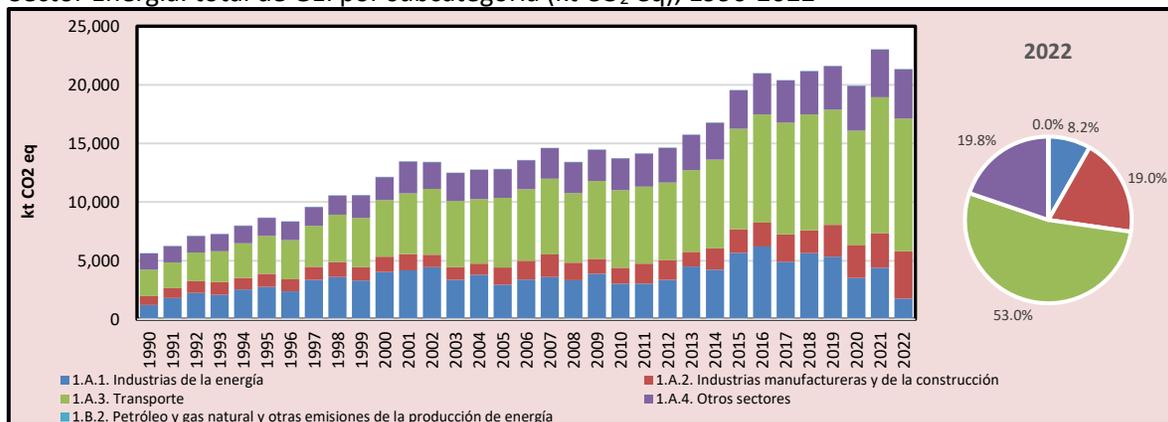
Sector Energía: total de GEI por subcategoría (kt CO₂eq)

Subcategoría	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022
1.A.1. Industrias de la energía	1,213.3	2,778.9	4,054.4	2,963.5	3,042.7	5,680.0	3,531.7	4,408.1	1,754.7
1.A.2. Industrias manufactureras...	777.4	1,104.3	1,289.4	1,467.2	1,347.9	1,995.5	2,826.7	2,945.1	4,058.8
1.A.3. Transporte	2,246.2	3,220.1	4,831.7	5,920.8	6,632.2	8,586.1	9,732.0	11,580.2	11,293.5
1.A.4. Otros sectores	1,382.0	1,559.4	1,943.3	2,456.5	2,718.0	3,265.4	3,828.9	4,064.7	4,215.7
1.B.2. Petróleo y gas natural...	2.4	3.3	3.9	0.4	0.3	0.3	0.7	0.8	0.9
Total	5,621.2	8,666.1	12,122.7	12,808.4	13,741.1	19,527.3	19,920.1	22,998.8	21,323.6

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), 1990-2022



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 84.1 % de CO₂, seguido por un 13.2 % de CH₄ y un 2.7 % 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.

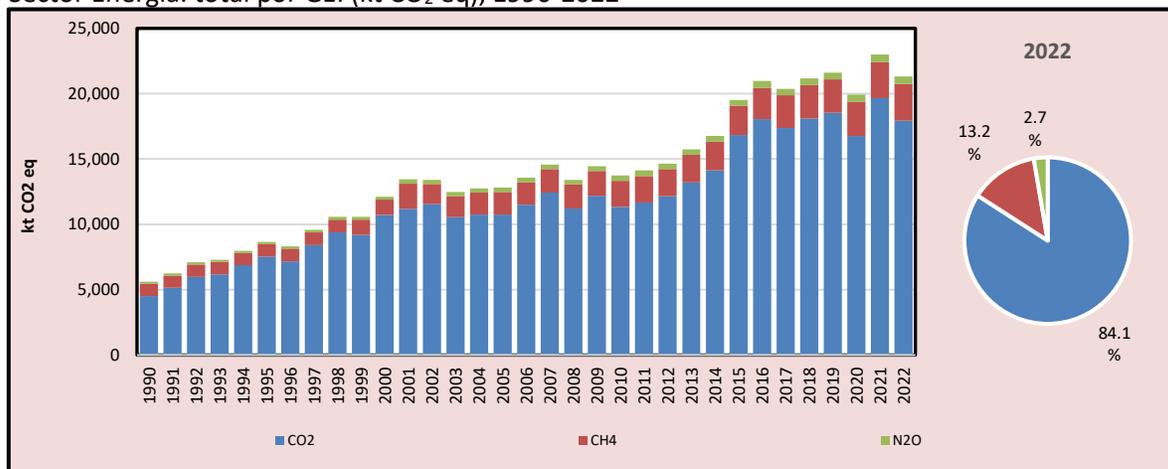
Sector Energía: total por GEI (kt CO₂ eq)

GEI	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022
CO ₂	4,526.7	7,539.8	10,722.2	10,746.5	11,340.2	16,841.7	16,770.0	19,659.9	17,933.0
CH ₄	937.7	949.9	1,168.6	1,737.8	1,988.0	2,225.6	2,634.3	2,751.0	2,817.8
N ₂ O	156.8	176.5	232.0	324.1	412.8	460.1	515.8	588.0	572.8
Total	5,621.2	8,666.1	12,122.7	12,808.4	13,741.1	19,527.3	19,920.1	22,998.8	21,323.6

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), 1990-2022



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 utilizaron hojas de cálculo para cada subcategoría, quedando registrado en el subsistema de inventarios para las siguientes presentaciones.

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)

3.2. Actividades de quema de combustibles (CRT 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* mantiene la representación de casi el cien por ciento de las emisiones totales de GEI del sector, mientras que, a nivel nacional, representa un significativo 64.6 % (excluyendo UTCUTS). Las emisiones de la categoría contabilizaron 21,322.6 kt CO₂ eq, incrementándose en un 279.5 % desde 1990 y en un 0.7 % desde 2018 (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 480 % desde 2005 y en 32.9 % desde 2018 hasta enero de 2024 (SAT, 2024). 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 53.0 % de la categoría, seguida de *otros sectores* con el 19.8 %, *industria manufacturera y de la construcción* con el 19.0 % y, finalmente, *industrias de la energía* con el 8.2 %.

Tabla 3.4.

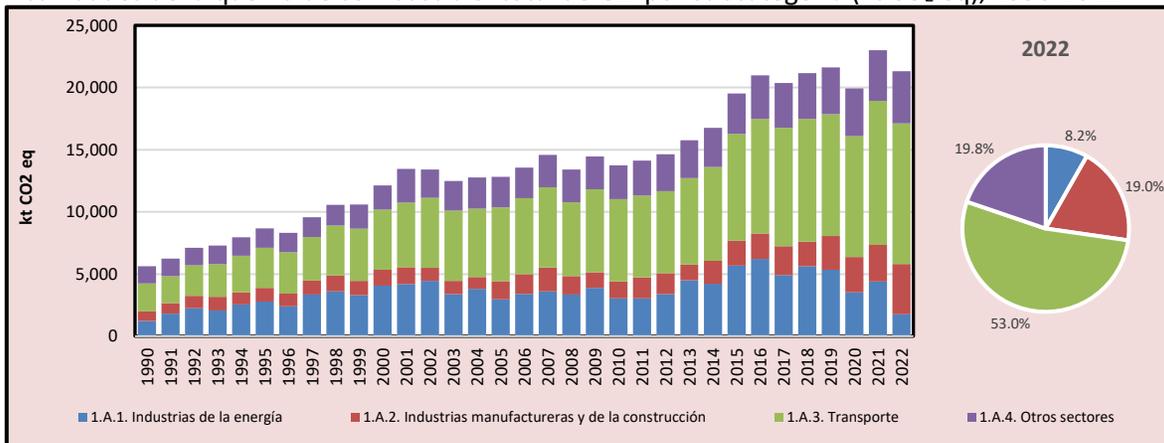
Actividades de la quema de combustible: total de GEI por subcategoría (kt CO₂ eq)

Subcategoría	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022
1.A.1. Industrias de la energía	1,213.3	2,778.9	4,054.4	2,963.5	3,042.7	5,680.0	3,531.7	4,408.1	1,754.7
1.A.2. Industrias manufactureras...	777.4	1,104.3	1,289.4	1,467.2	1,347.9	1,995.5	2,826.7	2,945.1	4,058.8
1.A.3. Transporte	2,246.2	3,220.1	4,831.7	5,920.8	6,632.2	8,586.1	9,732.0	11,580.2	11,293.5
1.A.4. Otros sectores	1,382.0	1,559.4	1,943.3	2,456.5	2,718.0	3,265.4	3,828.9	4,064.7	4,215.7
Total	5,618.9	8,662.8	12,118.8	12,808.0	13,740.7	19,527.0	19,919.4	22,998.0	21,322.6

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), 1990-2022



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 2022 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 12.2 %, 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.

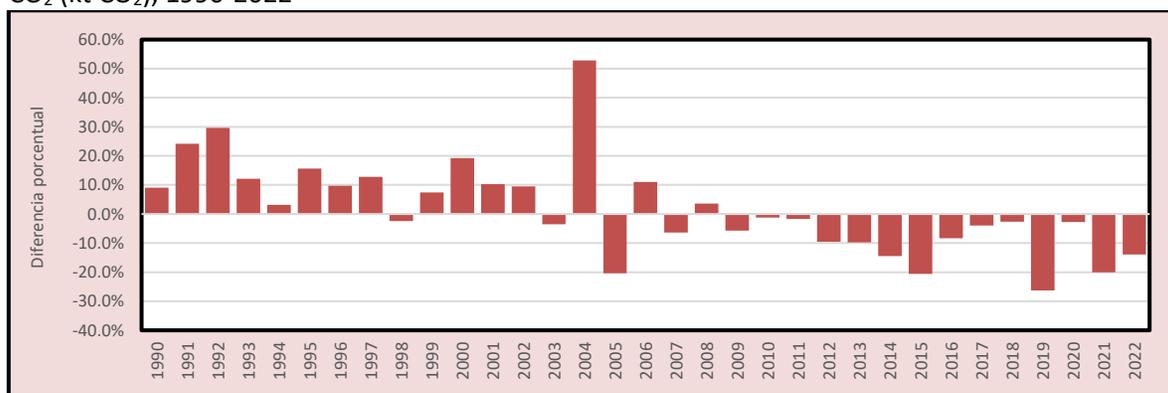
Comparación entre el método sectorial y el método de referencia: diferencias entre emisiones de CO₂ por método (kt CO₂)

Método	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022
Método sectorial	4,526.7	7,539.8	10,722.2	10,746.5	11,340.2	16,841.7	16,770.0	19,659.9	17,933.0
Método de referencia	4,150.5	6,520.0	8,991.0	13,493.3	11,480.8	21,204.0	17,251.5	24,593.7	20,833.6
Diferencia	376.1	1,019.8	1,731.1	-2,746.7	-140.6	-4,362.4	-481.5	-4,933.8	-2,900.6
Diferencia porcentual	9.1%	15.6%	19.3%	-20.4%	-1.2%	-20.6%	-2.8%	-20.1%	-13.9%

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), 1990-2022



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), 1990-2022

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
2019	12,148.0	0.0	81,595.6	-4,212.8	4,536.4	78,201.5	10,074.5	21,390.8	15,332.5	96,752.2
2020	12,479.3	0.0	69,129.5	-2,014.0	2,382.9	66,563.7	8,699.4	22,846.9	15,471.3	31,346.3
2021	8,603.8	0.0	86,253.0	-3,398.0	3,257.7	81,703.8	8,867.2	23,169.2	15,307.8	87,763.9
2022	341.1	0.0	83,544.1	-4,410.4	4,074.6	80,457.4	10,898.3	23,716.7	33,973.1	36,256.4

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 2022, las emisiones de GEI de la *aviación internacional* contabilizaron 317.7 kt CO₂ eq, incrementándose en 206.0 % desde 1990 y se redujeron en un 0.2 % desde 2018 (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; por ejemplo, se ve la reducción de la reciente crisis sanitaria mundial, COVID19, en el año 2020, pero las emisiones vuelven a ser más altas el año siguiente.

Tabla 3.9.

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

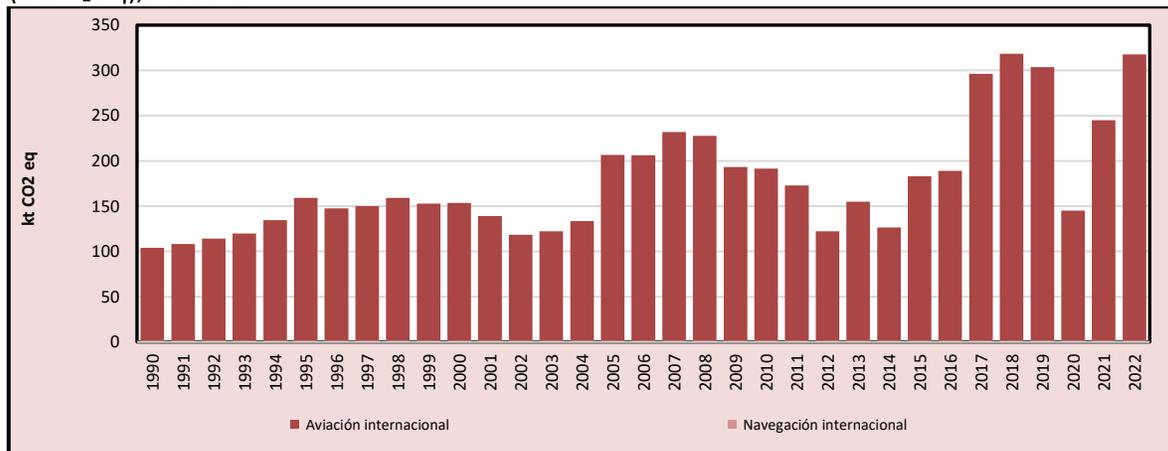
Subcategoría	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022
Aviación internacional	103.9	159.3	153.7	206.7	191.7	183.4	145.1	244.8	317.7
Navegación internacional	IE								
TOTAL	103.9	159.3	153.7	206.7	191.7	183.4	145.1	244.8	317.7

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), 1990-2022



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), 1990-2022

Año	Queroseno para motor a reacción	Año	Queroseno para motor a reacción	Año	Queroseno para motor a reacción
1990	1,441.2	2001	1,933.6	2012	1,695.9
1991	1,502.4	2002	1,643.3	2013	2,152.2
1992	1,585.9	2003	1,696.4	2014	1,757.5
1993	1,663.8	2004	1,851.5	2015	2,542.9
1994	1,869.6	2005	2,866.2	2016	2,621.7
1995	2,209.1	2006	2,862.7	2017	4,113.5
1996	2,047.7	2007	3,217.6	2018	4,421.4
1997	2,081.1	2008	3,161.9	2019	4,212.8
1998	2,209.1	2009	2,684.7	2020	2,014.0
1999	2,120.0	2010	2,658.6	2021	3,398.0
2000	2,131.7	2011	2,399.4	2022	4,410.4

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 2022, las emisiones de CO₂ de la *biomasa* usada con fines energéticos contabilizaron 42,901.7 kt CO₂ eq, incrementándose en un 231.1 % desde 1990 y en un 14.3 % desde 2018 (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.

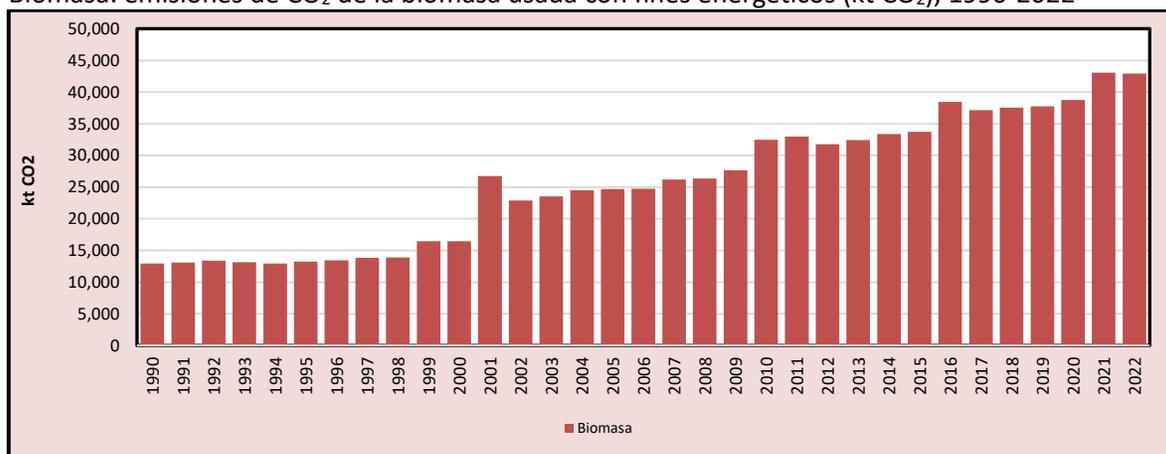
Biomasa: emisiones de CO₂ de la biomasa usada con fines energéticos (kt CO₂)

Categoría	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022
Biomasa	12,956.7	13,262.1	16,467.0	24,675.5	32,461.3	33,718.3	38,756.6	43,082.3	42,901.7

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), 1990-2022



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), 1990-2022

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
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

Año	Madera/desechos de madera	Otra biomasa sólida primaria	Gas de vertedero
2018	289,757.9	50,655.9	436.2
2019	295,324.6	52,166.2	312.7523
2020	304,169.19	52,433.6	285.3291
2021	313,398.37	85,488.4	478.6859
2022	322,845.90	73,379.3	294.0441

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 incluida para efectos de importación y exportación.

3.2.7. Industrias de la energía (CRT 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.

En 2022, la subcategoría *industrias de la energía* representó el 8.2 % de las emisiones de GEI del sector Energía. En el mismo año, las emisiones de la subcategoría contabilizaron 1,754.7 kt CO₂ eq, incrementándose en un 44.6 % desde 1990 y reduciéndose en un 68.9% desde 2018. (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. El cambio en la tendencia de las emisiones de gases de efecto invernadero en esta subcategoría es evidente al analizar los datos entre los años 2021 y 2022. Durante este período, las emisiones de dióxido de carbono equivalente disminuyeron de forma abrupta, reflejando una reducción significativa en la cantidad de energía (medida en terajulios) generada por esta subcategoría. Este cambio en la tendencia se explica, en primer lugar, por una mejora en la desagregación de la información proporcionada por los generadores de energía eléctrica, especialmente aquellos que utilizan su propia energía para procesos industriales internos. Antes de 2022, la falta de datos desagregados provocaba una sobreestimación de la energía generada, ya que se contabilizaba tanto la energía bruta del Sistema Nacional Interconectado como la energía bruta autoproducida. En 2022, esta situación se corrigió mediante una calibración de los datos reportados en los Balances Energéticos Nacionales, lo que permitió reflejar una menor cantidad de combustible utilizado y, por ende, una reducción en las emisiones de gases de efecto invernadero.

Adicionalmente, según datos de la Superintendencia de Administración Tributaria, en 2022 se registró una notable disminución en la importación de carbón mineral, un energético clave para la generación de electricidad. Las importaciones pasaron de 2,235.96 kton en 2021 a solo 901.35 kton en 2022.

Por último, ese mismo año se registró un incremento histórico en la generación de energía a partir de fuentes renovables, lo que contribuyó aún más a reducir la generación de electricidad basada en recursos no renovables. Este cambio en el consumo de energéticos y en la metodología de reporte reafirma la transición hacia una matriz energética más limpia y sostenible.

Dentro de la subcategoría en sí, la *producción de electricidad y calor como actividad principal* tiene prácticamente el 100 % de las emisiones, a pesar de la reducción de emisiones que se presenta en el último año explicada previamente. Esto se debe a que también las emisiones de *refinamiento de petróleo* se redujeron fuertemente a partir de 2019 y esta reducción es debido a que no se continuó el refinamiento de petróleo para combustible en el país; se sigue extrayendo petróleo en Guatemala, pero en menor cantidad y debido al costo elevado del refinamiento para obtener combustible, las refinerías dejaron de refinar para producir combustible (usualmente diesel) y solo se refina para asfalto (usos no energéticos del petróleo).

Tabla 3.14.

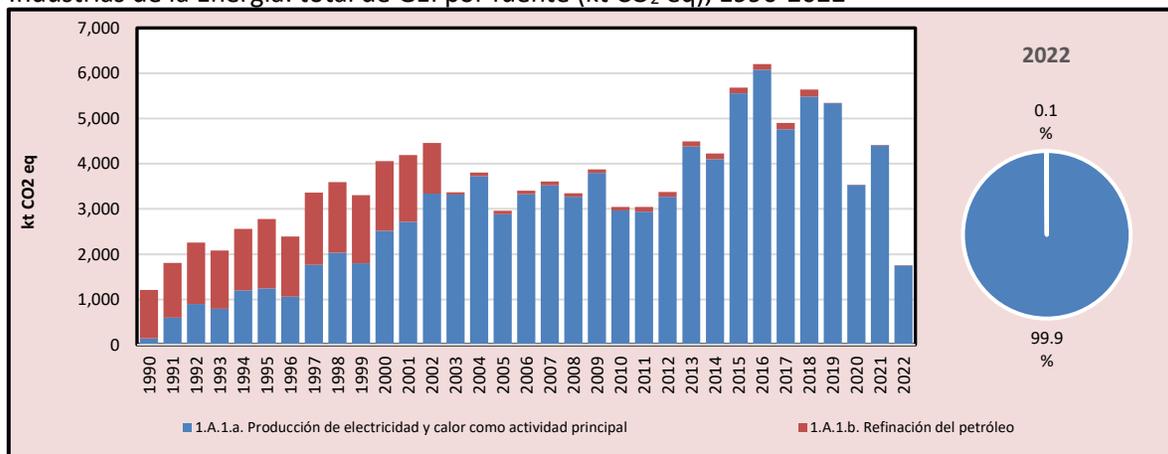
Industrias de la energía: total de GEI por fuente (kt CO₂ eq)

Fuente	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022
1.A.1.a. Producción de electricidad...	139.6	1,245.1	2,519.9	2,880.5	2,968.7	5,557.8	3,531.6	4,407.7	1,753.0
1.A.1.b. Refinación del petróleo	1,073.8	1,533.9	1,534.4	83.1	74.0	122.1	0.2	0.4	1.7
Total	1,213.3	2,778.9	4,054.4	2,963.5	3,042.7	5,680.0	3,531.7	4,408.1	1,754.7

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), 1990-2022



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), 1990-2022

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
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
2019	49,692.4	108.3	4,129.7	307.5	0.0	52,166.2	0.0
2020	32,084.5	120.8	3,289.3	280.5	0.0	52,433.6	0.0
2021	41,072.5	47.0	2,370.8	470.6	0.0	85,488.4	0.0
2022	15,679.7	100.0	1,464.7	289.1	0.0	73,379.3	0.0

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

Tabla 3.16.

Industrias de la energía: consumo de combustibles de la refinación del petróleo (TJ), 1990-2022

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

Año	Nafta	Otro queroseno	Diésel
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
2018	0.0	0.0	2,077.9
2019	4.37	3.14	0.0
2020	1.88	0.30	0.0
2021	5.52	0.00	0.0
2022	6.02	18.00	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 *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

<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 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%
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 1990-2022, se usaron los mismos factores de emisión, sin embargo, para el último año, el MEM utilizó una interpretación diferente de los consumos para la actividad *Producción de electricidad y calor como actividad principal*, específicamente para el *sólido*, por lo que hay un cambio en la tendencia para el último año de este inventario.

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. Además, los siguientes balances energéticos continúan la modalidad para garantizar coherencia en la presentación de los datos.
- 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.
- Se utilizaron hojas de cálculo para todas las actividades del sector, documentadas en el subsistema de inventarios de Guatemala.
- Como parte del plan de mejora del anterior inventario, la información proporcionada por los autoprodutores tuvo mejoras en la desagregación para una mejor contabilidad.

3.2.7.5. Nuevos cálculos de la subcategoría

Para la subcategoría, al igual que para el inventario anterior se aplicó las *Directrices del IPCC de 2006* y se utilizó como fuente principal los datos de actividad del Balance Energético. En este inventario se aplicaron los valores de PCA del AR5.

Dado, que no se han realizado ajustes metodológicos en el presente inventario, puede evidenciarse que las diferencias en los datos de emisiones reportados son menores al 5%, como se presenta en la Tabla 3.19, debido al cambio del PCA en toda la serie temporal.

Tabla 3.19.

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

INGEI	1990	2005	2018
INGEI - 1IBA	1,213.73	2,965.32	5,642.2
INGEI – 1BTR	1,213.32	2,919.21	5,637.6
Diferencia	-0.42	-46.12	-4.60
Diferencia porcentual	-0.03	-1.56	-0.08

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en el 1IBA de Guatemala.

3.2.7.6. Plan de mejora de la subcategoría

Para esta subcategoría se contemplan las siguientes mejoras:

- Dar seguimiento a los procesos de revisión de la estandarización de la información de los despachos energéticos para las centrales eléctricas que operan fuera del Sistema Nacional Interconectado.
- Revisar los datos de actividad y el cambio de procesamiento e interpretación del MEM en el último año para *Producción de electricidad y calor como actividad principal – Sólido* y evaluar la factibilidad de aplicar el mismo criterio 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.

3.2.8. Industrias manufactureras y de la construcción (CRT 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 19.0 % de las emisiones de GEI del sector Energía en 2022. En el mismo año, las emisiones de la subcategoría contabilizaron 4,058.8 kt CO₂ eq, incrementándose en un 422.1 % desde 1990 y en un 108.3 % desde 2018 (Tabla 3.20 y Figura 3.8). La tendencia al aumento de las emisiones en los últimos años se debe al crecimiento de las industrias del país, así como el aumento de las emisiones por el incremento en el consumo de coque de petróleo, particularmente en 2022, año en el que el diésel estuvo con el costo más alto, las industrias optaron por utilizar tanto el carbón mineral, así como el coque de petróleo dentro de sus mismos procesos en reemplazo del diésel.

Tabla 3.20.

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

Subcategoría	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022
1.A.2. Industrias manufactureras...	777.6	1,104.6	1,289.7	1,467.4	1,348.0	1,995.7	2,826.7	2,945.1	4,058.8

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), 1990-2022



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), 1990-2022

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
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
2019	3,844.5	1,320.2	21.9	6,031.2	5,772.4	15,254.2	0.0
2020	3,896.1	1,420.1	2.1	5,542.0	5,577.3	16,745.1	0.0
2021	4,485.9	1,660.1	0.0	6,713.6	7,069.4	15,329.5	0.0
2022	4,740.5	1,632.4	0.0	6,491.3	8,033.6	25,982.3	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 1990-2022 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. Además, los siguientes balances energéticos continúan la modalidad para garantizar coherencia en la presentación de los datos.
- 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 utilizaron hojas de cálculo para todas las actividades del sector, documentadas en el subsistema de inventarios de Guatemala.

3.2.8.5. Nuevos cálculos de la subcategoría

Para la subcategoría, al igual que para el inventario anterior se aplicó las *Directrices del IPCC de 2006* y se utilizó como fuente principal los datos de actividad del Balance Energético. En este inventario se aplicaron los valores de PCA del AR5.

Dado, que no se han realizado ajustes metodológicos en el presente inventario, puede evidenciarse que las diferencias en los datos de emisiones reportados poco significativos, menores al 1%, como se presenta en la

Tabla 3.24, debido al cambio del PCA en toda la serie temporal.

Tabla 3.24.

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

INGEI	1990	2005	2018
INGEI – 1BA	777.6	1,467.4	1,949.1
INGEI – 1BTR	777.4	1,467.2	1,948.9
Diferencia	-0.2	-0.2	-0.2
Diferencia porcentual	0.0	0.0	0.0

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN con base en el 1IBA 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 (CRT 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*.

En 2022, la subcategoría de transporte fue la más significativa dentro del sector *Energía*, representando el 53.0 % de las emisiones de GEI del sector. En el mismo año, las emisiones de la subcategoría contabilizaron 11,293.5 kt CO₂ eq, incrementándose en un 402.8 % desde 1990 y en un 14.3 % desde 2018 (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 más de 480 % desde 2005 (SAT, 2024).

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 *navegación marítima y fluvial*. Las emisiones por *ferrocarriles* no ocurren en el país desde el año 1996, con la suspensión del servicio por falta de inversión para su mantenimiento y funcionamiento, por lo que de 1990 a 1995, las emisiones por *ferrocarriles* están implícitas en *transporte terrestre* debido a que no se cuenta con la desagregación.

Tabla 3.25.

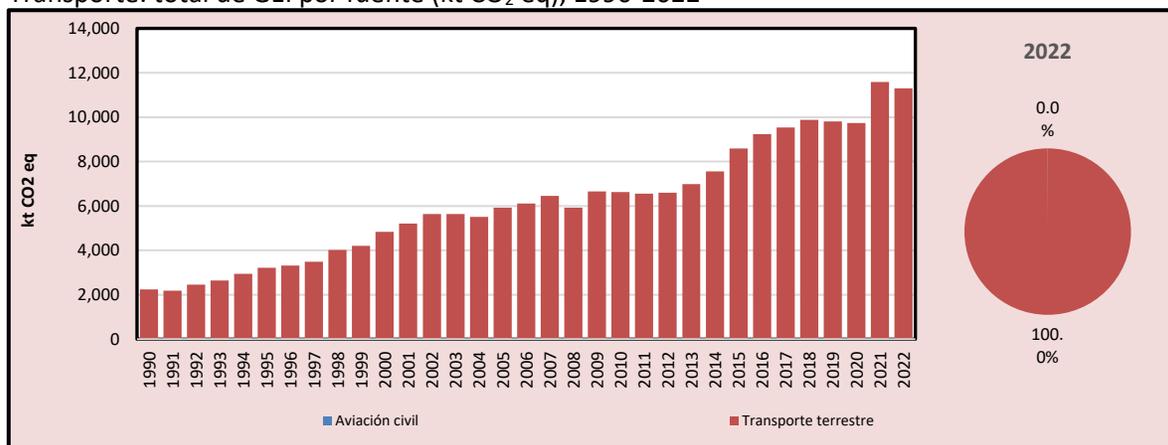
Transporte: total de GEI por fuente (kt CO₂ eq)

Fuente	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022
1.A.3.a. Aviación civil	2.8	4.4	6.5	5.8	5.0	4.8	3.8	4.6	5.5
1.A.3.b. Transporte terrestre	2,245.5	3,218.5	4,829.2	5,920.5	6,633.2	8,588.7	9,728.2	11,575.5	11,287.9
Total	2,248.2	3,222.8	4,835.7	5,926.3	6,638.2	8,593.5	9,732.0	11,580.2	11,293.5

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), 1990-2022



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), 1990-2022

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
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
2019	60.2	192.2	64,358.9	69,359.2
2020	54.2	194.8	69,226.8	63,733.5
2021	65.8	224.3	80,928.1	77,206.8
2022	78.7	237.0	79,576.6	74,649.9

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), 2000-2022

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%
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%
2019	15,085,703	11,628	15,097,330.8	0.08%
2020	13,946,757	10,475	13,957,231.7	0.08%
2021	16,304,166	12,710	16,316,876.5	0.08%
2022	16,031,924	15,191	16,047,115.2	0.09%

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 CH ₄	Valor para N ₂ O
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 1990-2022 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. Además, los siguientes balances energéticos continúan la modalidad para garantizar coherencia en la presentación de los datos.
- 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.
- Se utilizaron hojas de cálculo para todas las actividades del sector, documentadas en el subsistema de inventarios de Guatemala.

3.2.9.5. Nuevos cálculos de la subcategoría

Para la subcategoría, al igual que para el inventario anterior se aplicó las *Directrices del IPCC de 2006* y se utilizó como fuente principal los datos de actividad del Balance Energético. En este inventario se aplicaron los valores de PCA del AR5.

Dado que no se han realizado ajustes metodológicos en el presente inventario, puede evidenciarse que las diferencias en los datos de emisiones reportados son pequeñas, resultando ser menores al 10%, como se presenta en la Tabla 3.30, debido al cambio del PCA en este inventario.

Tabla 3.30.

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

INGEI	1990	2005	2018
INGEI – 1IBA	2,248.2	5,926.3	9,889.0
INGEI – 1BTR	2,246.1	5,920.7	9,880.9
Diferencia	-2.1	-5.6	-8.2
Diferencia porcentual	9.3%	-9.4%	-8.3%

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en el 1IBA de Guatemala.

3.2.9.6. Plan de mejora de la subcategoría

Para esta subcategoría se revisarán las estadísticas nacionales, como las generadas por la 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 (CRT 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 19.8 % de las emisiones de GEI del sector Energía en 2022. En el mismo año, las emisiones de la subcategoría contabilizaron 4,215.7 kt CO₂ eq, incrementándose en un 205.0 % desde 1990 y en un 13.9 % desde 2018 (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 96.5 % de las emisiones de la subcategoría, dominado principalmente por el consumo de leña, mientras que el restante 3.5 % es aportado por *comercial/institucional*.

Tabla 3.31.

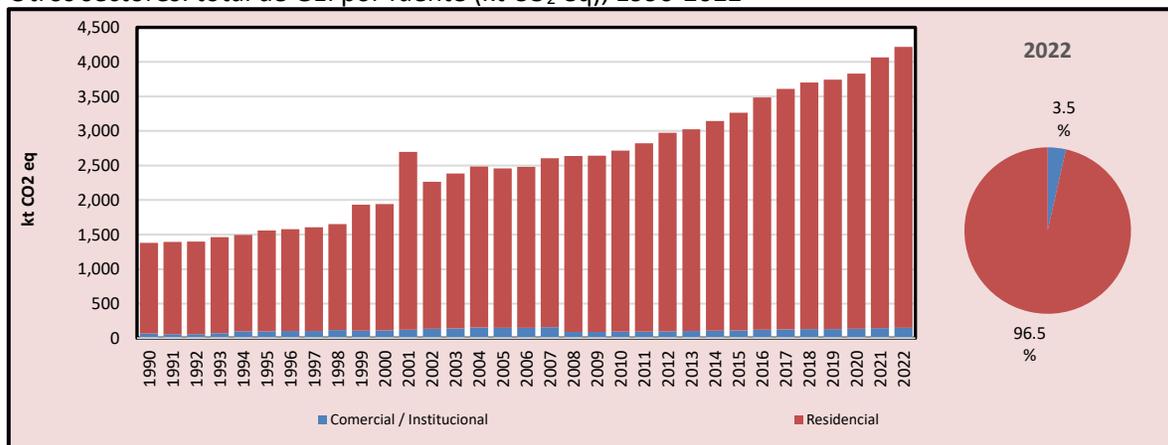
Otros sectores: total de GEI por fuente (kt CO₂ eq)

Fuente	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022
1.A.4.a. Comercial / Institucional	67.4	98.7	114.3	148.5	93.9	115.1	134.3	144.8	148.5
1.A.4.b. Residencial	1,314.6	1,460.7	1,829.0	2,308.0	2,624.0	3,150.3	3,694.6	3,919.9	4,067.1
Total	1,382.0	1,559.4	1,943.3	2,456.5	2,718.0	3,265.4	3,828.9	4,064.7	4,215.7

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), 1990-2022



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), 1990-2022

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

Año	Comercial / Institucional				Residencial		
	GLP	Gasolina para motores	Otro queroseno	Madera/desechos de madera	GLP	Otro queroseno	Madera/desechos de madera
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
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
2019	384.5	330.1	7.3	8,710.1	14,801.3	153.4	281,626.5
2020	389.6	355.0	0.7	8,972.7	14,999.9	14.9	290,116.2
2021	448.6	415.0	0.0	9,243.2	17,270.5	0.0	298,861.9
2022	474.1	408.1	0.0	9,521.8	18,250.8	0.0	307,871.3

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

3.2.10.2.2. 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 1990-2022 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. Además, los siguientes balances energéticos continúan la modalidad para garantizar coherencia en la presentación de los datos.
- 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 utilizaron hojas de cálculo para todas las actividades del sector, documentadas en el subsistema de inventarios de Guatemala.

3.2.10.5. Nuevos cálculos de la subcategoría

Para la subcategoría, al igual que para el inventario anterior se aplicó las *Directrices del IPCC de 2006* y se utilizó como fuente principal los datos de actividad del Balance Energético. En este inventario se aplicaron los valores de PCA del AR5.

Dado que no se han realizado ajustes metodológicos en el presente inventario, puede evidenciarse que las diferencias en los datos de emisiones reportados son pequeñas, resultando ser menores al 10%, como se presenta en la Tabla 3.35, debido al cambio de PCA en este inventario.

Tabla 3.35.

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

INGEI	1990	2005	2018
INGEI – 1IBA	1,298.64	2,303.2	3,477.2
INGEI – 1BTR	1,382.00	2,456.5	3,699.9
Diferencia	83.36	153.2	222.7
Diferencia porcentual	6.4%	6.6%	6.4

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en el 1IBA 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 la 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 (CRT 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 2022. En el mismo año, las emisiones de la categoría contabilizaron

0.9 kt CO₂ eq, disminuyendo en un 60.1 % desde 1990 y en aumentando un 53.8 % desde 2018 (Tabla 3.36 y Figura 3.11). La tendencia a la disminución se debe a la baja de la actividad de las refinерías de petróleo.

Tabla 3.36.

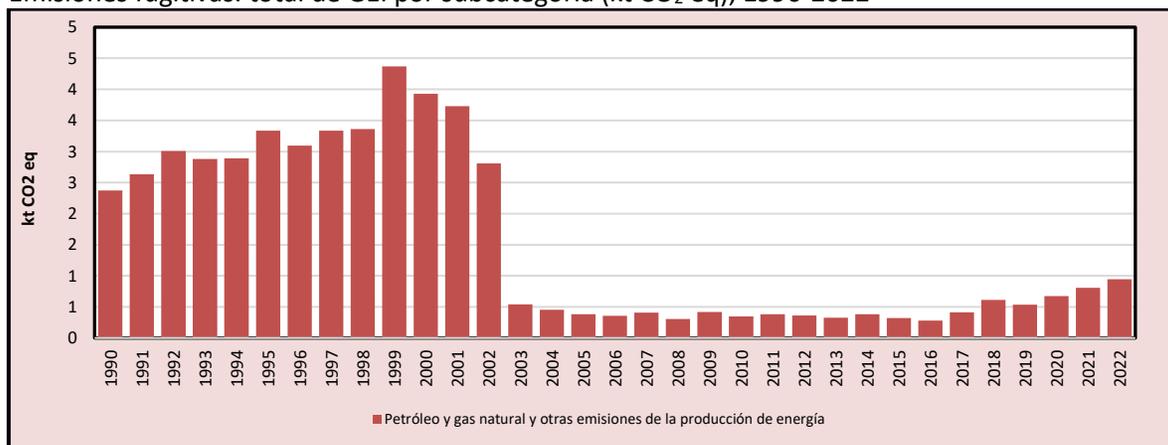
Emisiones fugitivas: total de GEI por subcategoría (kt CO₂ eq)

Subcategoría	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022
1.B.2. Petróleo y gas natural y otras emisiones...	2.4	3.3	3.9	0.4	0.3	0.3	0.7	0.8	0.9

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), 1990-2022



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 (CRT 1.B.1)

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

3.3.4. Petróleo y gas natural (CRT 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 53.8 % desde 2018 (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), 1990-2022

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
2019	3,181	849
2020	2,590	640
2021	2,091	766
2022	1,198	792

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	0.00000056
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 1990-2022 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. Además, los siguientes balances energéticos continúan la modalidad para garantizar coherencia en la presentación de los datos.

- 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 utilizaron hojas de cálculo para todas las actividades del sector, documentadas en el subsistema de inventarios de Guatemala.

3.3.4.5. Nuevos cálculos de la subcategoría

Para la subcategoría, al igual que para el inventario anterior se aplicó las *Directrices del IPCC de 2006* y se utilizó como fuente principal los datos de actividad del Balance Energético. En este inventario se aplicaron los valores de PCA del AR5.

Dado que no se han realizado ajustes metodológicos en el presente inventario, puede evidenciarse que las diferencias en los datos de emisiones reportados no son muy significativas, debido tanto a la incidencia de esta subcategoría como a la proporción de gases no CO₂, lo que se define con el cambio del PCA en este inventario (Tabla 3.40).

Tabla 3.40.

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

<i>INGEI</i>	<i>1990</i>	<i>2005</i>	<i>2018</i>
INGEI – 1IBA	2.1	0.3	0.5
INGEI – 1BTR	2.4	0.4	0.6
Diferencia	0.3	0.0	0.1
Diferencia porcentual	12.0%	12.0%	12.0%

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en el 1IBA 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 (CRT 1.C)

Esta categoría no ocurre en el país.

CAPÍTULO 4: SECTOR PROCESOS INDUSTRIALES Y USO DE PRODUCTOS (CRT 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 con niveles de calidad adecuados.

4.1.2. Tendencia de los GEI del sector

En 2022, las emisiones por GEI del sector IPPU fueron 2,212.4 kt CO₂ (**Tabla 4.1.**) y 502.1 kt CO₂ eq de HFC; dentro de las categorías reportadas, no se registraron emisiones de otros GEI.

La categoría de industria de los minerales (2.A) es la mayor contribuyente a las emisiones de GEI y junto con la categoría de uso de productos sustitutos de las SAO (2.F), aportaron el 96.5% del total de las emisiones de GEI del sector.

Tabla 4.1.

Sector IPPU: emisiones por GEI, categoría y subcategoría para 2022

Código	Categorías de fuente de GEI	CO ₂ (kt)	CH ₄ (kt)	N ₂ O (kt)	HFC (kt CO ₂ eq)	PFC (kt CO ₂ eq)	Mezclas no específicas de HFC y PFC (kt CO ₂ eq)	SF ₆ (kt)	NF ₃ (kt)	NO _x (kt)	CO (kt)	COVDM (kt)	SO _x (kt)	Total de GEI (kt CO ₂ eq)
2.	Procesos industriales y uso de productos	2,212.4	NA, NO	NA, NE, NO	527.2	NO	NO	NE, NO	NO	0.04	0.46	3.18	0.02	2,739.6
2.A.	Industria de los minerales	2,118.0								-	-	0.77	-	2,118.0
2.A.1.	Producción de cemento	1,627											NA	1,627.2
2.A.2.	Producción de cal	442.7												442.7
2.A.3.	Producción de vidrio	19.8										0.77		19.8
2.A.4.	Otros usos de carbonatos en los procesos	28.3								NA	NA	NA	NA	28.3
2.A.5.	Otros (especificar)	NO								NO	NO	NO	NO	-
2.B.	Industria química	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	-
2.B.1.	Producción de amoníaco	NO	NO	NO						NO	NO	NO	NO	-
2.B.2.	Producción de ácido nítrico			NO						NO				-
2.B.3.	Producción de ácido adípico	NO		NO						NO	NO	NO		-
2.B.4.	Producción de caprolactama, glioxil y ácido glioxílico	NO		NO								NO	NO	-
2.B.5.	Producción de carburo	NO	NO							NO	NO	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							NO	NO	NO	NO	-
2.B.9.	Producción fluoroquímica				NO	NO	NO	NO	NO					-
2.B.10.	Otros (especificar)	NO	NO	NO						NO	NO	NO	NO	-
2.C.	Industria de los metales	49.4	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0.04	0.46	0.01	0.02	49.4
2.C.1.	Producción de hierro y acero	48.8	NA							0.04	0.46	0.01	0.02	48.8
2.C.2.	Producción de ferroaleaciones	0.6	NA							NA	NA	NA	NA	0.6
2.C.3.	Producción de aluminio	NO				NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	-
2.C.4.	Producción de magnesio	NO			NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	-
2.C.5.	Producción de plomo	NE											NO	-
2.C.6.	Producción de cinc	NO											NO	-
2.C.7.	Otros (especificar)	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	-
2.D.	Productos no energéticos de combustibles y uso de solventes	45.0	NA	NO						NA, NO	NA, NO	0.40	NA, NO	45.0
2.D.1.	Uso de lubricantes	35.2	NA	NA						NA	NA	NA	NA	35.2
2.D.2.	Uso de la cera de parafina	9.8	NA	NA						NA	NA	NA	NA	9.8
2.D.3.	Otros (especificar)	NA	NA	NA						NA	NA	0.40	NA	-
2.E.	Industria electrónica			-	NO	NO	NO	NO	NO					-
2.E.1.	Circuitos integrados o semiconductores			-	NO	NO	NO	NO	NO					-
2.E.2.	Pantalla plana tipo TFT			-	NO	NO	NO	NO	NO					-
2.E.3.	Células fotovoltaicas				NO	NO	NO	NO	NO					-
2.E.4.	Fluidos de transferencia térmica				NO	NO	NO	NO	NO					-
2.E.5.	Otros (especificar)			-	NO	NO	NO	NO	NO					-
2.F.	Uso de productos sustitutos de las SAO				527.2	NA, NO	NA, NO	NA, NO	NA, NO					527.2
2.F.1.	Refrigeración y aire acondicionado				527.2	NA	NA	NA	NA					527.2
2.F.2.	Agentes espumantes				IE	NO	NO	NO	NO					-

Código	Categorías de fuente de GEI	CO ₂ (kt)	CH ₄ (kt)	N ₂ O (kt)	HFC (kt CO ₂ eq)	PFC (kt CO ₂ eq)	Mezclas no específicas de HFC y PFC (kt CO ₂ eq)	SF ₆ (kt)	NF ₃ (kt)	NO _x (kt)	CO (kt)	COVDM (kt)	SO _x (kt)	Total de GEI (kt CO ₂ eq)
2.F.3.	Protección contra incendios				IE	NO	NO	NO	NO					-
2.F.4.	Aerosoles				IE	NO	NO	NO	NO					-
2.F.5.	Solventes				IE	NO	NO	NO	NO					-
2.F.6.	Otras aplicaciones				NO	NO	NO	NO	NO					-
2.G.	Manufactura y utilización de otros productos	NO	NO	NE, NO	NO	NO	NO	NE, NO	NO	NO	NO	NO	NO	-
2.G.1.	Equipos eléctricos				NO	NO	NO	NE	NO					-
2.G.2.	SF ₆ y PFC de otros usos de productos					NO	NO	NE						-
2.G.3.	N ₂ O de usos de productos			NE										-
2.G.4.	Otros	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	-
2.H.	Otros (especificar)	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	2.0	NA	-

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 IPPU representó un 4.3 % del balance nacional de GEI de Guatemala en 2022 o el 8.4 % de las emisiones totales (excluyendo UTCUTS). En ese mismo año, sus emisiones alcanzaron 2,714.5 kt CO₂ eq, con un incremento de 377.3 % sobre las registradas en 1990 y de 87.0 % desde 2018 (Tabla 4.2. y Figura 4.1.). La tendencia observada indica un aumento sostenido debido a la creciente 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 del sector, un 77.3 % corresponde a *industria de los minerales*, un 19.2 % a *uso de productos sustitutos de las SAO*, un 1.8 % corresponde a *industria de los metales* y, finalmente, un 1.6 % se registró debido a *productos no energéticos de combustibles y uso de solventes*.

Es relevante la importancia e incremento de la proporción que del total tiene la industria de los minerales, en particular la *producción de cemento*, en las emisiones total del sector (Tabla 4.2.).

Tabla 4.2.

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

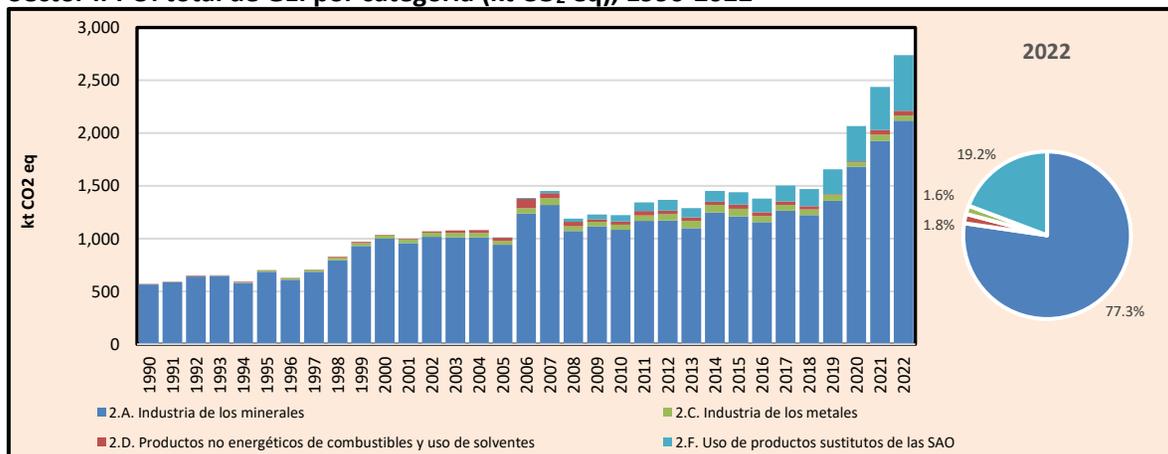
<i>Categoría</i>	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022
2.A. Industria de los minerales	565.8	687.1	1,000.3	942.0	1,084.1	1,212.2	1,680.4	1,925.3	2,118.0
2.B. Industria química	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
2.C. Industria de los metales	4.4	10.9	30.0	37.3	49.3	72.8	44.4	61.0	49.4
2.D. Productos no energéticos de combustibles y uso de solventes	3.7	4.8	6.0	31.0	28.7	36.4	6.7	45.0	45.0
2.E. Industria electrónica	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
2.F. Uso de productos sustitutos de las SAO	0.0	0.0	0.0	3.4	61.9	117.8	334.2	406.8	527.2
2.G. Manufactura y utilización de otros productos	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
2.H. Otros (especificar)	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Total	573.9	702.8	1,036.3	1,013.8	1,224.0	1,439.2	2,065.7	2,437.9	2,739.6

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), 1990-2022



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

Debido a la matriz industrial de Guatemala, en 2022, se registraron para las categorías del sector emisiones de CO₂ y de PFC, mientras que no se tuvieron emisiones de otros GEI. Los principales

impulsores del sector lo fueron el incremento en la producción de cemento y cal, así como la liberación de PFC de equipos de aire acondicionado y refrigeración.

La tendencia general del inventario se mantiene sensiblemente ascendente, observándose una aceleración en los años más recientes (2019-2022). Cabe hacer notar que dicha condición se tiene a pesar de que una revisión de los HFC importados a Guatemala realizada por el MARN y con la participación del comité técnico del Protocolo de Montreal, dio como resultado una reclasificación y un importante cambio a la baja en la cantidad utilizada a lo largo del tiempo (a partir de 2005) de estos compuestos, y por tanto de las emisiones correspondientes en la serie de tiempo reportada, con lo cual se verificó una reducción significativa por dicho ajuste. Así, para el último período reportado (2018), se contabilizaron por emisiones de HFC 713.6 kt CO₂ eq, mientras que la cantidad ajustada con base en dicha revisión da un total para ese año de 156.6 kt CO₂ eq.

En la Tabla 4.3. se presenta el desglose de emisiones totales por cada GEI para los años relevantes de reporte, incluyendo el desglose de los HFC por compuesto registrado, cantidades que se forman a partir de la importación de dichos compuestos aisladamente, sumando a ello la proporción que de cada uno de esos compuestos forma parte de la composición de otras mezclas de HFC comercializadas de ese modo.

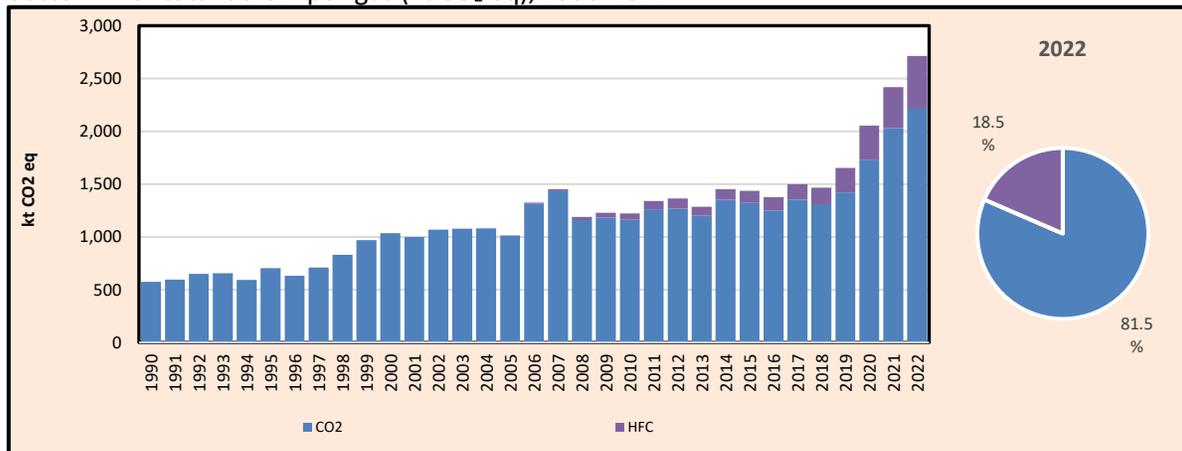
Tabla 4.3.
Sector IPPU: total de GEI por gas (kt CO₂ eq)

GEI	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022
CO ₂	573.9	702.8	1,036.3	1,010.4	1,162.2	1,321.4	1,731.5	2,031.2	2,212.4
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 totales	NO	NO	NO	3.3	60.3	115.1	334.2	406.8	527.2
HFC-32	NO	NO	NO	IE, NO	IE, NO	IE, NO	IE, NO	IE, NO	IE, NO
HFC-125	NO	NO	NO	IE, NO	IE, NO	IE, NO	IE, NO	IE, NO	IE, NO
HFC-134a	NO	NO	NO	IE, NO	IE, NO	IE, NO	IE, NO	IE, NO	IE, NO
HFC-143a	NO	NO	NO	IE, NO	IE, NO	IE, NO	IE, NO	IE, NO	IE, NO
PFC	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Mezclas no específicas de HFC y 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	573.9	702.8	1,036.3	1,013.7	1,222.4	1,436.5	2,065.7	2,437.9	2,739.6

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), 1990-2022



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

Como puede observarse, en el caso de las emisiones de CO₂ se observa una tendencia claramente ascendente, con dos períodos de crecimiento palpable, el primero de 1995-2000, con una tasa de crecimiento moderada pero sólida, y el segundo de 2016 a 2022, con una tasa de crecimiento más acelerada a pesar de la pandemia global de COVID-19.

Por su lado, las emisiones de PFC han crecido con una tendencia prácticamente exponencial a partir del inicio de su contabilización, debido a la sustitución de refrigerantes tradicionales como el amoníaco y algunos hidrocarburos por compuestos fluorizados, así como a las consideraciones conservadoras en cuanto a la tasa de emisiones fugitivas de estos equipos y a su vida útil, lo cual se explica con mayor detalle en la sección dedicada a la categoría correspondiente.

De manera análoga, en este inventario se presentan las estimaciones de las emisiones de diversos precursores del cambio climático, incluidos NO_x, CO, COVDM y SO_x generados en diversas categorías del sector, incluidas algunas que no reportan emisiones de GEI bajo el mismo.

Las emisiones reportadas de NO_x, CO y SO_x únicamente en la producción de hierro y acero, alcanzando un valor de 0.035 kt, 0.461 kt y 0.016 kt en 2022, respectivamente, con una tasa de crecimiento de 1,097 % comparada con 1990. Estas emisiones están ligadas de manera directa al nivel de producción de acero registrado en el país, ya que una sola empresa es dominante y tiene el mismo proceso desde que se inició el reporte de este inventario, por lo que su tendencia sigue cercanamente a la de dicha producción durante el período 1990-2022.

En 2022, las emisiones de COVDM fueron de 3.183 kt, registrando un crecimiento de 257 % durante el período 1990 – 2022. Estas emisiones se registraron en la producción de vidrio, de hierro y acero, así como en la categoría de productos no energéticos de combustibles y uso de solventes y en la industria de alimentos y bebidas, la cual no generó emisiones de GEI reportadas en el sector, por lo cual se reportan como “Otros”, bajo la categoría 2H.

El menor crecimiento de las emisiones de COVDM durante el período 1990-2022 respecto del resto de los precursores antes señalados, obedece a que la mayor contribución a esas emisiones se verifica en la industria de alimentos y bebidas, cuya producción tiene una componente importante ligada al crecimiento poblacional.

En la Tabla 4.4. puede observarse el comportamiento de estos precursores para los años reportados del INGEI, así como para los tres años más recientes.

Tabla 4.4.

Sector IPPU: emisiones por cada precursor (kt)

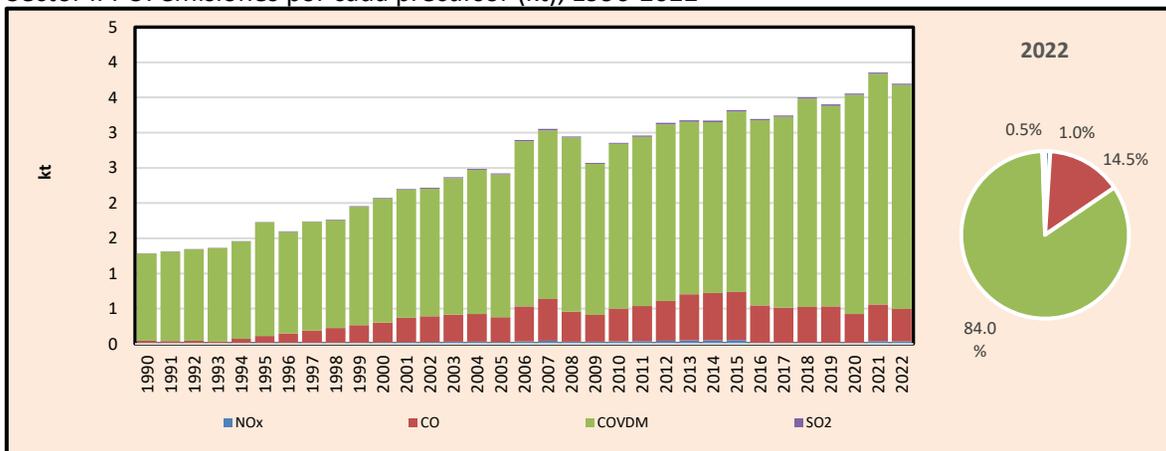
Precursor	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022
NO _x	0.003	0.008	0.022	0.027	0.036	0.052	0.011	0.040	0.035
CO	0.042	0.103	0.283	0.353	0.466	0.684	0.412	0.522	0.461
COVDM	1.238	1.614	1.760	2.030	2.339	2.561	3.117	3.276	3.183
SO _x	0.001	0.004	0.010	0.012	0.016	0.024	0.015	0.016	0.016
Total	1.284	1.729	2.075	2.422	2.857	3.322	3.555	3.854	3.696

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

La Figura 4.3. muestra el comportamiento de las emisiones de cada precursor y en ella puede comprobarse la tendencia idéntica en cuanto a perfil de las emisiones de NO_x, CO y SO_x por las razones citadas, así como la de crecimiento ascendente y sostenido de las emisiones de COVDM.

Figura 4.3.

Sector IPPU: emisiones por cada precursor (kt), 1990-2022



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 métodos de Nivel 1 del Volumen 3 de las *Directrices del IPCC de 2006*⁶, incluyendo factores de emisión por defecto. Esto se debe principalmente a que no se cuenta con información directa de los procesos o factores de emisión sectoriales o nacionales en el sector que permitan utilizarlos en otro nivel, a pesar de que varias fuentes de datos de actividad son de alta calidad.

Los datos de actividad utilizados en estas categorías se estimaron a partir de información directa de la industria, proporcionada por las instalaciones industriales o extraída de publicaciones especializadas, 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

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

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 producción de hierro y acero. También se utilizó información empleada para generar los informes de los inventarios de GEI presentados en el marco de las anteriores CN de Guatemala ante la CMNUCC.

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, con las consideraciones del caso. 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 o utilizado 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*, incluyendo la utilización de la herramienta para aproximar la serie temporal de emisiones de HFC que se indica en dichas directrices.

4.2. Industria de los minerales (CRT 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 calcinan 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 incluidas bajo esta categoría: *producción de cemento, producción de cal, producción de vidrio; otros usos de carbonatos en los procesos.*

En 2022 se generaron 2,118 kt CO₂ en la *industria de los minerales*, representando 78.0 % 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 274.3 % desde 1990 y 124.8 % desde 2005. En 2022 continuó el fuerte crecimiento experimentado a partir de 2019 hasta 2022, presentando en ese período un crecimiento de 55.7 % (Tabla 4.5. y Figura 4.4.).

En cuanto la participación de las subcategorías, la *producción de cemento* representó el 76.8 % de la categoría, la *producción de cal* representó un 20.9 %, con un incremento considerable en el período 2019–2022; los *otros usos de los carbonatos en los procesos* representaron el 1.3 %, mientras que el 0.9 % fue aportado por la *producción de vidrio*.

Tabla 4.5.

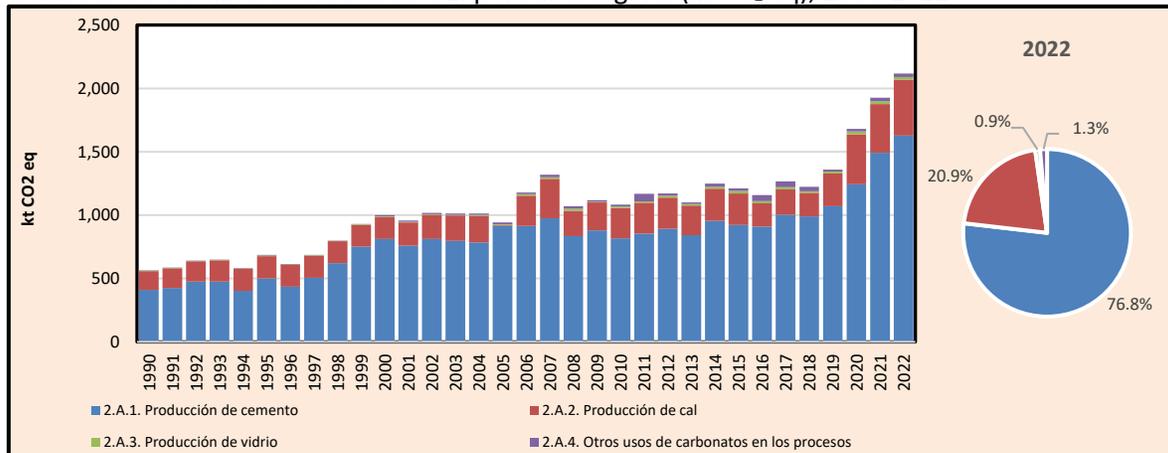
Industria de los minerales: total de GEI por subcategoría (kt CO₂ eq)

Subcategoría	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022
2.A.1. Producción de cemento	410.5	500.5	812.3	914.3	818.3	923.6	1244.2	1493.1	1627.2
2.A.2. Producción de cal	149.3	175.3	172.5	7.4	238.1	248.6	394.6	383.8	442.7
2.A.3. Producción de vidrio	3.5	6.5	5.6	6.2	11.8	19.4	20.7	22.9	19.8
2.A.4. Otros usos de carbonatos en...	2.5	4.7	9.9	14.1	16.0	20.7	20.8	25.5	28.3
Total	565.8	687.1	1000.3	942.0	1084.1	1212.2	1680.4	1925.3	2118.0

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

Figura 4.4.

Industria de los minerales: total de GEI por subcategoría (kt CO₂ eq), 1990-2022



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 de acuerdo con el Capítulo 2, Volumen 3 de las *Directrices del IPCC de 2006*.

4.2.3. Producción de cemento (CRT 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 (CaCO₃), obteniéndose cal (CaO) y liberándose el CO₂. 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 2022 se generaron 1,627.2 kt CO₂ eq como resultado de la *producción de cemento*, las cuales representan el 76.8 % 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 296.4 % desde 1990 y en un 64.3 % desde 2018 (Tabla 4.5. y Figura 4.4.).

4.2.3.2. Aspectos metodológicos de la subcategoría

Para la estimación de emisiones de la subcategoría se aplicó el método de Nivel 1 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 la totalidad del período 1990-2022 se obtuvieron los datos de producción nacional de clínker de las instalaciones productoras nacionales, lo cual se puede ver en la Tabla 4.6. con la información reportada.

Tabla 4.6.

Producción de cemento: producción nacional de clínker (t), 1990-2022

Año	Toneladas	Año	Toneladas	Año	Toneladas
1990	789,123.0	2001	1,461,257.1	2012	1,715,977.0
1991	818,918.0	2002	1,560,114.3	2013	1,619,926.0
1992	912,812.0	2003	1,531,930.1	2014	1,835,375.0
1993	912,805.0	2004	1,510,124.0	2015	1,775,406.0
1994	774,420.8	2005	1,757,542.0	2016	1,750,563.0
1995	962,043.3	2006	1,873,569.0	2017	1,926,095.4
1996	837,115.7	2007	1,873,494.0	2018	1,903,413.0
1997	972,671.0	2008	1,603,494.0	2019	2,059,847.0
1998	1,194,986.0	2009	1,689,534.0	2020	2,391,730.1
1999	1,443,010.0	2010	1,573,000.0	2021	2,870,160.1
2000	1,561,597.2	2011	1,644,488.5	2022	3,127,985.9

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 CaCO₃ 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

En relación con los datos de actividad, se considera la incertidumbre por la aproximación a los datos de producción nacional de clínker, relacionada con la diferencia entre los datos reportados y el valor real, así como la aclaración de que se trata de clínker producido nacionalmente, 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 para esta subcategoría se presentan en la Tabla 4.7.

Tabla 4.7.

Producción de cemento: 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 cemento	CO ₂	2%	5.48%	5.83%

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*.

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

4.2.3.5. Nuevos cálculos de la subcategoría

No se utilizaron nuevos cálculos en esta subcategoría entre la serie temporal 1990-2018 del 1IBA y este inventario.

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).
- Aplicar las disposiciones relacionadas con aseguramiento y control de la calidad para establecer un programa general que incluya todas las actividades de compilación y proceso de información, así como reporte y revisión del inventario del sector.

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 (CRT 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 2022 se generaron 442.7 kt CO₂ eq a partir de la producción de cal, representando 20.9 % de las emisiones de la *industria de los minerales*. Desde 1990, esta subcategoría se ha incrementado en 196.5 % (Tabla 4.5 y Figura 4.4).

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.

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), 1990-2022

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
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
2019	323,891.6	18,769.1
2020	423,542.6	99,976.3
2021	400,831.9	108,084.6
2022	470,330.6	116,850.4

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*.

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

4.2.4.5. Nuevos cálculos de la subcategoría

No se utilizaron nuevos cálculos en esta subcategoría entre la serie temporal 1990-2018 del 1IBA y este inventario.

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 (CRT 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 2022 se generaron 19.8 kt CO₂ eq a partir de la *producción de vidrio*, representando 0.9 % de las emisiones de la *industria de los minerales*. Desde 1990, esta subcategoría ha incrementado su participación en un 49.5 % desde 2018 y un 461.0 % desde 1990 (Tabla 4.5 y Figura 4.4).

4.2.5.2. Aspectos metodológicos de la subcategoría

Se utilizaron los lineamientos de 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 para envases. Las estadísticas de producción de vidrio para el período 1990-2018 son estimadas a partir de métodos indirectos (materias primas), mientras para el período 2019-2022 son estimadas a partir de datos de importación y exportación de manufacturas de vidrio para envase, lo cual es posible dado el hito alcanzado por Guatemala en 2018 al llegar a un nivel de reciclaje del 100 %, respecto de la cantidad de vidrio producida en el país, por lo cual, al existir importación de *cullet*, se considera como una estimación conservadora la de que la totalidad de la producción de vidrio exportado (el resto de la producción), se genera a partir de materiales vírgenes, con lo cual se pueden utilizar factores de emisión por defecto considerando que en ese caso no se tiene participación del reciclaje de *cullet*, lo anterior debido a la falta de datos directos de la industria.

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.

Para el período 2019-2022, el dato de actividad para calcular las emisiones de GEI relacionadas con esta subcategoría se obtuvo a partir de la información de comercio exterior publicada por el INE, bajo la consideración de que todo el vidrio para envase exportado es producido en Guatemala y a partir de materiales vírgenes, lo cual es posible y justificable a partir de que Guatemala ha alcanzado y mantenido, desde 2019, una tasa de reciclaje del 100% del vidrio producido en el país. Considerando que aún existe importación de *cullet*, dicha consideración resulta conservadora.

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 empalmó 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.

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), 1990-2022

Año	Toneladas	Año	Toneladas	Año	Toneladas
1990	30,545.5	2001	49,813.8	2012	117,376.9
1991	25,991.1	2002	46,654.6	2013	99,125.7
1992	21,436.7	2003	50,361.9	2014	122,105.8
1993	16,882.3	2004	66,691.5	2015	168,000.0
1994	10,900.4	2005	53,563.0	2016	147,325.2
1995	56,642.6	2006	111,540.8	2017	141,343.6
1996	9,386.7	2007	114,638.7	2018	114,606.5
1997	27,572.3	2008	139,809.7	2019	137,518.3
1998	7,440.7	2009	60,538.9	2020	179,552.9
1999	35,137.5	2010	102,567.2	2021	197,948.1
2000	48,377.8	2011	107,463.8	2022	171,367.6

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

Categorías de fuente de GEI	GEI	Incertidumbre de los DA	Incertidumbre del FE	Incertidumbre combinada
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*.

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

4.2.5.5. Nuevos cálculos de la subcategoría

No se utilizaron nuevos cálculos en esta subcategoría entre la serie temporal 1990-2018 del 1IBA y este inventario.

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 (CRT 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 2022 se generaron 28.3 kt CO₂ eq a partir de otros *usos de los carbonatos en los procesos*, representando 1.3 % 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 1,049.9 % y tuvo un decrecimiento de 19.1 % desde 2018 (Tabla 4.5 y Figura 4.4).

4.2.6.2. Aspectos metodológicos de la subcategoría

Para la estimación de los GEI se utiliza un método de Nivel 1 ya que en el país no se cuenta con datos de calidad disponibles sobre entradas de los carbonatos para los distintos procesos, ni se cuenta con datos sobre el consumo de caliza y dolomita para cada categoría de fuente.

En el caso de *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 emplea 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) publicadas por el INE para 2019-2022, así como las de la SAT para 2013-2018 y las de BANGUAT para el período 1994-2018. Con esa información es 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 considera es utilizada para 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), 1990-2022

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

Año	Arcilla para cerámica	Ceniza de sosa
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
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
2019	65,963.8	30,752.2
2020	204,794.6	28,813.0
2021	247,660.8	35,592.6
2022	300,665.9	36,725.1

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

En cuanto a los datos de actividad, se considera la incertidumbre relacionada con la suposición de asignación de usos y de suposiciones de contenido y proporción de los carbonatos, de acuerdo con

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

<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>
Otros usos de carbonatos en los procesos	CO ₂	5.83%	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*.

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

4.2.6.5. Nuevos cálculos de la subcategoría

No se utilizaron nuevos cálculos en esta subcategoría entre la serie temporal 1990-2018 del 1IBA y este inventario.

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. Resumen de datos de actividad de la categoría

En la Tabla 4.16 se encuentra el resumen de los datos de actividad para las cuatro subcategorías.

Tabla 4.16.

Industria de los minerales: datos de actividad por fuente de GEI (t)

Año	Producción de Cemento	Producción de cal		Producción de vidrio	Otros usos de los carbonatos en los procesos	
	Producción de clínker	Producción de cal (calcítica)	Producción de cal (dolomítica)	Producción de vidrio s/reciclaje	Arcilla para cerámica	Ceniza de sosa
1990	789,123.0	181,125.0	17,500.0	30,545.5	NO	6,000.0
1991	818,918.0	193,631.3	13,953.5	25,991.1	NO	5,105.4
1992	912,812.0	206,137.5	10,406.9	21,436.7	NO	4,210.8
1993	912,805.0	218,643.8	6,860.4	16,882.3	NO	3,316.2
1994	774,420.8	231,150.0	3,313.8	10,900.4	NO	2,224.1
1995	962,043.3	227,504.5	6,131.5	56,642.6	NO	11,557.0
1996	837,115.7	223,859.0	8,949.2	9,386.7	NO	1,915.2
1997	972,671.0	220,213.5	11,766.9	27,572.3	NO	5,625.7
1998	1,194,986.0	216,568.0	14,584.6	7,440.7	NO	1,518.2
1999	1,443,010.0	212,922.5	17,402.3	35,137.5	NO	7,169.2
2000	1,561,597.2	209,277.0	20,220.0	48,377.8	NO	9,870.7
2001	1,461,257.1	224,947.0	16,813.8	49,813.8	NO	10,163.7
2002	1,560,114.3	240,617.1	13,407.5	46,654.6	NO	9,519.1
2003	1,531,930.1	256,287.1	10,001.3	50,361.9	NO	10,275.5
2004	1,510,124.0	271,957.2	6,595.1	66,691.5	132,173.5	13,607.3
2005	1,757,542.0	8,989.8	897.5	53,563.0	219,368.7	10,928.7
2006	1,873,569.0	318,120.9	243.9	111,540.8	57,175.0	22,758.1
2007	1,873,494.0	408,459.4	5,746.5	114,638.7	260,734.0	23,390.2
2008	1,603,494.0	263,673.4	2,182.6	139,809.7	227,160.5	28,525.9
2009	1,689,534.0	293,939.6	692.5	60,538.9	163,558.6	12,352.0
2010	1,573,000.0	316,349.2	1,024.3	102,567.2	168,033.2	20,927.2
2011	1,644,488.5	320,624.3	1,457.4	107,463.8	1,141,214.8	21,926.3
2012	1,715,977.0	328,461.9	578.4	117,376.9	196,797.5	23,948.9
2013	1,619,926.0	307,601.5	3,739.1	99,125.7	99,907.1	22,169.2
2014	1,835,375.0	331,823.4	6,460.0	122,105.8	421,257.7	17,911.4
2015	1,775,406.0	324,483.7	6,788.4	168,000.0	230,045.7	25,716.5
2016	1,750,563.0	241,024.9	3,338.7	147,325.2	751,831.5	34,428.9
2017	1,926,095.4	656,209.8	25,403.2	141,343.6	666,812.3	39,846.5
2018	1,903,413.0	243,566.2	3,008.0	114,606.5	592,890.8	21,625.8
2019	2,059,847.0	323,891.6	18,769.1	137,518.3	65,963.8	30,752.2
2020	2,391,730.1	423,542.6	99,976.3	179,552.9	204,794.6	28,813.0
2021	2,870,160.1	400,831.9	108,084.6	197,948.1	247,660.8	35,592.6
2022	3,127,985.9	470,330.6	116,850.4	171,367.6	300,665.9	36,725.1

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

4.2.8. Resumen de los factores de emisión de la categoría

En la

Tabla 4.17 se encuentra el resumen de los factores de emisión aplicados para las cuatro subcategorías.

Tabla 4.17.

Industria de los minerales: factores de emisión aplicados por fuente de GEI

<i>Fuente de GEI</i>	<i>GEI</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidad</i>
Producción de cemento	N ₂ O	0.52	t CO ₂ /t clínker
Producción de cal (calcítica)	CO ₂	0.75	t CO ₂ /t cal
Producción de cal (dolomítica)	CO ₂	0.77	t CO ₂ /t cal
Producción de vidrio	CO ₂	0.21	t CO ₂ /t vidrio
Producción de cerámica (calcita)	CO ₂	0.43971	t CO ₂ /t carbonato
Producción de cerámica (dolomita)	CO ₂	0.47732	t CO ₂ /t carbonato
Otros usos de la ceniza de sosa (carbonato de sodio o ceniza de sosa)	CO ₂	0.41492	t CO ₂ /t carbonato

Nota: los valores mostrados para producción de cemento, cerámicas y otros usos de ceniza de sosa son resultado de la combinación de varios factores individuales, los cuales se presentan en su forma final para aplicar directamente al dato de actividad correspondiente.

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

4.2.9. Resumen de los valores de incertidumbre de la categoría

En la Tabla 4.18 se encuentra el resumen de los de los valores de incertidumbre para las cuatro subcategorías.

Tabla 4.18.

Industria de los minerales: 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>
2.A.1 Producción de cemento	CO ₂	2 %	5.48 %	5.83%
2.A.2 Producción de cal	CO ₂	6.00 %	2.00 %	6.32 %
2.A.3 Producción de vidrio	CO ₂	5.00 %	60.00 %	60.21 %
2.A.4 Otros usos en procesos de carbonatos	CO ₂	5.83 %	3.00 %	6.56 %

Nota: con fines conservadores y de reporte, cuando el rango de incertidumbre fue asimétrico, se aplicó el valor más distante de la media.

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

4.2.10. Nuevos cálculos de la categoría

No se utilizaron nuevos cálculos en esta categoría entre la serie temporal 1990-2018 del 1BA y este inventario.

4.3. Industria química (CRT 2.B)

Esta categoría no ocurre en el país.

4.4. Industria de los metales (CRT 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. En *la industria de los metales* se generaron 49.4 kt CO₂ eq en 2022, representando 1.8 % del total de emisiones de GEI en el sector IPPU. La *producción de hierro y acero* emitió el 98.8 % del total de la categoría, mientras que la *producción de ferroaleaciones* (ferróniquel) generó el 1.2 % restante.

Las emisiones han mostrado una tendencia creciente pero oscilante, presentándose años con menor producción relativa en los últimos años. Estas emisiones se han incrementado en un 1,011.0 % desde 1990 y se han reducido en un 9.0 % desde 2018 (Tabla 4.19 y Figura 4.5).

Tabla 4.19.

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

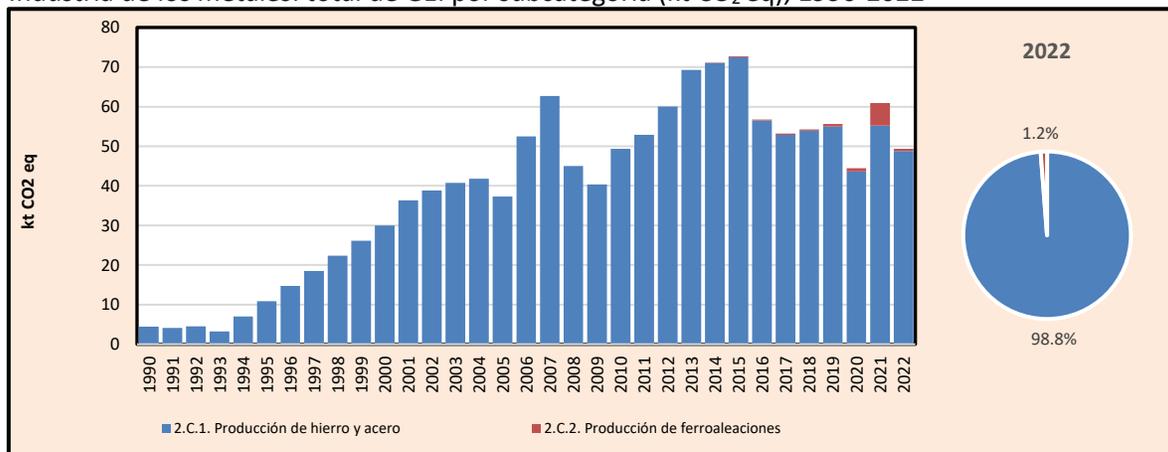
Subcategoría	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022
2.C.1. Producción de hierro y acero	10.9	30.0	37.3	49.3	72.5	43.7	55.2	48.8	24.0
2.C.2. Producción de ferroaleaciones	NO	NO	NO	NO	0.3	0.8	5.7	0.6	0.3
Total	1.8	4.8	13.3	16.6	21.9	32.5	25.3	23.8	24.3

Nota: NO = no ocurre.

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

Figura 4.5.

Industria de los metales: total de GEI por subcategoría (kt CO₂ eq), 1990-2022



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

4.4.2. Aspectos metodológicos de la categoría

En la estimación de emisiones de GEI de las dos subcategorías con actividad en el período de reporte (*producción de hierro y acero* y *producción de ferroaleaciones*), se utiliza el método de Nivel 1 del Capítulo 4, Volumen 5 de las *Directrices del IPCC de 2006*.

Lo anterior se deriva de que 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 o arreglos institucionales en vigencia tendientes a ello, por lo tanto, los datos de actividad han sido estimados por métodos indirectos, mientras que se utiliza factores de emisión por defecto.

En Guatemala solamente se identifica la producción de acero en hornos de arco eléctrico (EAF). 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, generando CO₂ a medida que son consumidos (IPCC, 2006).

En cuanto a la categoría de producción de ferroaleaciones, 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).

4.4.3. Producción de hierro y acero (CRT 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 2022, la *producción de hierro y acero* generó 48.8 kt CO₂ eq, representando 98.8 % de las emisiones de la categoría. Las emisiones en esta subcategoría se han incrementado en un 997.5 % desde 1990 y se disminuyeron en un 9.5% desde 2018, esto está vinculado principalmente al crecimiento en la transformación secundaria del acero, pero no muestra una tendencia lineal de incremento (Tabla 4.19 y Figura 4.5).

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

En Guatemala no se generan estadísticas sobre *producción de hierro y acero*, y no se tuvo acceso a la información directa de las plantas productoras. Con base en ello, se utilizó como información de base para los datos de actividad las publicadas acerca de estadísticas de producción de acero en América, con desglose regional identificando separadamente a Guatemala. Las mismas son emitidas anualmente por la Organización Mundial del Acero (World Steel Association, 2001), y son la continuación de las que en su momento publicó el Instituto Internacional del Hierro y el Acero (International Iron and Steel Institute, 2020). En Guatemala solo opera una empresa productora de acero, utilizando el proceso de fundición de chatarra y rectificación en horno de arco eléctrico para producir acero, por lo que la totalidad de producción se ha asignado a este dato de actividad. En la Tabla 4.20. se presenta el total de la producción nacional utilizado para la serie.

Tabla 4.20.

Producción de hierro y acero: producción nacional de acero (t), 1990-2022

Año	Toneladas	Año	Toneladas	Año	Toneladas
1990	22,239.5	2001	201,800.0	2012	333,526.0
1991	23,000.0	2002	215,900.0	2013	384,791.0
1992	25,000.0	2003	226,300.0	2014	394,737.0
1993	18,000.0	2004	232,100.0	2015	402,641.0
1994	39,214.3	2005	207,400.0	2016	313,772.0
1995	60,428.6	2006	291,600.0	2017	293,800.0
1996	81,642.9	2007	348,500.0	2018	299,676.0
1997	102,857.1	2008	250,000.0	2019	305,670.0
1998	124,071.4	2009	224,200.0	2020	242,498.0
1999	145,285.7	2010	274,000.0	2021	306,892.0
2000	166,500.0	2011	293,725.0	2022	271,057.0

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 0.18 tonelada de CO₂ por tonelada de acero producido (Cuadro 4.1b Vol.3, *Refinamiento 2019 a las Directrices del IPCC de 2006*, Cap. 4, Vol. 3., el cual se reporta en la Tabla 4-11.

Este factor de emisión se aplica a toda la serie, en sustitución del anteriormente empleado, que indicaba un valor de 0.08 tonelada de CO₂ por tonelada de acero producido, establecido en las *Directrices del IPCC de 2006*, Cuadro 4.1, Cap. 4, Vol. 3, al que dicha tabla en el *Refinamiento 2019 a las Directrices del IPCC de 2006* sustituye (Ver sección 4.4.3.5. de nuevos cálculos de la subcategoría).

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 4.21. 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 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 coherente 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

Ha sido necesario ajustar los cálculos correspondientes al total de la serie temporal de emisiones de la subcategoría CRT 2.C.1, *producción de hierro y acero*, debido a que en los refinamientos a las *Directrices del IPCC 2006* se modificó el factor de emisión para la producción de acero en horno de arco eléctrico (EAF), pasando de 0.08 tCO₂ /t acero producido, a 0.18 tCO₂ /t acero producido, es decir un incremento del 125 % en el caso de las emisiones calculadas con dicho factor.

Así mismo, se corrigió un cálculo para el año 1990, en donde el dato de factor de emisión fue sustituido por el valor correcto.

Dado que en este proceso de producción se basa toda la serie y cálculo de esta subcategoría para el país, fue importante hacer dicha consideración.

De este modo, se presenta en esta versión del inventario la base de información ajustada con base en dicha diferencia, lo cual puede apreciarse en el resumen presentado en la



Tabla 4.22.

Tabla 4.22.

Producción de hierro y acero: comparación entre los totales anuales de los inventarios (kt CO₂ eq)

INGEI	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022
INGEI – 1IBA	1.8	4.8	13.3	16.6	21.9	32.2	25.1		
INGEI – 1BTR	4.4	10.9	30.0	37.3	49.3	72.5	43.7	55.2	48.8
Diferencia	2.6	6.1	16.7	20.7	27.4	40.3	18.6		
Diferencia %	144.4%	127.1%	125.6%	124.7%	125.1%	125.2%	74.1%		

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en el 1IBA de Guatemala.

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 (CRT 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 2022 se generaron 0.6 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; sin embargo, esta subcategoría tuvo un incremento significativo en el 2021, alcanzando 5.7 kt CO₂ eq de emisiones para ese año. Desde 2014, esta subcategoría ha representado menos del 2 % del total de la *industria de los metales* (Tabla 4.19 y Figura 4.5).

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 4.23 se presenta el total de la producción nacional utilizado para la serie.

Tabla 4.23.

Producción de ferroaleaciones: producción nacional de FeNi (t), 1990-2022

Año	Toneladas	Año	Toneladas	Año	Toneladas
1990	NO	2001	NO	2012	NO
1991	NO	2002	NO	2013	NO
1992	NO	2003	NO	2014	8,608.2
1993	NO	2004	NO	2015	27,922.1
1994	NO	2005	NO	2016	23,264.4
1995	NO	2006	NO	2017	30,756.3
1996	NO	2007	NO	2018	34,242.9
1997	NO	2008	NO	2019	56,531.8
1998	NO	2009	NO	2020	75,156.9
1999	NO	2010	NO	2021	572,379.0
2000	NO	2011	NO	2022	60,456.6

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 4.24. Se puede apreciar que la incertidumbre combinada está mayormente asociada al uso de factores de emisión por defecto de CO₂.

Tabla 4.24.

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

4.4.4.5. Nuevos cálculos de la subcategoría

No se utilizaron nuevos cálculos en esta categoría entre la serie temporal 1990-2018 del 1IBA y este inventario.

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 (CRT 2.C.3)

Esta subcategoría no ocurre en el país.

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

Esta subcategoría no ocurre en el país.

4.4.7. Producción de plomo (CRT 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 (CRT 2.C.6)

Esta subcategoría no ocurre en el país.

4.4.9. Otros (CRT 2.C.7)

Esta subcategoría no ocurre en el país.

4.5. Productos no energéticos de combustibles y uso de solventes (CRT 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 2022 se generaron 45.0 kt CO₂ eq, representando el 1.7 % del total de emisiones de GEI en el sector IPPU. El *uso de lubricantes* representó el 98.8 % de las emisiones de la categoría. Por otro lado, el *uso de cera de la parafina* representó el 1.2 %. Las emisiones de GEI esta categoría han mostrado una tendencia creciente, incrementándose en un 1,124.2 % desde 1990 y en un 45.3 % desde 2005 (Tabla 4.25 y Figura 4.6).

Tabla 4.25.

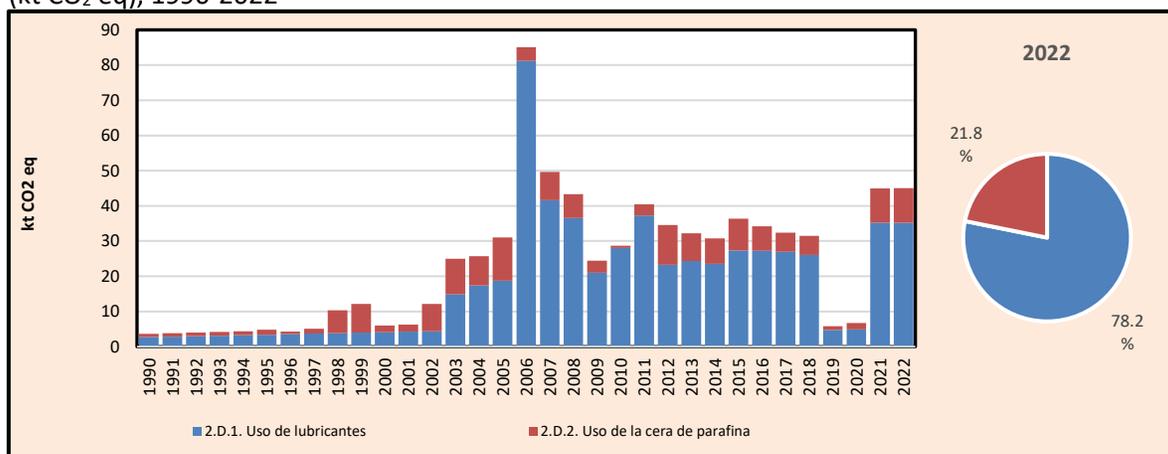
Uso de productos no energéticos de combustibles y de solventes: total de GEI por subcategoría (kt CO₂ eq)

Subcategoría	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022
2.D.1. Uso de lubricantes	2.7	3.4	4.1	18.7	28.1	27.3	4.9	35.2	35.2
2.D.2. Uso de la cera de parafina	1.0	1.4	1.9	12.3	0.6	9.1	1.9	9.7	9.8
Total	3.7	4.8	6.0	31.0	28.7	36.4	6.7	45.0	45.0

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

Figura 4.6.

Uso de productos no energéticos de combustibles y de solventes: total de GEI por subcategoría (kt CO₂ eq), 1990-2022



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 COVDM relevantes para esta subcategoría.

4.5.3. Uso de lubricantes (CRT 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 2022 se generaron 35.2 kt CO₂ eq, las cuales representan el 78.2 % de las emisiones de la categoría. Desde 1990 se observa un aumento en las emisiones del 1197.6 %, mientras que desde 2018 se presenta un incremento de 35.1 % (Tabla 4.25 y Figura 4.6).

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 2019-2022 se obtuvieron estadísticas de comercio exterior publicadas por el INE, las cuales han sido revisadas por BANGUAT y son coincidentes con las fuentes utilizadas para los datos de actividad anteriores según se indica a continuación.

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 sugerido como valor por defecto a utilizar 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. Se observa una caída pronunciada en las emisiones de GEI durante los años 2019 y 2020, lo cual podría tener relación con los efectos de la pandemia de COVID-19.

Tabla 4.26.

Uso de lubricantes: consumo aparente de lubricantes (t), 1990-2022

Año	Toneladas	Año	Toneladas	Año	Toneladas
1990	4,602.0	2001	7,227.1	2012	39,462.2
1991	4,840.6	2002	7,465.8	2013	41,306.3
1992	5,079.3	2003	25,229.4	2014	39,956.5
1993	5,317.9	2004	29,479.6	2015	46,333.3
1994	5,556.6	2005	31,719.7	2016	46,228.5
1995	5,795.2	2006	137,755.3	2017	45,770.2
1996	6,033.9	2007	70,559.9	2018	44,212.0
1997	6,272.5	2008	61,983.4	2019	8,404.1
1998	6,511.2	2009	35,623.2	2020	8,564.3
1999	6,749.8	2010	47,626.0	2021	60,518.6
2000	6,988.5	2011	63,187.8	2022	60,648.0

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en información de INE, 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 4.27).

Tabla 4.27.

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 4.28. 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 lubricantes: 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>
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*.

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

No se utilizaron nuevos cálculos en esta subcategoría entre la serie temporal 1990-2018 del 1IBA y este inventario.

4.5.3.6. Plan de mejora de la subcategoría

Para esta subcategoría se contemplan las siguientes mejoras:

- De acuerdo con lo sugerido en el inventario anterior, se debe 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.

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 (CRT 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 2022 se generaron 9.8 kt CO₂ eq, representando el 21.8 % de las emisiones de la categoría, incrementándose en un 917.1 % desde 1990 y en un 81.8 % desde 2018 (Tabla 4.25 y Figura 4.6).

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 2019-2022 se obtuvieron estadísticas de comercio exterior publicadas por el INE, las cuales han sido revisadas por BANGUAT y son coincidentes con las fuentes utilizadas para los datos de actividad anteriores según se indica a continuación.

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 extrapolación 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 4.29. se presenta el total de la producción nacional para toda la serie.

Se observa una caída pronunciada en las emisiones de GEI durante los años 2019 y 2020, lo cual podría tener relación con los efectos de la pandemia de COVID-19.

Tabla 4.29.

Uso de la cera de parafina: consumo aparente de cera de parafina (t), 1990-2022

Año	Toneladas	Año	Toneladas	Año	Toneladas
1990	1,637.7	2001	3,397.2	2012	19,178.9
1991	1,692.2	2002	13,082.5	2013	13,286.2
1992	1,746.6	2003	17,120.7	2014	12,256.0
1993	1,801.0	2004	14,126.9	2015	15,406.0
1994	1,855.4	2005	20,848.8	2016	11,839.2
1995	2,392.0	2006	6,590.0	2017	10,381.7
1996	1,190.5	2007	13,679.2	2018	9,170.4
1997	2,349.6	2008	11,545.8	2019	1,918.0
1998	11,021.3	2009	5,866.3	2020	3,140.4
1999	13,790.9	2010	1,030.3	2021	16,531.1
2000	3,223.5	2011	5,348.6	2022	16,670.0

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en información de INE, 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 4.30).

Tabla 4.30.

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 4.31. Se puede apreciar que la incertidumbre combinada está mayormente asociada al uso de factores de emisión por defecto de CO₂.

Tabla 4.31.

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*.

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

4.5.4.5. Nuevos cálculos de la subcategoría

No se utilizaron nuevos cálculos en esta subcategoría entre la serie temporal 1990-2018 del IIBA y este inventario.

4.5.4.6. Plan de mejora de la subcategoría

Para esta subcategoría se contemplan las siguientes mejoras:

- De acuerdo con lo sugerido en el INGEI 2018, realizar un estudio específico que permita identificar las proporciones de ceras de la parafina que son utilizadas para fines no energéticos, con la participación destacada 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 (CRT 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 (CRT 2.D.4)

Esta subcategoría no ocurre en el país.

4.6. Industria electrónica (CRT 2.E)

Esta subcategoría no ocurre en el país.

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

4.7.1. Descripción y tendencia de los GEI de la categoría

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.

La categoría *uso de productos sustitutos de las sustancias que agotan la capa de ozono* incluye las emisiones de los gases fluorinados HFC y, en una medida muy limitada, los PFC (sin registro de uso o importación a Guatemala a la fecha) 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), lo cual supone que todas las aplicaciones diferentes a estas se reportarán bajo esta subcategoría.

En 2022 se generaron 527.2 kt CO₂ eq, representando el 18.5 % del sector IPPU. El 100 % de las emisiones es asignado a la subcategoría *refrigeración y aire acondicionado*, como se ha indicado. Aunque esta categoría ha incrementado de forma importante su participación porcentual desde 2005 en el que representó 0.3 % del total del hasta alcanzar el 18.5 % de emisiones del sector en 2022 (

Tabla **4.32** y
Figura **4.7**).

Es importante mencionar que este porcentaje es mucho menor al estimado previamente, debido a que una revisión encabezada por el MARN y apoyada por el área técnica del Protocolo de Montreal, revisó a la baja las importaciones de HFC a Guatemala, así como las clases de HFC importadas, resultando en un importante ajuste a la baja de las emisiones registradas en toda la serie, desde su consideración con inicio en 2005.

Tabla 4.32.

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

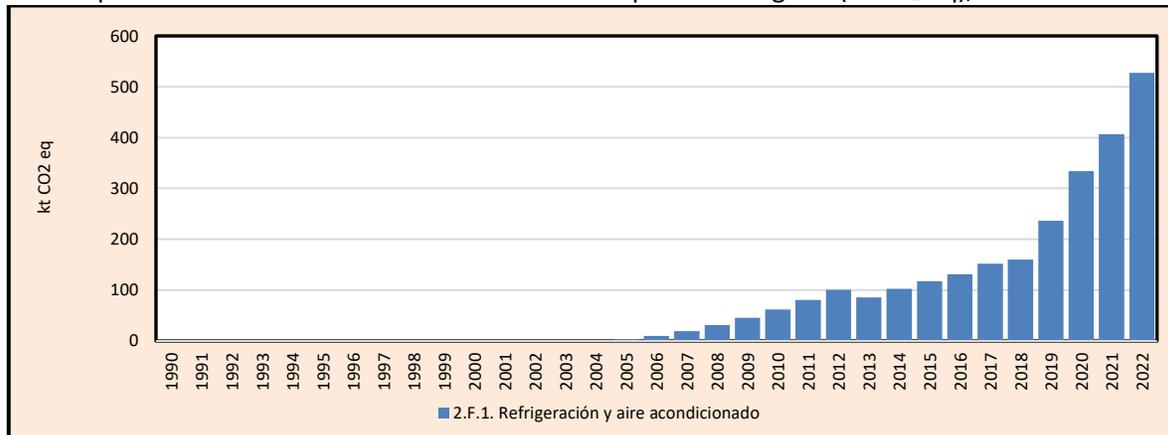
Subcategoría	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022
2.F.1. Refrigeración y aire acondicionado	NO	NO	NO	3.4	61.9	117.8	334.2	406.8	527.2

Nota: NO = No ocurre

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 de GEI por subcategoría (kt CO₂ eq), 1990-2022



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 (CRT 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 4.32 y
Figura 4.7).

4.7.3.2. Aspectos metodológicos de la subcategoría

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.

Así mismo, de acuerdo con las modalidades de reporte, se ha hecho la desagregación de datos considerando los compuestos que integran las mezclas de refrigerantes importados, por lo que lo que se reporta como compuestos puede o no estar operando independientemente en los equipos a los que se integre. El consumo anual de cada compuesto 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 depósitos de refrigerante 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.

Estos depósitos o 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 del compuesto, 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.

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*.

4.7.3.2.1. Datos de actividad de la subcategoría

A diferencia de inventarios anteriores, se utilizó la serie de datos 2012-2022 resultante del análisis de MARN con apoyo del área técnica del Protocolo de Montreal, lo que resulta en diferencias considerables de consideración de compuestos y valores utilizados anteriormente.

En cuanto a los datos previos a 2012, se utilizaron los datos arrojados por el modelo del IPCC, considerando que se introdujeron todos los refrigerantes a reporte a partir de 2005, por lo que dicha serie ha sido totalmente modificada respecto de los inventarios anteriores. Lo anterior, con base en que en inventarios anteriores sólo se contaba con una base de datos que incluía el mismo período inicial de reporte (2012).

Así, para cada compuesto de los cuatro encontrados como importados individualmente o en forma de mezclas (HFC-32, HFC-125, HFC-134a y HFC-143a) se estimaron las cantidades hacia atrás en la serie de tiempo utilizando el modelo utilizado, aplicando para su estimación las siguientes consideraciones de composición de la mezcla. En la Tabla 4.33 se presentan los compuestos que contienen HFC importados en los últimos 5 años.

Tabla 4.33.

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

Año	HFC-410A	HFC-417A	HFC-407C	HFC-407F	HFC-404A	HFC-438A	HFC-437a	HFC-507A	HFC-422D	HFC-152a
2012	17		25.84		19			16.8		
2013										
2014	15		22		17			16		
2015	7.4		7.41		7.97			11.61		
2016	8.04		6.43		8.15			8.58		
2017	11.86		17.15		12.86			12.8		
2018	10.36		11.82		9.99			10.7		
2019	59.14	2.02	6.61	10.9	121.61	7.88	0.5	17.56	5.76	10.45
2020	63.26	1.98	4.21	9.27	66.65	2.69	0.57	25.75	4.07	13.08
2021	50.41	0.45	3.18	8.77	64.37	3.63	1.78	18.32	1.58	68.15
2022	143.8	6.33	9.35	6.39		3.06	0.62	31.13	1.58	49.05

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 4.34.

Tabla 4.34.

Uso de productos sustitutos de las SAO: composiciones empleadas para desagregación de compuestos refrigerantes a partir de datos de importación de mezclas.

Mezcla refrigerante	Compuesto A	% en masa	Compuesto B	% en masa	Compuesto C	% en masa	Compuesto D	% en masa	Compuesto E	% en masa
HFC-410A	HFC-32	50.0	HFC-125	50.0						
HFC-417A	HFC-125	46.60	HFC-134a	50.00	R-600	3.40				
HFC-407C	HFC-32	23.00	HFC-125	25.00	HFC-134a	52.00				
HFC-422A	HFC-125	85.10	HFC-134a	11.50	R-600a	3.40				
HFC-407F	HFC-32	30.00	HFC-125	30.00	HFC-134a	40.00				
HFC-404A	HFC-32	44.00	HFC-134a	4.00	HFC-143a	52.00				
HFC-438A	HFC-32	8.50	HFC-125	45.00	HFC-134a	44.20	R-600a	1.70	R-601a	0.60
HFC-437A	HFC-125	19.50	HFC-134a	78.50	R-600	1.40	R-601a	0.60		
HFC-507A	HFC-125	50.00	HFC-143a	50.00						

HFC-422D	HFC-125	65.10	HFC-134a	31.50	R-600	3.40				
R-448A	HFC-32	26.00	HFC-125	26.00	HFC-134a	21.00	HFO-1234yf	20.00	HFO-1234ze(E)	7.00
R-449A	HFC-32	24.30	HFC-125	24.70	HFC-134a	25.70	HFO-1234yf	25.30		
R-452A	HFO-1234yf	30.00	HFC-32	11.00	HFC-125	59.00				

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con información de US EPA, California Air Resources Board y proveedores de mezclas de gases refrigerantes.

Como resultado de la aplicación de las anteriores composiciones, y considerando únicamente a los gases relevantes para análisis de acuerdo con IPCC 2006, se tienen los datos de actividad por compuesto presentados en la Tabla 4.35.

Tabla 4.35.

Uso de productos sustitutos de las SAO: importaciones de HFC (t), 2005-2022

Año	HFC-32 (t)	HFC-125 (t)	HFC-134a (t)	HFC-143a (t)
1990				
1991				
1992				
1993				
1994				
1995				
1996				
1997				
1998				
1999				
2000				
2001				
2002				
2003				
2004				
2005	0.24	0.55	1.38	1.17
2006	0.71	1.58	4.01	3.39
2007	1.37	3.06	7.77	6.56
2008	2.21	4.95	12.57	10.61
2009	3.22	7.22	18.32	15.46
2010	4.39	9.84	24.97	21.07
2011	5.71	12.79	32.46	27.39
2012	7.17	16.06	40.75	34.39
2013	6.09	13.65	34.64	29.23
2014	7.22	16.16	41.57	34.83
2015	8.21	17.06	49.16	40.64
2016	9.13	18.93	54.93	45.16
2017	10.63	22.07	63.46	52.49
2018	11.19	23.40	66.66	55.36
2019	19.27	24.87	112.89	75.29
2020	23.65	72.71	133.76	92.35
2021	26.69	112.20	148.12	101.71
2022	35.15	156.49	174.37	136.05

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 4.36.).

Dado que lo anterior se introduce como entrada para que el modelo del IPCC realice los cálculos de la serie temporal de emisiones aparentes bajo tales criterios, en este caso no aplica un factor de emisión como tal, sino que el resultado de dicha modelación incluye la consideración de dichos factores.

Así, para todos los compuestos indicados en la Tabla 4-20, se emplean los mismos parámetros de modelado, considerando la introducción de tales compuestos a partir de 2005.

4.7.3.3. Descripción de cualquier flexibilidad aplicada en la categoría

No se aplica flexibilidad en esta categoría.

4.7.3.4. 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 4.36. Se puede apreciar que la incertidumbre combinada está mayormente asociada al uso de factores de emisión por defecto de HFC.

Tabla 4.36.

Refrigeración y aire acondicionado: 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>
Refrigeración y aire acondicionado	CO ₂	10.0%	68.5%	69.2%

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 y opinión experta de ejercicios con base a revisiones de parte del Protocolo de Montreal*.

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.

4.7.3.5. 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.

4.7.3.6. Nuevos cálculos de la subcategoría

En el caso de esta categoría, se registran cambios significativos debido a los resultados del análisis realizado por MARN con la colaboración del área técnica del Protocolo de Montreal, así como a los cambios de valores para PCA de AR4 a los del AR5. Los resultados de dicho recálculo se resumen en la Tabla 4.37.

Tabla 4.37

Categoría refrigeración y aire acondicionado: comparación entre el inventario previo y el inventario actual (kt CO₂ eq)

INGEI	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2018	2020	2021	2022
INGEI previo				2.8	69.4	307.2	713.6			
INGEI actual				3.4	61.9	117.8	156.6	334.2	406.8	527.2
Diferencia				0.5	-9.1	-192.1	-557			
Diferencia %				18%	-13%	-63%	-78%			

Nota: El efecto en total se refiere al inventario total de emisiones INGEI 2022.

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, según revisión técnica de datos de actividad de protocolo de Montreal y Directrices del IPCC 2006.

4.7.3.7. Plan de mejora de la subcategoría

Para esta subcategoría se contemplan las siguientes mejoras:

- Realizar una labor de comunicación para identificar las bases sobre las cuales se revisaron a la baja los GEI y justificarlo al obtener datos de mayor calidad con incertidumbre reducida.
- Proseguir con verificaciones cruzadas con datos nacionales para identificar cualquier otra fuente de distorsión a los valores, por ejemplo, el reporte de gases que, de acuerdo con el análisis realizado, no existen o se han importado legalmente a Guatemala.

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 (CRT 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 (CRT 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 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 (CRT 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 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 (CRT 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 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 (CRT 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 (CRT 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 (CRT 2.H)

Esta categoría no ocurre en el país.

CAPÍTULO 5: SECTOR AGRICULTURA (CRT 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 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* debido a la falta de desagregación de la información disponible, lo que dificulta la estimación de emisiones.

5.1.2. Tendencia de los GEI del sector

En 2022, las emisiones de GEI del sector Agricultura fueron 32.4 kt CO₂, 189.8 kt CH₄ y 4.7 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 2022.

Código	Categorías de fuente de GEI	CO ₂ (kt)	CH ₄ (kt)	N ₂ O (kt)	NO _x (kt)	CO (kt)	Total de GEI (kt CO ₂ eq)
3.	Agricultura	32.4	189.8	6.6	12.3	302.1	6,578.4
3.A.	Fermentación entérica		173.9				4,870.3
3.A.1.	Vacunos		166.1				4,651.6
3.A.1.a.	Vacas lecheras		11.0				306.8
3.A.1.b.	Otros vacunos		155.2				4,344.8
3.A.2.	Ovinos		2.4				67.7
3.A.3.	Porcinos		1.5				41.5
3.A.4.	Otro ganado		3.9				109.4
3.A.4.a.	Búfalos		0.1				3.7
3.A.4.b.	Camélidos		NE				-
3.A.4.c.	Ciervos		NE				-
3.A.4.d.	Caprinos		0.5				12.9
3.A.4.e.	Equinos		2.8				78.7
3.A.4.f.	Mulas y asnos		0.5				14.1
3.A.4.g.	Aves de corral		NA				-
3.A.4.h.	Otras especies		NO				-
3.B.	Gestión del estiércol		6.2	0.9			413.1
3.B.1.	Vacunos		2.9	0.3			157.9
3.B.1.a.	Vacas lecheras		0.1	0.1			28.9
3.B.1.b.	Otros vacunos		2.8	0.2			129.0
3.B.2.	Ovinos		0.1	0.0			3.7
3.B.3.	Porcinos		1.5	0.2			97.1
3.B.4.	Otro ganado		1.7	0.1			79.2
3.B.4.a.	Búfalos		0.0	0.0			0.1
3.B.4.b.	Camélidos		NE	NE			-
3.B.4.c.	Ciervos		NE	NE			-
3.B.4.d.	Caprinos		0.0	0.0			0.7
3.B.4.e.	Equinos		0.3	0.0			13.1
3.B.4.f.	Mulas y asnos		0.0	0.0			2.3
3.B.4.g.	Aves de corral		1.4	0.1			63.0
3.B.4.h.	Otras especies		NO	NO			-
3.B.5.	Emisiones indirectas de N ₂ O			0.3			75.0
3.C.	Cultivo del arroz		0.8				23.4
3.C.1.	Irrigadas		0.1				2.1
3.C.2.	Alimentadas a lluvia		0.8				21.4
3.C.3.	Aguas profundas		NO				-
3.C.4.	Otros (especificar)		NO				-
3.D.	Suelos agrícolas			3.2			855.4
3.D.1.	Emisiones directas de N ₂ O de suelos agrícolas			2.1			567.2
3.D.1.a.	Fertilizantes inorgánicos			0.3			81.0
3.D.1.b.	Fertilizantes orgánicos			0.4			119.2
3.D.1.b.i.	Estiércol animal aplicado a los suelos			0.4			106.7
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			12.5
3.D.1.c.	Orina y estiércol depositado por animales de pastoreo			0.4			111.0
3.D.1.d.	Residuos de cosechas			1.0			256.0
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			1.1			288.2
3.D.2.a.	Deposición atmosférica			0.4			93.3
3.D.2.b.	Lixiviación y escurrimiento			0.7			195.0
3.E.	Quema prescrita de sabanas		4.4	0.4	7.4	123.9	228.9
3.F.	Quema de residuos agrícola en el campo		4.4	0.1	4.1	151.4	154.9
3.F.1.	Cereales		1.0	0.0	0.9	34.8	35.6
3.F.2.	Legumbres		0.1	0.0	0.1	3.5	4.5

Código	Categorías de fuente de GEI	CO₂ (kt)	CH₄ (kt)	N₂O (kt)	NO_x (kt)	CO (kt)	Total de GEI (kt CO₂ eq)
3.F.3.	Tubérculos y raíces	NE	NE	NE	NE	NE	-
3.F.4.	Caña de azúcar		3.3	0.1	3.0	111.3	113.9
3.F.5.	Otros (especificar)		0.1	0.0	0.1	3.2	1.0
3.G.	Encalado	NE					-
3.G.1.	Caliza	NE					-
3.G.2.	Dolomita	NE					-
3.H.	Aplicación de urea	32.4					32.4
3.I.	Otros fertilizantes que contienen carbono	NO					-
3.J.	Otros (especificar)	NO	NO	NO	NO	NO	-

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

Nota 2: 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 10.2 % del balance nacional en 2022 o el 19.8 % de las emisiones totales (excluyendo UTCUTS). En el mismo año, sus emisiones alcanzaron 6,578.4 kt CO₂ eq, incrementándose en 38.7 % desde 1990 y disminuyeron en un 4.3 % con respecto al 2018 (Tabla 5.2 y Figura 5.1), debido principalmente a la reducción del uso de fertilizantes sintéticos a partir de 2020 por el alza en el costo debido a la pandemia del COVID19. 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, así como un decrecimiento a partir del año 2020 debido a la reducción en el uso de fertilizantes inorgánicos. Este decrecimiento en el uso de fertilizantes se debe al incremento del costo de estos principalmente por la pandemia del COVID19.

Con respecto a las categorías mayormente emisoras, un 74.0 % corresponde a la *fermentación entérica*, un 13.0 % a *suelos agrícolas*, un 6.3 % a *gestión del estiércol* y en menor proporción las demás categorías, las cuales en conjunto alcanzan solo el 6.7 %. 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.

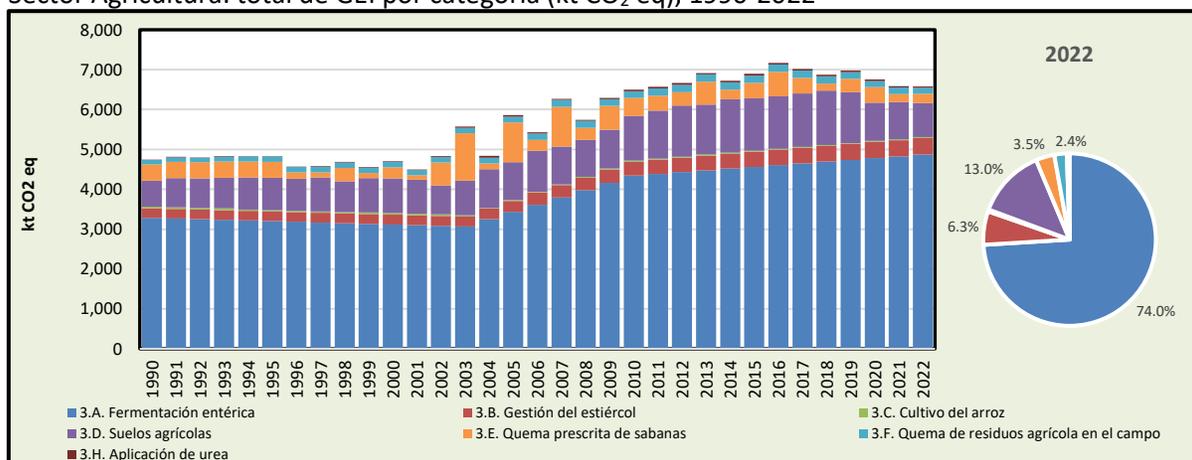
Sector Agricultura: total de GEI por categoría (kt CO₂ eq)

Categoría	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022
3.A. Fermentación entérica	3,283.4	3,200.6	3,117.9	3,432.1	4,341.6	4,561.9	4,782.2	4,826.3	4,870.3
3.B. Gestión del estiércol	240.8	242.1	243.5	277.2	349.9	377.2	408.4	406.8	413.1
3.C. Cultivo del arroz	36.8	28.4	37.8	23.6	27.1	24.8	22.2	22.8	23.4
3.D. Suelos agrícolas	657.9	813.6	873.0	945.5	1,121.4	1,316.9	961.3	929.2	855.4
3.E. Quema prescrita de sabanas	404.0	404.0	280.4	995.5	450.4	385.1	387.3	203.8	228.9
3.F. Quema de residuos agrícola...	110.0	134.1	134.8	149.4	170.6	186.2	155.7	162.7	154.9
3.H. Aplicación de urea	10.4	9.3	18.6	33.6	38.2	45.4	39.4	38.4	32.4
Total	4,743.3	4,832.2	4,706.0	5,856.7	6,499.1	6,897.4	6,756.5	6,590.0	6,578.4

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), 1990-2022



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

En cuanto a las emisiones según el tipo de GEI, predominan las de CH₄, originadas principalmente por la ganadería, las cuales constituyen el 80.8 %. Les siguen las emisiones de N₂O con un 18.7 %,

mientras que las de CO₂ representan una incidencia mucho menor con 0.5 %. (Tabla 5.3 y Figura 5.2).

Tabla 5.3.

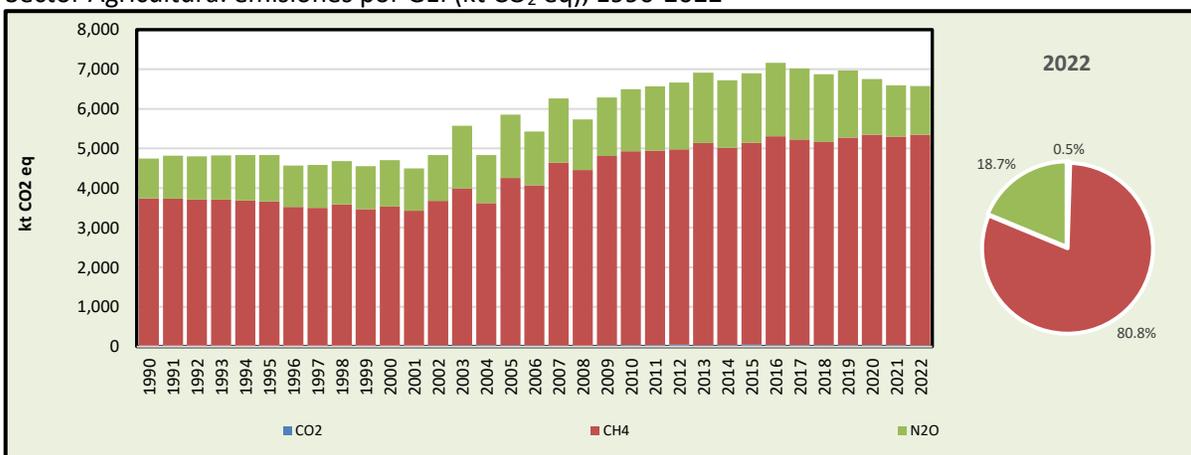
Sector Agricultura: emisiones por GEI (kt CO₂ eq)

GEI	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022
CO ₂	10.4	9.3	18.6	33.6	38.2	45.4	39.4	38.4	32.4
CH ₄	3,728.2	3,656.6	3,517.7	4,226.6	4,894.2	5,100.8	5,308.0	5,259.2	5,313.7
N ₂ O	1,004.7	1,166.3	1,169.7	1,596.6	1,566.8	1,751.2	1,409.1	1,292.4	1,232.4
Total	4,743.3	4,832.2	4,706.0	5,856.7	6,499.1	6,897.4	6,756.5	6,590.0	6,578.4

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), 1990-2022



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

Con relación a las emisiones estimadas de los gases precursores, estos se deben a la quema en campo, tanto de la quema prescrita de sabanas, como de la quema de residuos agrícolas; de estas actividades, las emisiones de CO predominaron con un 96.0%, siendo el 4.0% restante correspondientes a NO_x (Tabla 5.4 y

Figura 5.3).

Tabla 5.4

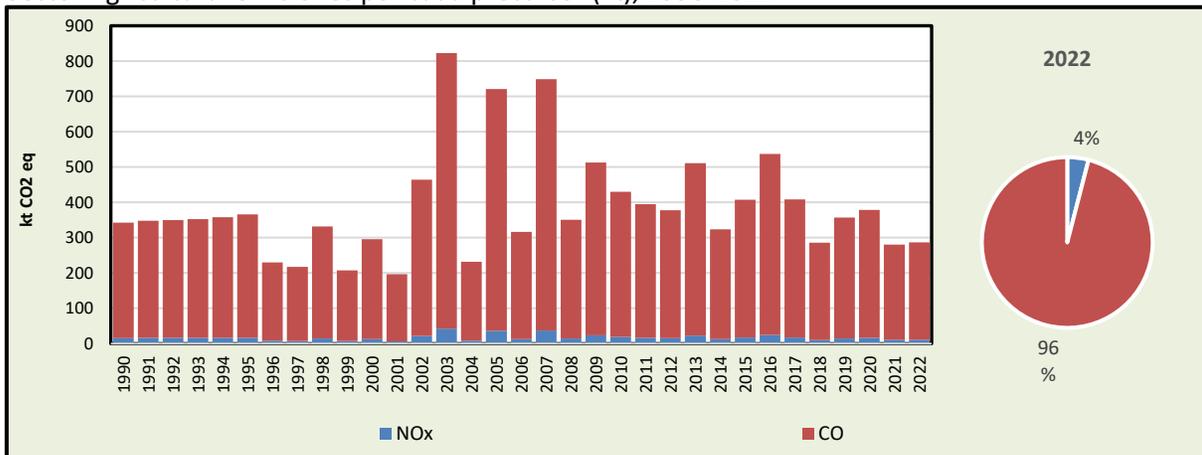
Sector Agricultura: emisiones por cada precursor (kt)

<i>Precursores</i>	<i>1990</i>	<i>1995</i>	<i>2000</i>	<i>2005</i>	<i>2010</i>	<i>2015</i>	<i>2020</i>	<i>2021</i>	<i>2022</i>
NO _x	16.0	16.7	12.7	36.3	19.2	17.5	16.7	10.9	11.5
CO	326.3	349.8	283.5	684.9	410.6	390.4	361.9	269.3	275.3

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

Figura 5.3

Sector Agricultura: emisiones por cada precursor (kt), 1990-2022



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.

Los datos de actividad provienen principalmente de estadísticas nacionales, destacando los censos agropecuarios realizados por el INE y las bases estadísticas del MAGA. Asimismo, se utilizó información proporcionada por asociaciones nacionales de productores de arroz y café. En aquellos casos donde no se disponía de fuentes nacionales, se recurrió a datos de FAOSTAT. Una descripción detallada de las fuentes y datos de actividad empleados se presenta 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 (CRT 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 2022 suman 4,870.3 kt CO₂ eq, que representa el 67.9 % de las emisiones totales de GEI del sector Agricultura. El principal impulsor es la dinámica de la población ganadera del país, vinculada a la demanda de productos cárnicos y otros derivados de la producción pecuaria. Dentro de la categoría, los vacunos generaron el 95.5 % de las emisiones en 2022 (6.3 % de vacas lecheras y 89.2 % de otros vacunos). Les siguen los equinos con un 1.6 %, los ovinos con un 1.4 %, los porcinos con un 0.9 %, mientras que el 0.6 % restante corresponde a otras categorías de ganado. Las emisiones de esta categoría aumentaron un 48.3 % desde 1990 y un 41.9 % desde 2005, debido principalmente al crecimiento de la población ganadera en el país. (Tabla 5.5 y Figura 5.4).

Tabla 5.5.

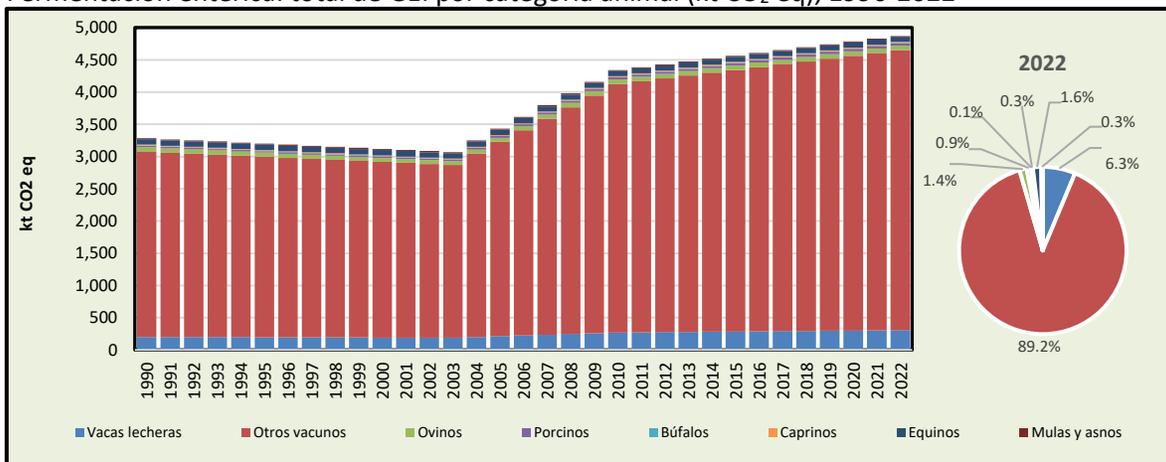
Fermentación entérica: total de GEI por categoría animal (kt CO₂ eq)

Categoría animal	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022
3.A.1.a. Vacas lecheras	202.8	197.6	192.5	212.9	271.9	286.4	301.0	303.9	306.8
3.A.1.b. Otros vacunos	2,871.1	2,798.2	2,725.3	3,015.3	3,849.7	4,056.0	4,262.3	4,303.5	4,344.8
3.A.2. Ovinos	71.5	65.6	59.8	60.6	71.5	69.9	68.4	68.1	67.7
3.A.3. Porcinos	21.6	22.6	23.6	27.6	36.1	38.4	40.6	41.1	41.5
3.A.4.a. Búfalos	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7
3.A.4.d. Caprinos	13.3	12.7	12.1	12.1	12.7	12.8	12.9	12.9	12.9
3.A.4.e. Equinos	83.2	83.7	84.2	83.5	80.8	80.0	79.1	78.9	78.7
3.A.4.f. Mulass y asnos	16.1	16.4	16.7	16.4	15.1	14.7	14.3	14.2	14.1
Total	3,283.4	3,200.6	3,117.9	3,432.1	4,341.6	4,561.9	4,782.2	4,826.3	4,870.3

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

Figura 5.4.

Fermentación entérica: total de GEI por categoría animal (kt CO₂ eq), 1990-2022



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, 2016 y 2018 (MARN-SGCCC-PNUD, 2023a). 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 1990-2022; 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 1990-2022 (Tabla 5.6).

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 2004-2022 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) y se extrapolaron los datos para 2021 y 2022, considerando que no se ha generado la información más reciente de estas encuestas; 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 y estimando los datos faltantes con extrapolación lineal. Para el llenado de vacíos del periodo 2009-2022 de *pavos y patos* se realizó una extrapolación lineal de la tendencia 2003-2008.

Tabla 5.6.

Fermentación entérica: población promedio anual por categoría animal (cabezas), 1990-2022

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

Año	Vacunos		Ovinos	Porcinos	Otro ganado				
	Vacas lecheras	Otros vacunos			Búfalos	Caprinos	Equinos	Mulas y asnos	Aves de corral
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
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
2019	103,360	2,691,983	490,555	1,434,712	1,948	91,743	157,205	51,372	69,262,309
2020	104,371	2,718,292	488,322	1,450,922	1,948	91,843	156,849	51,093	71,714,080
2021	105,381	2,744,602	486,088	1,467,132	1,948	91,944	156,492	50,813	68,383,485
2022	106,391	2,770,912	483,855	1,483,342	1,948	92,045	156,135	50,534	70,835,256

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 1990-2022, la población de *vacunos*, *porcinos* y *aves de corral* aumentó, mientras que la población de *ovinos*, *equinos*, y *mulas y asnos* disminuyó, así como los *caprinos*, aunque estos muestran una tendencia de incremento en la serie. *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 5.7). 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 5.7.

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

Categoría animal	Valor por defecto
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. Descripción de cualquier flexibilidad aplicada en la categoría

No se aplicó flexibilidad en esta categoría.

5.2.4. 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 5.8. 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 5.8.

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 2004-2022 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 1990-2022.

5.2.5. Actividades de GCCV de la categoría

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

- 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.

5.2.6. Nuevos cálculos de la categoría

En el inventario actual se aplicó el Potencial de Calentamiento Atmosférico del AR5 del IPCC, comparado con el inventario del 1IBA que se utilizaron los del AR4 en línea con los requerimientos de las modalidades, procedimientos y directrices. Estos cambios generaron una diferencia significativa entre la serie a 2018 y la serie a 2022. (Tabla 5.9.)

Tabla 5.9.

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

INGEI	1990	2005	2018
INGEI – 1IBA	2,931.6	3,064.3	4,191.1
INGEI – 1BTR	3,283.4	3,432.1	4,694.1
Diferencia	351.80	367.80	503.00
Diferencia porcentual	10.71%	10.72%	10.72%

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en la 1IBA de Guatemala.

5.2.7. 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, contemplando la información enfocada en inventarios necesaria para mejorar los datos de actividad.
- Desarrollar una caracterización mejorada a través de fincas piloto para definir un factor de conversión y caracterización por productividad región específico y aplicar el método de Nivel 2 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 (CRT 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 2022 suman 413.1 kt CO₂ eq, que representa el 5.8 % 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 38.2 % de las emisiones de esta categoría en 2018 (*vacas lecheras* un 7.0 % y *otros vacunos* un 31.2 %). Le siguen

los *porcinos* con 23.5 %, y *aves de corral* con 15.2 %. Las demás subcategorías de ganado suman en conjunto el 4.8 %, y el restante 18.2 % corresponde a las *emisiones indirectas de N₂O* en los distintos SGE. Las emisiones de esta categoría aumentaron un 71.6 % desde 1990, y un 49.0 % desde 2005, derivado principalmente del crecimiento proyectado de la población de ganado en el país (Tabla 5.10 y Figura 5.5).

Tabla 5.10.

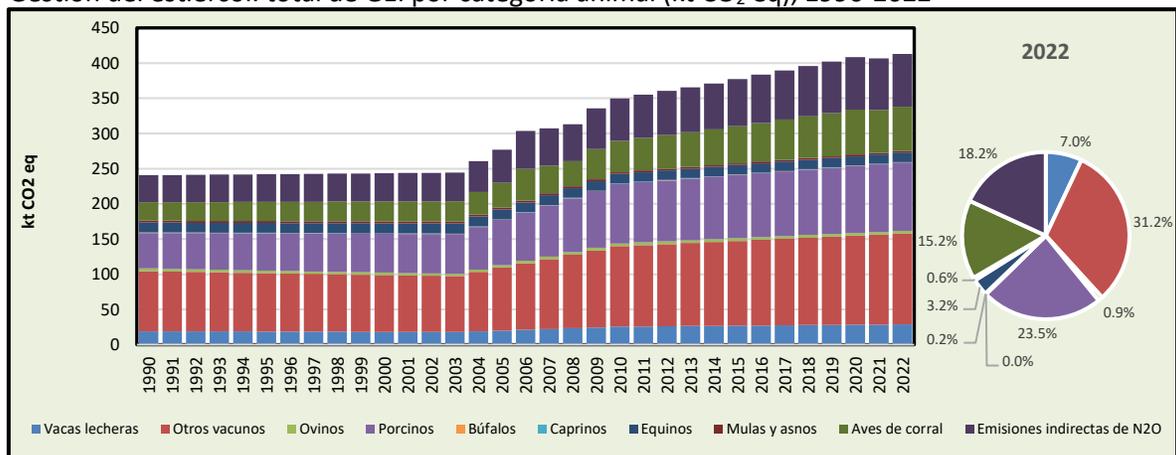
Gestión del estiércol: total de GEI por categoría animal (kt CO₂ eq)

Categoría animal	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022
3.B.1.a. Vacas lecheras	19.1	18.6	18.1	20.1	25.6	27.0	28.4	28.7	28.9
3.B.1.b. Otros vacunos	85.3	83.1	80.9	89.5	114.3	120.4	126.6	127.8	129.0
3.B.2. Ovinos	3.9	3.6	3.3	3.3	3.9	3.8	3.7	3.7	3.7
3.B.3. Porcinos	50.5	52.8	55.1	64.5	84.4	89.7	95.0	96.1	97.1
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	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
3.B.4.e. Equinos	13.9	14.0	14.1	13.9	13.5	13.4	13.2	13.2	13.1
3.B.4.f. Mulas y asnos	2.7	2.7	2.7	2.7	2.5	2.4	2.4	2.3	2.3
3.B.4.g. Aves de corral	26.2	27.2	28.3	35.1	44.5	52.8	63.7	60.8	63.0
3.B.5. Emisiones indirectas de N ₂ O	38.4	39.3	40.2	47.2	60.4	66.8	74.6	73.5	75.0
Total	240.8	242.1	243.5	277.2	349.9	377.2	408.4	406.8	413.1

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

Figura 5.5.

Gestión del estiércol: total de GEI por categoría animal (kt CO₂ eq), 1990-2022



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 5.11.).

Tabla 5.11.

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 5.12), 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 5.12.

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 5.13). 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 5.14).

Tabla 5.13.

Gestión del estiércol: factores de emisión utilizados (kg CH₄/cabeza/año)

<i>Categoría animal</i>	<i>Valor por defecto</i>
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 5.14.

Gestión del estiércol: factores de emisión utilizados (kg N₂O-N/kg N excretado)

<i>Sistema de gestión del estiércol</i>	<i>Valor por defecto</i>
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 5.15. 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 5.15.

Gestión del estiércol: 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%	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 2004-2022 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 1990-2022.

5.3.4. Actividades de GCCV de la categoría

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

- 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

En el inventario actual se aplicó el Potencial de Calentamiento Atmosférico del AR5 del IPCC, comparado con el inventario del 1IBA que se utilizaron los del AR4 en línea con los requerimientos

de las modalidades, procedimientos y directrices. Estos cambios generaron una diferencia significativa entre la serie a 2018 y la serie a 2022. (Tabla 5.16).

Tabla 5.16.

Gestión del estiércol: comparación entre los totales anuales de los inventarios (kt CO₂ eq)

INGEI	1990	2005	2018
INGEI – 1IBA	246.8	284.6	406.8
INGEI – 1BTR	240.8	277.2	395.9
Diferencia	-6.0	-7.4	-10.9
Diferencia porcentual	-2.5%	-2.7%	-2.8%

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en el 1IBA 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 (CRT 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 2022 suman 23.4 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 2022, el 91.2 % de las emisiones de esta categoría se atribuyen al régimen hídrico *alimentadas a lluvia*, y el restante 8.8 % a *irrigadas*. Las emisiones de esta categoría disminuyeron en un 36.3 % desde 1990 y en un 0.7 % desde 2005, derivado de la disminución en la superficie cosechada del cultivo de arroz en el país (Tabla 5.17 y Figura 5.6).

Tabla 5.17.

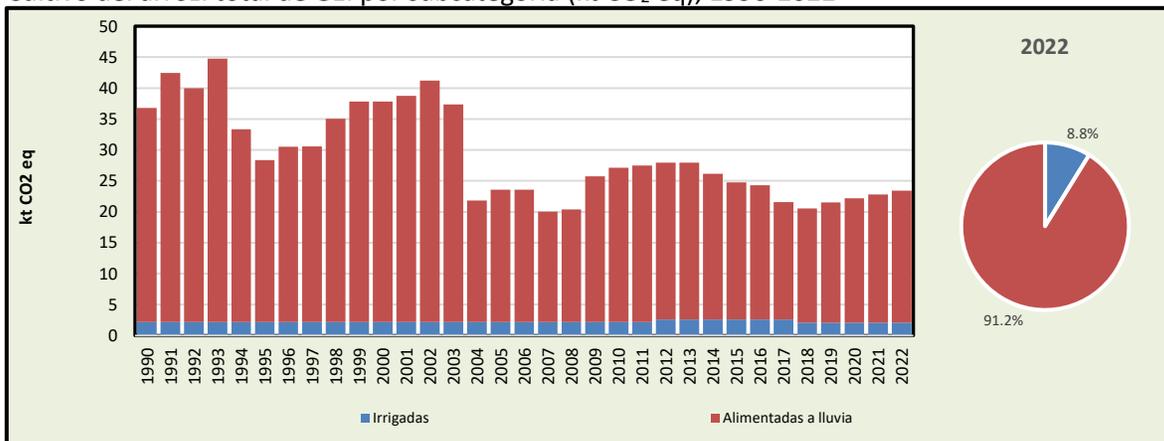
Cultivo del arroz: total de GEI por subcategoría (kt CO₂ eq)

Subcategoría	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022
3.C.1. Irrigadas	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.6	2.1	2.1	2.1
3.C.2. Alimentadas a lluvia	34.6	26.2	35.6	21.4	24.9	22.1	20.1	20.7	21.4
Total	36.8	28.4	37.8	23.6	27.1	24.8	22.2	22.8	23.4

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

Figura 5.6.

Cultivo del arroz: total de GEI por subcategoría (kt CO₂ eq), 1990-2022



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 2012-2020 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. Para completar la serie hasta 2022 se utilizó una extrapolación lineal de la información compartida por ARROZGUA (Tabla 5.18). El periodo de cultivo utilizado es de 121 días (ARROZGUA, 2021).

Tabla 5.18.

Cultivo del arroz: superficie cosechada (hectáreas), 1990-2022

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
2019	700.0	8,798.0
2020	700.0	9,083.0
2021	700.0	9,368.0
2022	700.0	9,653.0

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en FAO e INE. Periodo 2012-2020 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 $1.19 \text{ CH}_4 \text{ ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$, 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 5.19).

Tabla 5.19.

Cultivo del arroz: factores de emisión ajustados utilizados ($\text{kg CH}_4/\text{ha}/\text{día}$)

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 5.20. Se puede apreciar que la mayor incertidumbre combinada está asociada a la utilización de factores de emisión por defecto.

Tabla 5.20.

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
Irigadas	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 2012-2022, 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 factores de emisión y ajuste para todo el periodo 1990-2022.

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 2012-2020 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. Además, en el inventario actual se aplicó el Potencial de Calentamiento Atmosférico del AR5 del IPCC, comparado con el inventario del 1BA que se utilizaron los del AR4 en línea con los requerimientos de las modalidades, procedimientos y directrices. Estos cambios generaron una diferencia significativa entre la serie a 2018 y la serie a 2022. (Tabla 5.21).

Tabla 5.21.

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

INGEI	1990	2005	2018
INGEI – 1BA	32.8	21.1	18.3
INGEI – 1BTR	36.8	23.6	20.5
Diferencia	4	2.5	2.2
Diferencia porcentual	11%	11%	11%

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en el 1BA 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 (CRT 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 N_2O . 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 N_2O 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 (CRT);
- 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 2022 suman 855.4 kt CO_2 eq, que representa el 13.0 % de las emisiones totales de GEI del sector Agricultura. Las emisiones de GEI se han incrementado en un 30.0 % desde 1990 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. Las emisiones de esta categoría se han reducido en un 9.5 % desde 2005 debido a la reducción en la adquisición de fertilizantes inorgánicos por el alza en el costo, principalmente debido al COVID19. (Tabla 5.22).

Con respecto la participación de cada subcategoría, las *emisiones directas de N_2O* representan el 66.3 % de las emisiones de la categoría, el restante 33.7 % se deben a las *emisiones indirectas de N_2O* (volatilización y lixiviación) (Figura 5.7).

Tabla 5.22.

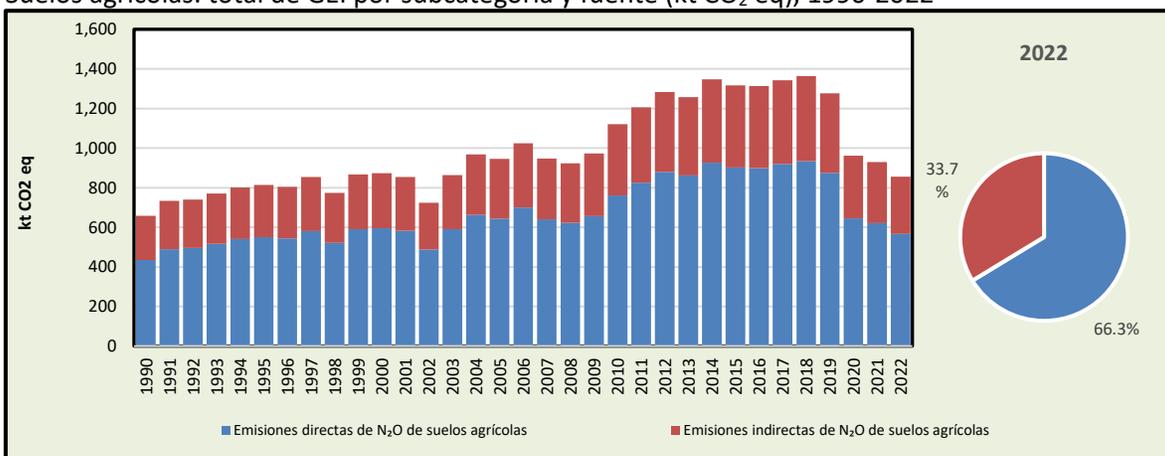
Suelos agrícolas: total de GEI por subcategoría y fuente (kt CO₂ eq)

Subcategoría y fuente	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022
3.D.1. Emisiones directas de N ₂ O	434.7	549.9	595.0	643.9	761.0	902.0	645.6	621.5	567.2
3.D.1.a. Fertilizantes inorgánicos	232.7	334.5	362.1	382.2	434.5	512.5	159.0	141.5	81.0
3.D.1.b. Fertilizantes orgánicos	58.4	59.9	63.3	72.1	90.0	107.8	118.1	117.1	119.2
3.D.1.b.i. Estiércol animal aplicado a los...	54.4	55.8	57.2	67.2	85.1	94.7	106.3	104.4	106.7
3.D.1.b.iii. Otros fertilizantes orgánicos...	3.9	4.1	6.1	4.8	4.8	13.2	11.8	12.7	12.5
3.D.1.c. Orina y estiércol depositado por...	74.0	72.5	70.9	78.2	98.1	103.5	109.2	109.8	111.0
3.D.1.d. Residuos de cosechas	69.6	83.0	98.8	111.4	138.5	178.2	259.4	253.0	256.0
3.D.2. Emisiones indirectas de N ₂ O	223.3	263.8	278.0	301.6	360.3	414.9	315.7	307.7	288.2
3.D.2.a. Deposición atmosférica	77.8	88.5	91.4	99.3	119.2	134.4	100.7	98.9	93.3
3.D.2.b. Lixiviación y escurrimiento	145.5	175.2	186.5	202.3	241.1	280.5	215.0	208.9	195.0
Total	657.9	813.6	873.0	945.5	1,121.4	1,316.9	961.3	929.2	855.4

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

Figura 5.7.

Suelos agrícolas: total de GEI por subcategoría y fuente (kt CO₂ eq), 1990-2022

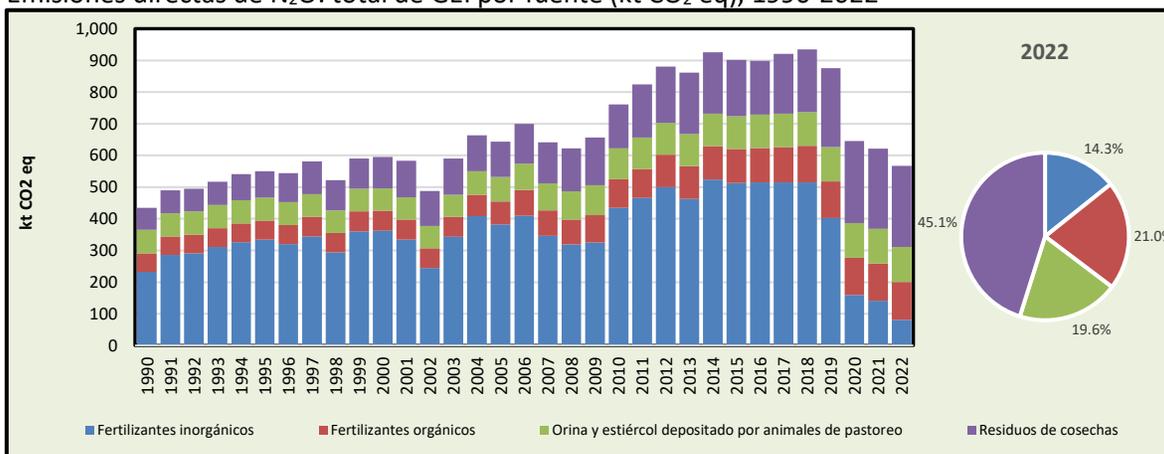


Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

En el caso de las *emisiones directas de N₂O*, las principales fuentes son de los *residuos de cosechas* (45.1 %) y *fertilizantes orgánicos* (21.0 %), seguidos de la *orina y estiércol depositado por animales de pastoreo* (19.6 %) y los *fertilizantes inorgánicos* (14.3 %) (Figura 5.8). En la gráfica se destaca la disminución de las emisiones por *fertilizantes inorgánicos* drásticamente a partir de 2020, siendo previamente la actividad de emisiones con mayor incidencia a la de menor incidencia en 2022.

Figura 5.8.

Emisiones directas de N₂O: total de GEI por fuente (kt CO₂ eq), 1990-2022

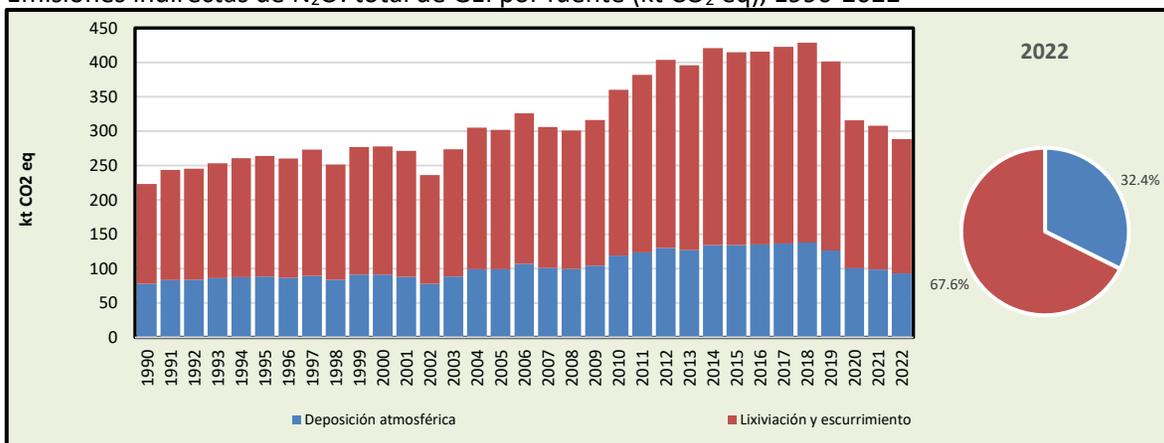


Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN.

En el caso de las *emisiones indirectas de N₂O*, estas están dominadas por la *lixiviación y escurrimiento* con un 67.6 %, el restante 32.4 % lo aportan la *deposición atmosférica* (volatilización) (Figura 5.9).

Figura 5.9.

Emisiones indirectas de N₂O: total de GEI por fuente (kt CO₂ eq), 1990-2022



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 del Departamento de Insumos Agrícolas de la Dirección de Sanidad Vegetal del Viceministerio de Sanidad Agropecuaria

y Regulaciones del MAGA, correspondientes al periodo 2005-2023; 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. La información de *fertilizantes inorgánicos* que maneja el Departamento de Insumos Agrícolas del MAGA es de importaciones de estos fertilizantes, por lo que se desconoce la cantidad de estos fertilizantes que son exportados a otros países (usualmente dentro de la región centroamericana) por empresas nacionales, por lo que las estimaciones por *fertilizantes inorgánicos* pueden estar sobreestimadas.

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 5.23, mientras que la Tabla 5.24 presenta la cantidad total de nitrógeno aplicado al suelo por cada una de las fuentes consideradas.

Tabla 5.23.

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 5.24.

Suelos agrícolas: cantidad de nitrógeno aplicado al suelo por fuente (kg N), 1990-2022

Año	Fertilizante sintético (F _{SN})	Fertilizante orgánico (F _{ON})	Orina y estiércol depositado por animales de pastoreo (F _{PRP})	Residuos de cosecha (CRT)
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
2019	151,791,020.4	4,501,690.1	103,861,849.4	93,876,392.0
2020	59,983,361.3	4,435,872.5	104,936,023.5	97,872,168.3
2021	53,410,196.8	4,787,698.2	105,505,882.2	95,479,111.0
2022	30,548,419.4	4,729,195.4	106,580,017.1	96,594,181.3

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 5.25).

Tabla 5.25.

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/escorrimento	0.011	kg N ₂ O-N (kg N lixiviación/escorrimento) ⁻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 5.26. 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 5.26.

Suelos agrícolas: valores de incertidumbre utilizados e incertidumbre combinada

Categorías de fuente de GEI	GEI	Incertidumbre de los DA	Incertidumbre del FE	Incertidumbre combinada
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 casi todas las subcategorías. Así mismo, se utilizó la misma metodología del *Refinamiento de 2019* y los mismos factores de emisión para todo el periodo 1990-2022.

5.5.4. Actividades de GCCV de la categoría

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

- 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, en el inventario actual se aplicó el Potencial de Calentamiento Atmosférico del AR5 del IPCC, comparado con el inventario del 1IBA que se utilizaron los del AR4 en línea con los requerimientos de las modalidades, procedimientos y directrices. Estos cambios generaron una diferencia significativa en la serie de 1990-2018 con respecto al 1IBA (Tabla 5.27).

Tabla 5.27.

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

<i>INGEI</i>	<i>1990</i>	<i>2005</i>	<i>2018</i>
INGEI – 1IBA	769.7	1,106.1	1,532.6
INGEI – 1BTR	657.9	945.5	1,362.9
Diferencia	-111.8	-160.6	-169.7
Diferencia porcentual	-17.0%	-17.0%	-12.5%

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en el 1IBA 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.
- Formalizar una metodología de procesamiento de datos de *fertilizantes inorgánicos* proporcionado por el Departamento de Insumos Agrícolas del MAGA, garantizando obtener datos coherentes y consistentes con cada actualización del inventario. Así mismo, definir un mejor sistema de monitoreo de ingreso de fertilizantes, teniendo mejor comunicación con las exportadoras de fertilizante para definir cuánto fertilizante sale del país y obtener estimaciones más certeras por esta fuente.

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 (CRT 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 2022 de esta categoría suman 228.9 kt CO₂ eq, representando el 3.5 % 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 43.4 % desde 1990 y en un 77.0 % desde 2005. Cabe resaltar que la superficie quemada anualmente no presenta una tendencia lineal (Tabla 5.28 y Figura 5.10).

Tabla 5.28.

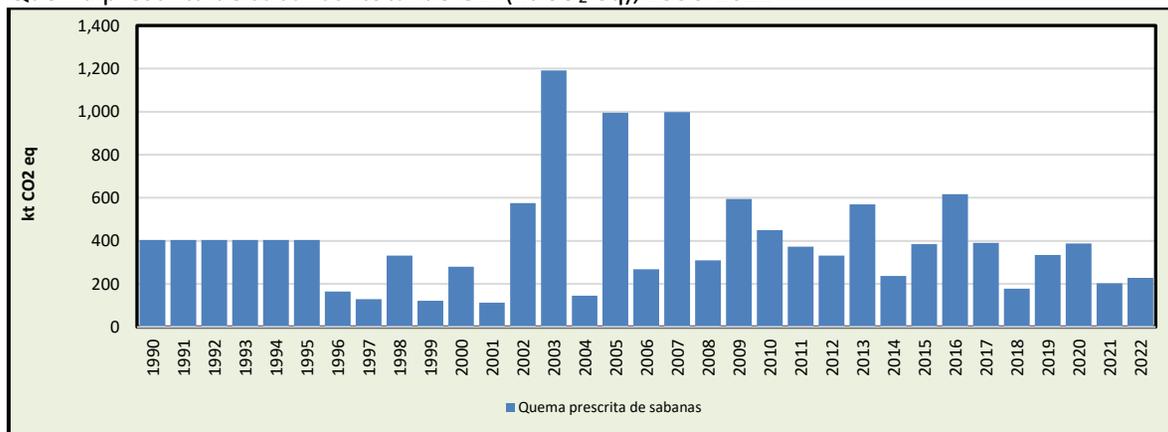
Quema prescrita de sabanas: total de GEI (kt CO₂ eq)

Subcategoría	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022
3.E. Quema prescrita de sabanas	404.0	404.0	280.4	995.5	450.4	385.1	387.3	203.8	228.9

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

Figura 5.10.

Quema prescrita de sabanas: total de GEI (kt CO₂ eq), 1990-2022



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 5.29).

Tabla 5.29.

Quema prescrita de sabanas: superficie total quemada (hectáreas), 1990-2022

Año	Hectáreas	Año	Hectáreas	Año	Hectáreas
1990	142,009.8	2001	39,638.4	2012	116,842.2
1991	142,009.8	2002	202,379.7	2013	200,208.4
1992	142,009.8	2003	418,520.4	2014	83,208.2
1993	142,009.8	2004	51,103.5	2015	135,346.6
1994	142,009.8	2005	349,872.9	2016	217,029.5
1995	142,009.8	2006	94,316.5	2017	137,250.6
1996	57,987.7	2007	350,934.6	2018	62,886.2
1997	45,396.2	2008	108,847.7	2019	117,697.1
1998	116,408.4	2009	209,224.3	2020	136,138.3
1999	42,712.8	2010	158,287.4	2021	71,634.2
2000	98,546.6	2011	131,113.6	2022	80,448.2

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 ($M_B \cdot C_j$), 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 5.30).

Tabla 5.30.

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 5.31. Se puede apreciar que la incertidumbre combinada está mayormente asociada a los datos de actividad.

Tabla 5.31.

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 ₂ O	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 1990-2022 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 1990-2022 debido a mejoras en los datos de actividad. Las diferencias se deben tanto a las mejoras en los datos de actividad como a la aplicación del Potencial de Calentamiento Atmosférico del AR5 del IPCC (Tabla 5.32).

Tabla 5.32.

Quema prescrita de sabanas: comparación entre los totales anuales de los inventarios (kt CO₂ eq)

INGEI	1990	2005	2018
INGEI – 1IBA	424.8	1,084.5	195.58
INGEI – 1BTR	404.0	995.5	178.9
Diferencia	-20.8	-89	-16.68
Diferencia porcentual	-5.15%	-8.94%	-9.32%

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en el 1IBA 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 (CRT 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 2022 suman 154.9 kt CO₂ eq, representando el 2.4 % 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 74.0 % de las emisiones de 2022, seguido de *cereales* con 23.1 % y *legumbres* con el restante 2.9 %. Las emisiones de esta categoría aumentaron en un 40.8 % desde 1990 y en un 3.7 % desde 2005, derivado del aumento en la superficie cultivada con dichos cultivos y sus prácticas de manejo (Tabla 5.33 y Figura 5.11).

Tabla 5.33.

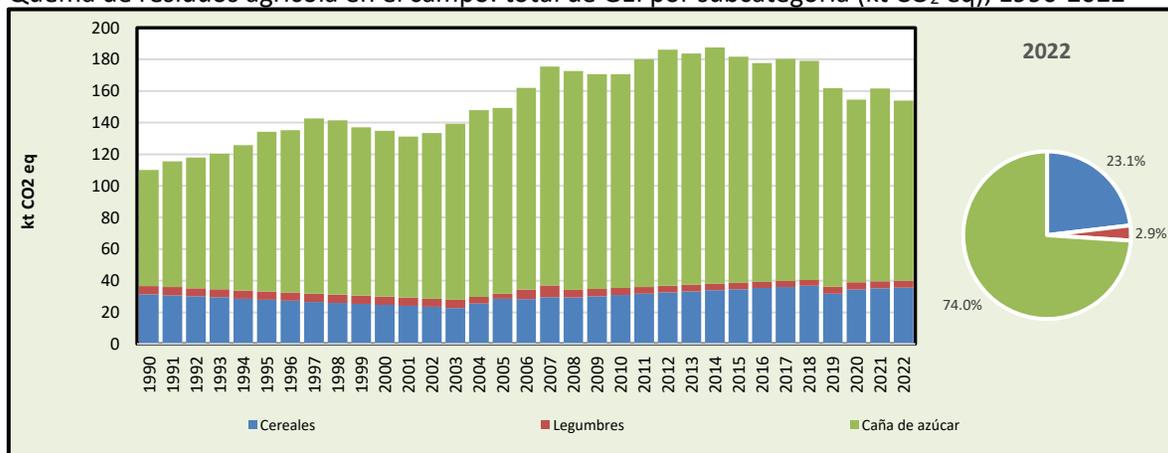
Quema de residuos agrícola en el campo: total de GEI por subcategoría (kt CO₂ eq)

Subcategoría	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022
3.F.1. Cereales	31.4	28.0	24.8	28.5	31.0	34.7	34.4	35.2	35.6
3.F.2. Legumbres	5.2	5.2	5.2	3.2	4.5	3.9	4.6	4.5	4.5
3.F.4. Caña de azúcar	73.4	101.0	104.8	117.6	135.2	143.1	115.5	121.9	113.9
3.F.5. Otros (especificar)	NE	NE	NE	NE	NE	4.5	1.1	1.1	1.0
Total	110.0	134.1	134.8	149.4	170.6	186.2	155.7	162.7	154.9

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

Figura 5.11.

Quema de residuos agrícola en el campo: total de GEI por subcategoría (kt CO₂ eq), 1990-2022



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 5.34). 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 5.34.

Quema de residuos agrícola en el campo: superficie quemada por tipo (hectáreas), 1990-2022

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
2019	2,849.4	277,530.3	54,601.5	205,387.9	24,001.4
2020	2,934.9	300,888.3	58,082.4	188,748.6	11,811.9
2021	3,020.4	307,321.7	56,342.0	199,117.2	11,987.2
2022	3,105.9	311,045.6	55,761.8	186,054.5	10,636.9

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_f) 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* (CRT). 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 5.35 y la Tabla 5.36.

Tabla 5.35.

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 5.36.

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 5.37).

Tabla 5.37.

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 5.38. Se puede apreciar que la incertidumbre combinada está mayormente asociada a los valores por defecto de los factores de emisión.

Tabla 5.38.

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

En el inventario actual se aplicó el Potencial de Calentamiento Atmosférico del AR5 del IPCC, comparado con el inventario del 1BA que se utilizaron los del AR4 en línea con los requerimientos de las modalidades, procedimientos y directrices. Estos cambios generaron una diferencia significativa en la serie de 1990-2018 con respecto al 1BA (Tabla 5.39).

Tabla 5.39.

Quema de residuos agrícolas en campo: comparación entre los totales anuales de los inventarios (kt CO₂ eq)

INGEI	1990	2005	2018
INGEI – 2IBA	91.6	124.4	171.12
INGEI – 1BTR	110.0	149.4	182.3
Diferencia	18.4	25	11.18
Diferencia porcentual	16.73%	16.73%	6.13%

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en el 1IBA 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 (CRT 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 (CRT 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 2022 suman 32.4 kt CO₂ eq, representando el 0.5 % de las emisiones de GEI del sector Agricultura (Tabla 5.40 y Figura 5.12). Su principal impulsor es la demanda de urea para la fertilización de cultivos. Las emisiones de esta categoría aumentaron en un 210.6 % desde 1990 y se redujeron en un 3.5 % desde 2005 derivado del aumento en la superficie cultivada en el país.

Tabla 5.40.

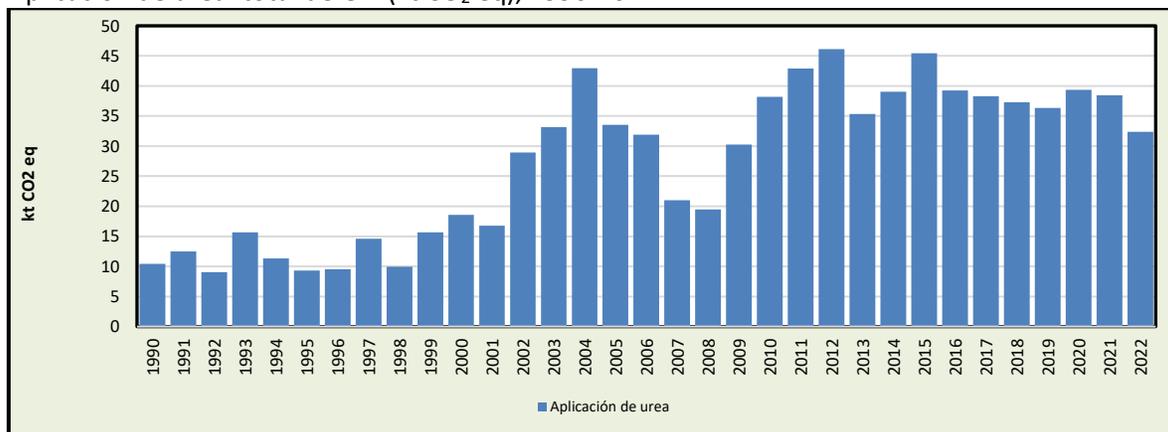
Aplicación de urea: total de GEI (kt CO₂ eq)

Categoría	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022
3.H. Aplicación de urea	10.4	9.3	18.6	33.6	38.2	45.4	39.4	38.4	32.4

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

Figura 5.12.

Aplicación de urea: total de GEI (kt CO₂ eq), 1990-2022



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 del Departamento de Insumos Agrícolas de la Dirección de Sanidad Vegetal del Viceministerio de Sanidad Agropecuaria y Regulaciones del MAGA, que reporta datos para el periodo 2005-2023 (Tabla 5.41).

Tabla 5.41.

Aplicación de urea: cantidad anual de fertilización con urea (toneladas), 1990-2022

Año	Toneladas	Año	Toneladas	Año	Toneladas
1990	52,142.7	2001	83,881.7	2012	230,511.0
1991	62,571.2	2002	144,665.4	2013	176,658.1
1992	45,341.5	2003	165,822.8	2014	195,121.2
1993	78,214.0	2004	214,863.0	2015	227,110.1
1994	56,676.8	2005	167,798.6	2016	196,312.9
1995	46,475.0	2006	159,468.0	2017	191,429.5

Año	Toneladas	Año	Toneladas	Año	Toneladas
1996	47,608.5	2007	105,030.7	2018	186,546.1
1997	73,055.3	2008	97,345.4	2019	181,788.6
1998	49,875.6	2009	151,322.3	2020	196,854.2
1999	78,214.0	2010	190,880.2	2021	192,230.7
2000	92,950.0	2011	214,592.7	2022	161,934.9

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 5.42. Se puede apreciar que la incertidumbre combinada está mayormente asociada a los valores por defecto de los factores de emisión.

Tabla 5.42.

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 1990-2022 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, específicamente del 1990 a 2003.

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

No se realizaron nuevos cálculos para esta categoría entre el inventario del 1IBA de Guatemala y este inventario, considerando que de los principales cambios es en el uso de los PCAs del AR5 del IPCC, y para esta categoría se estiman emisiones de CO₂ directamente.

5.9.6. Plan de mejora de la categoría

Para mejorar la información de esta categoría, similar a la de *fertilizantes inorgánicos*, es sistematizar la información disponible para identificar las cantidades de urea que salen del país por

exportadoras. Esta mejora planificada dependerá en gran medida de las prioridades y el apoyo nacional e internacional que reciba el país.

5.10. Otros fertilizantes que contienen carbono (CRT 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 (CRT 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 2022, el balance de GEI del sector UTCUTS fue 30,898.0 kt CO₂, 16.1 kt CH₄ y 0.5 kt N₂O (Tabla 6.1). En general, destaca la categoría *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 2022

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	30,898.0	16.1	0.5
4.A.	Tierras forestales	16,943.0	16.1	0.5
4.A.1.	Tierras forestales que permanecen como tales	28,940.9	16.1	0.5
4.A.2.	Tierras convertidas en tierras forestales	-11,997.9	NO	NO
4.A.2.a.	Tierras de cultivo convertidas en tierras forestales	-1,290.3	NO	NO
4.A.2.b.	Pastizales convertidos en tierras forestales	-10,707.6	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	3,075.4	NO, IE	NO, IE
4.B.1.	Tierras de cultivo que permanecen como tales	66.5	IE	IE
4.B.2.	Tierras convertidas en tierras de cultivo	3,009.0	NO	NO
4.B.2.a.	Tierras forestales convertidas en tierras de cultivo	3,259.4	NO	NO
4.B.2.b.	Pastizales convertidos en tierras de cultivo	-242.3	NO	NO
4.B.2.c.	Humedales convertidos en tierras de cultivo	-1.5	NO	NO
4.B.2.d.	Asentamientos convertidos en tierras de cultivo	-2.6	NO	NO
4.B.2.e.	Otras tierras convertidas en tierras de cultivo	-4.1	NO	NO
4.C.	Pastizales	10,274.6	NO, IE	NO, IE
4.C.1.	Pastizales que permanecen como tales	NE	IE	IE
4.C.2.	Tierras convertidas en pastizales	10,274.6	NO	NO
4.C.2.a.	Tierras forestales convertidas en pastizales	10,291.3	NO	NO
4.C.2.b.	Tierras de cultivo convertidas en pastizales	24.2	NO	NO
4.C.2.c.	Humedales convertidos en pastizales	-15.9	NO	NO
4.C.2.d.	Asentamientos convertidos en pastizales	-2.3	NO	NO
4.C.2.e.	Otras tierras convertidas en pastizales	-22.7	NO	NO

Código	Categorías de fuente y sumidero de GEI	CO ₂ (kt)	CH ₄ (kt)	N ₂ O (kt)
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 48.6 % del balance nacional en 2022. En el mismo año, las emisiones netas alcanzaron los 31,473.7 kt CO₂ eq, reduciéndose en un -0.6 % desde 1990 e incrementándose en un 2.1 % con respecto al 2018 (Tabla 6.2 y Figura 6.1). El sector no tiene una tendencia de crecimiento o decrecimiento lineal y la variación en la serie se debe en su mayoría a los incendios de las *tierras forestales*, la cual se puede percibir desde 2003, así como a partir de 2016, año desde el cual se utiliza una metodología de identificación de cicatrices de fuego para definir el área afectada por los incendios de forma más precisa.

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 55.7 %, le sigue con un 32.6 % los *pastizales*, un 9.8 % 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.

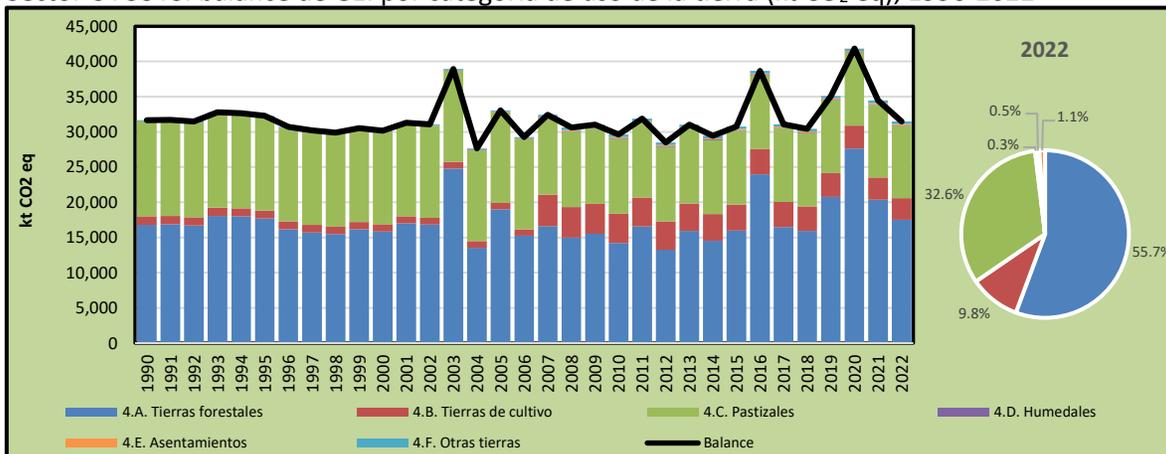
Sector UTCUTS: balance de GEI por categoría de uso de la tierra (kt CO₂ eq)

Categoría de uso de la tierra	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022
4.A. Tierras forestales	16,792.3	17,707.2	15,859.9	19,003.3	14,213.7	15,974.5	27,631.6	20,356.0	17,518.7
4.B. Tierras de cultivo	1,218.0	1,114.8	1,011.6	908.4	4,175.0	3,695.8	3,275.4	3,174.4	3,075.4
4.C. Pastizales	13,450.4	13,275.4	13,100.3	12,925.3	10,617.3	10,494.2	10,338.5	10,306.5	10,274.6
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	31,678.5	32,315.1	30,189.6	33,054.8	29,610.9	30,769.5	41,850.4	34,441.9	31,473.7

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), 1990-2022



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 98.2 % de CO₂, mientras que el CH₄ y el N₂O representaron en conjunto solo el 1.8 % (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.

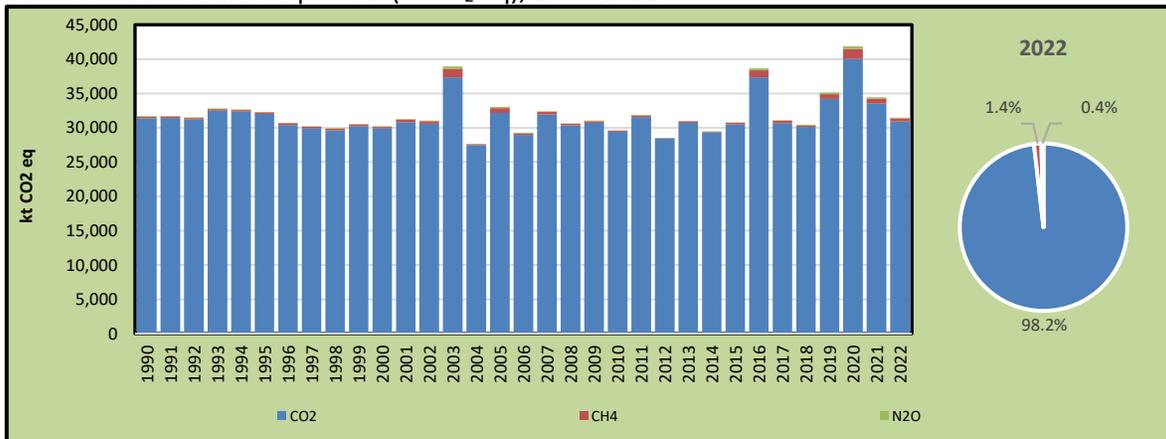
Sector UTCUTS: balance por GEI (kt CO₂ eq)

GEI	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022
CO ₂	31,370.1	32,006.7	29,881.1	32,155.9	29,420.5	30,501.4	40,015.1	33,503.1	30,898.0
CH ₄	241.3	241.3	241.3	703.1	148.9	209.7	1,435.6	734.4	450.3
N ₂ O	67.2	67.2	67.2	195.7	41.5	58.4	399.6	204.4	125.4
Balance	31,678.5	32,315.1	30,189.6	33,054.8	29,610.9	30,769.5	41,850.4	34,441.9	31,473.7

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), 1990-2022



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 1990-2022, 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.

Cabe mencionar que el país está trabajando en una actualización de la malla de referencia de cambios de uso de la tierra al año 2021, bajo un proyecto de pago por resultados en un Programa de Reducción de Emisiones. Este programa está generando información actualizada con respecto a la malla de puntos y los valores de contenido de carbono en la biomasa por tipo de estrato de bosques, lo cual ayudará a mejorar la información presentada en los inventarios; sin embargo, la información se encuentra en constante revisión y cambios por parte del equipo del Banco Mundial y las auditorías que realizan a los resultados de proyecto, por lo que se espera que esta información pueda estar disponible para la siguiente presentación del inventario (2026).

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
<p>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</p>	<p>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.</p>

Categoría de uso de la tierra	Subcategorías de uso de la tierra
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.	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.	<p>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.</p> <p>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.</p> <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>
Pastizales: tierras de pastoreo, pastizales cultivados y naturales. La categoría también incluye los sistemas silvopastoriles, coherentes con las definiciones nacionales.	<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>
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>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>
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>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>
Otras tierras: suelo desnudo, roca, hielo y todas aquellas zonas que no estén incluidas en ninguna de las otras cinco categorías.	<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>

Categoría de uso de la tierra	Subcategorías de uso de la tierra
	Páramos: terreno con predominio de vegetación de baja altura que se encuentra en zonas montañosas de gran altitud.

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 1990-2022 en dos tramos (1990-2005 y 2006-2022) 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 2006-2022, 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 2022 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.

Cabe resaltar que se ha generado mejor información para la representación de datos, como se mencionó en la sección anterior, específicamente en el periodo de 2019 a 2022, a través de proyectos de gestión forestal en el país; sin embargo, la información se ha visto restringida por procesos de auditorías tanto internas como externas, lo que ha complicado el acceso y mejora de la información presentada en este informe, específicamente en este sector. Se espera que, para la siguiente presentación del informe, se tenga disponible mejor información para mejorar las estimaciones, contando con datos más actualizados de la malla de puntos (2019-2021) y un Inventario Forestal Nacional actualizado a 2022.

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 1990-2022. 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. El INAB, a partir de 2016 emplea una metodología de identificación de cicatrices de fuego para estimar las hectáreas afectadas por incendios anualmente; esta metodología permite obtener mejor información, al utilizar imágenes satelitales para definir un dato de afectación más preciso. La información para el periodo de 2016 a 2022 se obtuvo del Análisis de información estadística y geoespacial para la gestión del fuego (INAB, 2023).

6.5. Tierras forestales (CRT 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 2022, el balance de esta categoría contabilizó 17,518.7 kt CO₂ eq, que equivalen al 55.7 % del balance de emisiones y absorciones de GEI del sector UTCUTS. Estas emisiones se incrementaron en un 4.3 % con respecto a 1990, pero se han reducido 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, 2016 y 2020— que se corresponden con los periodos de mayor área de incendios forestales reportados en toda la serie histórica.

Tabla 6.5.

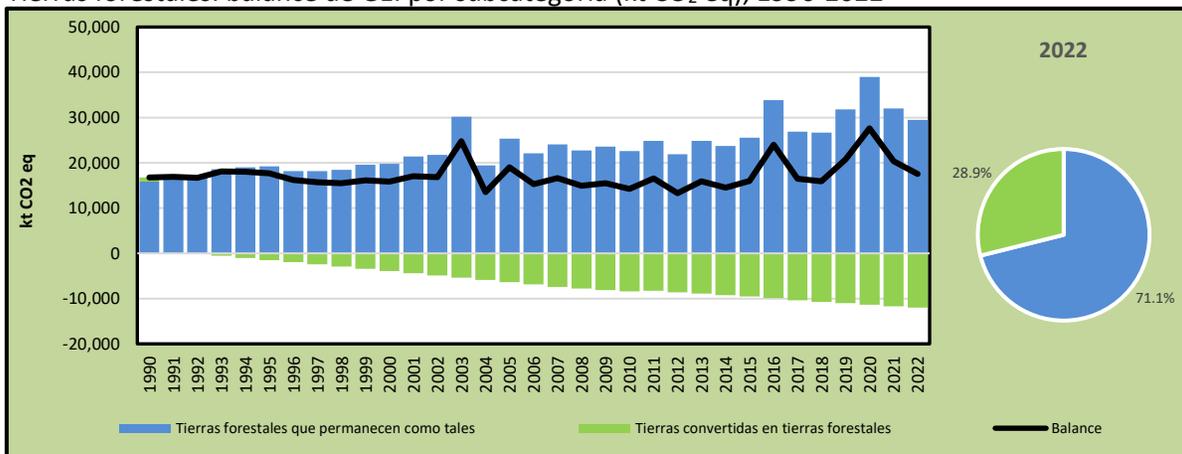
Tierras forestales: balance de GEI por subcategoría (kt CO₂ eq)

Subcategoría	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022
4.A.1. TF-TF	15,842.3	19,189.9	19,775.3	25,351.6	22,628.1	25,531.1	38,977.9	32,028.1	29,516.6
4.A.2. Tierras-TF	950.1	-1,482.7	-3,915.4	-6,348.2	-8,414.4	-9,556.7	-11,346.3	-11,672.1	-11,997.9
Balance	16,792.3	17,707.2	15,859.9	19,003.3	14,213.7	15,974.5	27,631.6	20,356.0	17,518.7

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), 1990-2022



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), 1990-2022

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	3,392,425	2,299	15,324
2008	3,354,115	2,299	15,324
2009	3,315,804	2,299	15,324
2010	3,277,493	2,299	15,324
2011	3,275,489	2,299	15,324
2012	3,237,178	2,299	15,324
2013	3,198,868	2,299	15,324
2014	3,160,557	2,299	15,324
2015	3,122,246	2,299	15,324
2016	3,083,935	2,299	15,324
2017	3,047,628	2,299	15,324
2018	3,009,317	2,299	15,324
2019	2,972,866	2,299	15,324
2020	2,934,428	2,299	15,324
2021	2,895,993	2,299	15,324
2022	2,857,560	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; los datos de actividad de áreas afectadas por perturbaciones por fuego (incendios) fueron obtenidos del SIFGUA, para cada año de la serie temporal 1990-2015 y para el periodo de 2016-2022, se utilizó el “análisis de información estadística y geoespacial para la gestión del fuego” realizado por el INAB, que utiliza información geoespacial para identificar las áreas afectadas por incendios, también llamadas “cicatrices de fuego”.

Tabla 6.7.

Tierras forestales: cosecha de madera y leña, y superficie afectada por incendios, 1990-2022

Año	Cosecha de madera (m ³)	Cosecha de leña (m ³)	Incendios (ha)
1990	227,700	12,813,300	11,722
1991	244,950	13,364,323	11,722

Año	Cosecha de madera (m ³)	Cosecha de leña (m ³)	Incendios (ha)
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	49,122
2017	751,875	23,643,970	14,042
2018	751,875	24,042,522	11,189
2019	751,875	24,447,795	35,456
2020	751,875	24,859,904	69,740
2021	751,875	25,278,903	35,675
2022	751,875	25,704,967	21,877

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

Categorías de fuente y sumidero de GEI	GEI	Incertidumbre de los DA	Incertidumbre del FE	Incertidumbre combinada
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 en el periodo de 1990-2000. Caso similar ocurre con los datos correspondientes a recogida de madera y recogida de madera combustible, que fueron obtenidos de FAOSTAT al ser la única fuente disponible. 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 no presentan diferencias muy significativas con el inventario presentado en el 1IBA, principalmente porque el cambio del PCA aplicado en este inventario no resultó en cambios drásticos al existir poca incidencia de gases no CO₂ en esta categoría (por incendios); sin embargo, para las perturbaciones por incendios forestales, se utilizó información más actualizada para el periodo 2016-2022, y se distingue una diferencia significativa para el año 2016, en comparación con el inventario anterior (Tabla 6.11).

Tabla 6.11.

Tierras forestales: comparación entre los balances anuales de los inventarios (kt CO₂ eq)

INGEI	1990	2005	2016	2018
INGEI - 1IBA	16,774.8	18,952.4	16,974.6	16,327.8
INGEI – 1BTR	16,792.3	19,003.3	23,986.1	15,948.0
Diferencia	17.50	50.90	7,011.50	-379.80
Diferencia porcentual	0.10%	0.27%	29.23%	-2.38%

Nota: para efectos comparativos de tierras forestales, principalmente por perturbaciones por incendios forestales, se incluyeron dos años con cambios de la nueva metodología (2016 y 2018).

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en el 1IBA 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. Así como utilizar los resultados de un Inventario Forestal Nacional actualizado como validación de tierras forestales y otras tierras, resultado de los estudios dentro de este alineados con las representaciones de tierra nacionalmente y del IPCC.
- 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.
- Considerar los resultados del Programa de Reducción de Emisiones al haber definido factores de emisión actualizados a los del NREF, lo que mejoraría la estimación de emisiones del sector, así como resultados de monitoreo a través de la malla de puntos, mejorando los datos de actividad en un periodo más actualizado.

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 (CRT 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 2022, el balance de la subcategoría contabilizó 3,075.4 kt CO₂ eq, que equivalen al 9.8 % del total de emisiones y absorciones de GEI del sector UTCUTS. Los datos obtenidos muestran un aumento respecto a lo emitido en 1990 de 152.5 % y un 238.6 % 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 97.8 % 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 2.2 %. 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 2007-2022, 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	2020	2021	2022
4.B.1. TC-TC	66.2	43.2	20.2	-2.9	286.6	191.2	106.5	85.5	66.5
4.B.2. Tierras-TC	1,151.8	1,071.6	991.4	911.2	3,888.3	3,504.6	3,168.8	3,088.9	3,009.0
Balance	1,218.0	1,114.8	1,011.6	908.4	4,175.0	3,695.8	3,275.4	3,174.4	3,075.4

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), 1990-2022



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 periodo 2006-2016 se distribuyeron equitativamente (linealmente) entre el número de años

contenidos en el periodo. Los datos para 2017 y 2022 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), 1990-2022

Año	TC-TC	TF-TC	PA-TC	HU-TC	AS-TC	OT-TC
1990	1,959,561	2,602	6,465	19	4	23
1991	1,951,662	2,602	6,465	19	4	23
1992	1,943,762	2,602	6,465	19	4	23
1993	1,935,863	2,602	6,465	19	4	23
1994	1,927,964	2,602	6,465	19	4	23
1995	1,920,065	2,602	6,465	19	4	23
1996	1,912,166	2,602	6,465	19	4	23
1997	1,904,267	2,602	6,465	19	4	23
1998	1,896,367	2,602	6,465	19	4	23
1999	1,888,468	2,602	6,465	19	4	23
2000	1,880,569	2,602	6,465	19	4	23
2001	1,872,670	2,602	6,465	19	4	23
2002	1,864,771	2,602	6,465	19	4	23
2003	1,856,871	2,602	6,465	19	4	23
2004	1,848,972	2,602	6,465	19	4	23
2005	1,841,073	2,602	6,465	19	4	23
2006	1,833,174	2,602	6,465	19	4	23
2007	1,816,413	9,290	42,238	96	96	192
2008	1,799,652	9,290	42,238	96	96	192
2009	1,782,891	9,290	42,238	96	96	192
2010	1,766,130	9,290	42,238	96	96	192
2011	1,757,268	9,290	42,238	96	96	192
2012	1,740,507	9,290	42,238	96	96	192
2013	1,723,746	9,290	42,238	96	96	192
2014	1,706,985	9,290	42,238	96	96	192
2015	1,690,224	9,290	42,238	96	96	192
2016	1,673,463	9,290	42,238	96	96	192
2017	1,665,564	9,290	42,238	96	96	192
2018	1,648,803	9,290	42,238	96	96	192
2019	1,633,064	9,290	42,620	96	96	192
2020	1,616,235	9,290	42,241	96	96	192
2021	1,599,408	9,290	42,238	96	96	192
2022	1,582,582	9,290	42,235	96	96	192

Nota: la variación en PA-TC se debe al ajuste proporcional que se aplicó en los datos de actividad al extrapolar los cambios de uso.

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 1990-2022. 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 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 2017-2022.

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

No se presentaron nuevos cálculos en esta categoría; al estimarse únicamente las emisiones de CO₂, no hubo cambios al haberse utilizado la misma metodología de cálculo que el 1BA y no hay existencia de gases no CO₂ para presentarse alguna variación.

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 (CRT 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 2022, el balance de esta categoría contabilizó 10,274.6 kt CO₂ eq, que equivalen al 32.6% del total de emisiones y absorciones de GEI del sector UTCUTS. Se observa que el balance tendió al decrecimiento, registrando una disminución de 23.6 % desde 1990 y un 20.5 % 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 2007-2022, estos cambios en los resultados están asociados a los cambios de metodología para el establecimiento de los datos de actividad empleados (Tabla 6.16. y Figura 6.5).

Tabla 6.16.

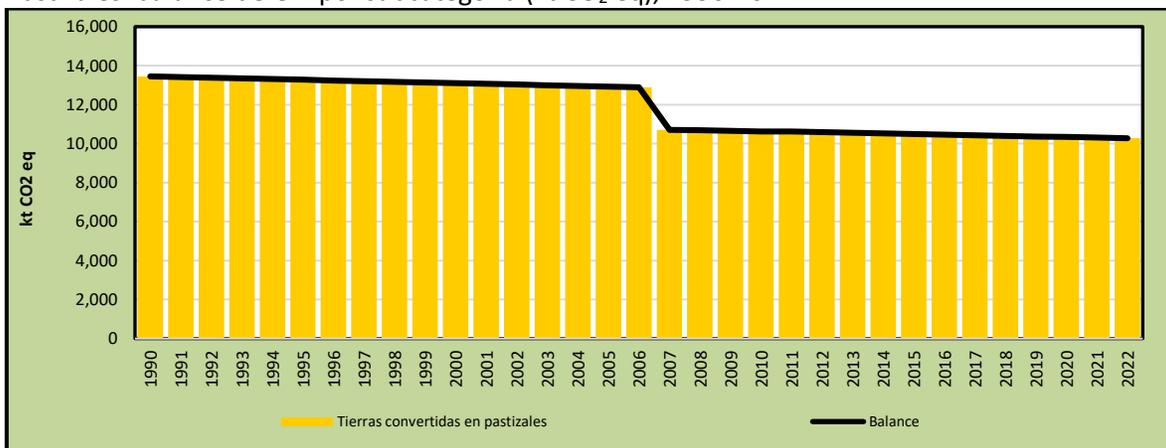
Pastizales: balance de GEI por subcategoría (kt CO₂ eq), 1990-2022

Subcategoría	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022
4.C.1. PA-PA	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	10,364.4	10,338.5	10,306.5
Balance	13,450.4	13,275.4	13,100.3	12,925.3	10,617.3	10,494.2	10,364.4	10,338.5	10,306.5

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), 1990-2022



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 2022 se extrapolaron a partir de la información de los cambios observados entre 2006-2016. En la Tabla 6.17 se presentan los datos de actividad de áreas de uso y cambio de uso utilizados para la estimación de los GEI en *pastizales*.

Tabla 6.17.

Pastizales: superficie de uso y cambio de uso de la tierra (ha), 1990-2022

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
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
2019	27,775	4,980	670	96	958
2020	27,775	4,980	670	96	958
2021	27,775	4,980	670	96	958
2022	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 6.18. Se puede apreciar que las mayores incertidumbres combinadas están asociadas principalmente a las incertidumbres de los factores de emisión utilizados.

Tabla 6.18.

Pastizales: 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 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 1990-2022 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 1990-2022. 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

No se realizaron nuevos cálculos en esta categoría, debido a que se estimaron solamente las emisiones brutas de CO₂, por lo que no hubo cambios al aplicar los PCA del AR5, 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.
- Alinear los resultados de un Inventario Forestal Nacional actualizado y alineado con las representaciones de tierra nacionales para facilitar la homologación de información.
- 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. Además, considerar la información de la CONRED en la categoría de incendios no forestales, identificando cuáles de estos fueron en qué tipo de categorías de tierras.

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

6.8. Humedales (CRT 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 2022, 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 2007-2022, estos cambios están asociados a los cambios de metodología para el establecimiento de los datos de actividad empleados (Tabla 6.19 y Figura 6.6).

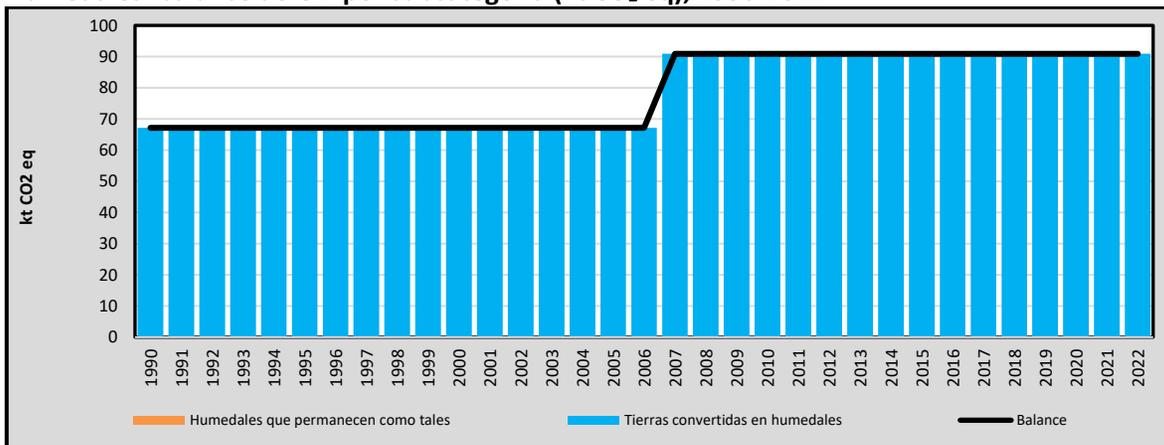
Tabla 6.19.

Humedales: balance de GEI por subcategoría (kt CO₂ eq)

Subcategoría	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022
4.D.1. HU-HU	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), 1990-2022



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 el periodo de 2017 a 2022 se extrapolaron a partir de la información de los cambios observados entre 2006-2016. En la Tabla 6.20 se presentan los datos de actividad de áreas de uso y cambio de uso utilizados para la estimación de GEI en *humedales*.

Tabla 6.20.
Humedales: superficie de uso y cambio de uso de la tierra (ha), 1990-2022

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

Año	TF-HU	TC-HU	PA-HU	AS-HU	OT-HU
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
2019	191.6	191.6	478.9	95.8	287.3
2020	191.6	191.6	478.9	95.8	287.3
2021	191.6	191.6	478.9	95.8	287.3
2022	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 6.21. Se puede apreciar que las mayores incertidumbres combinadas están asociadas principalmente a las incertidumbres de los factores de emisión utilizados.

Tabla 6.21.

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 1990-2022 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 1990-2022. 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

No se realizaron nuevos cálculos en esta categoría, debido a que se estimaron solamente las emisiones brutas de CO₂, por lo que no hubo cambios al aplicar los PCA del AR5, 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.
- Alinear los resultados de un Inventario Forestal Nacional actualizado y alineado con las representaciones de tierra nacionales para facilitar la homologación de información.
- 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 (CRT 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 2022. 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 2007-2022, 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 6.22 y Figura 6.7).

Tabla 6.22.

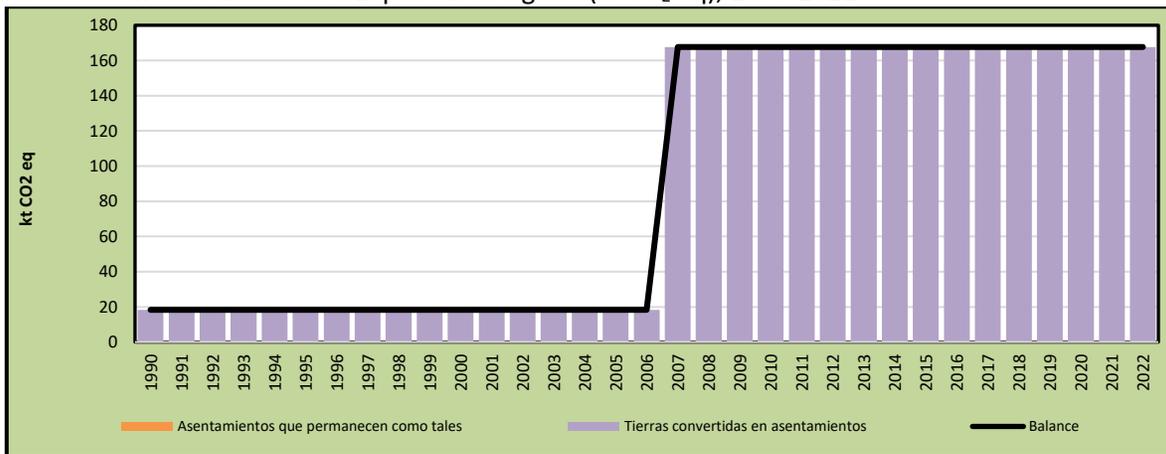
Asentamientos: *balance* de GEI por subcategoría (kt CO₂ eq)

Subcategoría	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022
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), 1990-2022



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 el periodo de 2017 a 2022 se extrapolaron a partir de la información de los cambios observados entre 2006-2016. En la Tabla 6.23 se presentan los datos de actividad de áreas de uso y cambio de uso utilizados para la estimación de GEI en *asentamientos*.

Tabla 6.23.

Asentamientos: superficie de uso y cambio de uso de la tierra (ha), 1990-2022

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
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
2019	287	766	1,149
2020	287	766	1,149
2021	287	766	1,149
2022	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 6.24. Se puede apreciar que las mayores incertidumbres combinadas están asociadas principalmente a las incertidumbres de los factores de emisión utilizados.

Tabla 6.24.

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 1990-2022 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 1990-2022. 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

No se realizaron nuevos cálculos en esta categoría, debido a que se estimaron solamente las emisiones brutas de CO₂, por lo que no hubo cambios al aplicar los PCA del AR5, 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.
- Alinear los resultados de un Inventario Forestal Nacional actualizado y alineado con las representaciones de tierra nacionales para facilitar la homologación de información.
- 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 (CRT 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 2007-2022, estos cambios están asociados a los cambios de metodología para el establecimiento de los datos de actividad empleados (Tabla 6.25 y Figura 6.8).

Tabla 6.25.

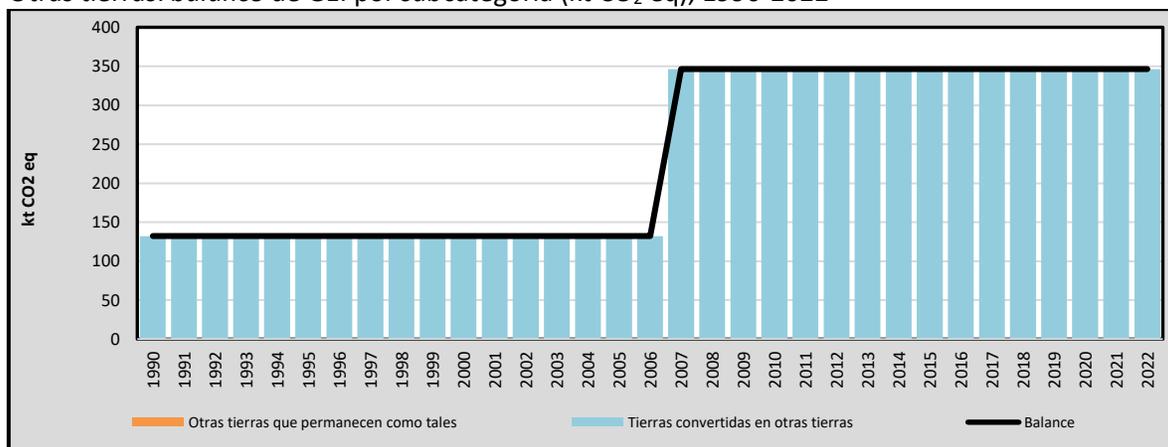
Otras tierras: balance de GEI por subcategoría (kt CO₂ eq)

Subcategoría	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022
4.F.1. OT-OT	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), 1990-2022



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 el periodo de 2017 a 2022 se extrapolaron a partir de la información de los cambios observados entre 2006-2016. En la Tabla 6.26 se presentan los datos de actividad de áreas de uso y cambio de uso utilizados para la estimación de GEI en *otras tierras*.

Tabla 6.26.

Otras tierras: superficie de uso y cambio de uso de la tierra (ha), 1990-2022

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

Año	TF-OT	TC-OT	PA-OT	HU-OT
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
2019	766	192	1,916	287
2020	766	192	1,916	287
2021	766	192	1,916	287
2022	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 6.27. Se puede apreciar que las mayores incertidumbres combinadas están asociadas principalmente a las incertidumbres de los factores de emisión utilizados.

Tabla 6.27.

Otras tierras: 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 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

No se realizaron nuevos cálculos en esta categoría, debido a que se estimaron solamente las emisiones brutas de CO₂, por lo que no hubo cambios al aplicar los PCA del AR5, 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.
- Alinear los resultados de un Inventario Forestal Nacional actualizado y alineado con las representaciones de tierra nacionales para facilitar la homologación de información.
- 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 (CRT 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 (CRT 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 197.5 kt CO₂, 62.0 kt CH₄ y 1.2 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 2022

Código	Categorías de fuente de GEI	CO ₂ (kt)	CH ₄ (kt)	N ₂ O (kt)
5.	Residuos	197.1	62.7	1.2
5.A.	Disposición de residuos sólidos	NA	46.5	
5.A.1.	Sitios de disposición de residuos gestionados	NA	26.8	
5.A.2.	Sitios de disposición de residuos no gestionados	NA	19.8	
5.A.3.	Sitios de disposición de residuos no categorizados	NA	NO	
5.B.	Tratamiento biológico de residuos sólidos		2.6	0.2
5.B.1.	Compostaje		2.6	0.2
5.B.2.	Digestión anaeróbica en instalaciones de biogás		NE	NE
5.C.	Incineración y quema abierta de residuos	197.1	8.0	0.2
5.C.1.	Incineración de residuos	NE	NE	NE
5.C.2.	Incineración abierta de residuos	197.1	8.0	0.2
5.D.	Tratamiento y descarga de aguas residuales		5.7	0.8
5.D.1.	Aguas residuales domésticas		3.4	0.8
5.D.2.	Aguas residuales industriales		2.3	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 3.5 % del balance nacional en 2022 o el 6.8 % de las emisiones totales (excluyendo UTCUTS). En ese mismo año, sus emisiones alcanzaron 2,267.2 kt CO₂ eq, incrementándose en un 235.9 % desde 1990 y un 21.6 % desde 2018 (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.

La *disposición de residuos sólidos* representa el 57.5 % de las emisiones del sector, seguida de la *incineración y quema abierta de residuos* con un 20.7 %, luego el *tratamiento y descarga de aguas residuales* con un 16.5 % y por último el *tratamiento biológico de residuos sólidos* con el restante 5.4 %. Esto destaca la importancia de la disposición de residuos sólidos a nivel nacional. Un ejemplo es la reducción de emisiones en 2017, atribuida a la instalación de una planta de generación eléctrica en el vertedero El Trébol, el mayor del país, que utiliza gas de vertedero.

Tabla 7.2.

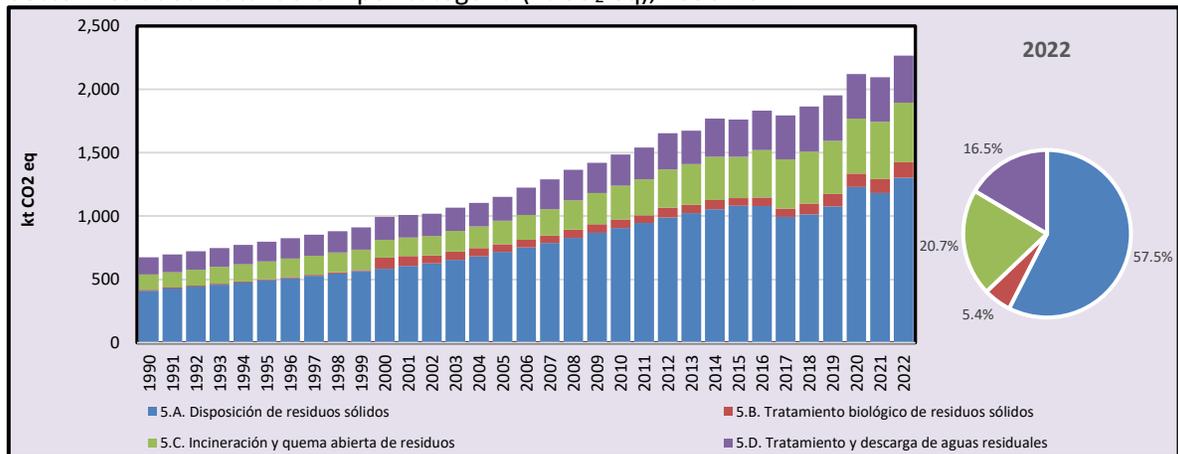
Sector Residuos: total de GEI por categoría (kt CO₂ eq)

Categoría	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022
5.A. Disposición de residuos sólidos	412.3	492.7	584.9	716.2	906.3	1082.4	1228.5	1182.4	1303.1
5.B. Tratamiento biológico de residuos sólidos	6.8	8.1	86.6	62.6	68.2	59.1	105.8	109.3	121.9
5.C. Incineración y quema abierta de residuos	119.5	141.2	142.3	183.6	263.9	327.2	435.9	452.2	468.5
5.D. Tratamiento y descarga de aguas residuales	136.4	156.9	178.8	189.6	248.3	293.3	351.8	350.7	373.6
Total	674.9	798.9	992.5	1152.0	1486.7	1761.9	2119.6	2094.5	2267.2

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), 1990-2022



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 77.4 % de CH₄, un 13.9 % de N₂O y un 8.7 % de CO₂ (Tabla 7.3 y Figura 7.2).

Tabla 7.3.

Sector Residuos: emisiones por GEI (kt CO₂ eq)

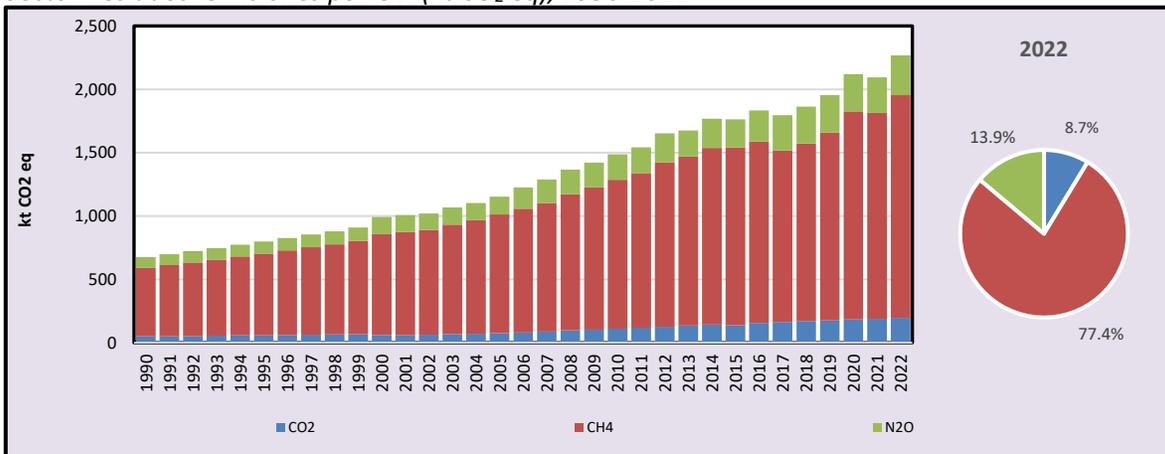
GEI	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022
CO ₂	50.3	59.4	59.9	77.2	111.1	137.7	183.4	190.2	197.1
CH ₄	541.3	644.1	797.1	935.9	1,174.3	1,401.5	1,643.6	1,621.9	1,755.8
N ₂ O	83.4	95.4	135.5	138.9	201.4	222.8	292.6	282.3	314.2

GEI	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022
Total	675.0	798.9	992.5	1,152.0	1,486.7	1,761.9	1,864.6	2,119.6	2,094.4

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), 1990-2022



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.

Para estimar las emisiones de 2019 a 2022, se proyectaron datos sobre el manejo de *residuos sólidos (disposición, tratamiento biológico e incineración abierta)* y *aguas residuales domésticas*, basándose en ENCOVI y los Censos de 2002 y 2018 (población urbana, rural, nivel socioeconómico, etc.). Esto se debe a la falta de datos actualizados por parte de los entes responsables.

Para estimar los GEI, se utilizaron hojas de trabajo nacionales basadas en las Directrices del IPCC de 2006, además del modelo de residuos del IPCC.

7.2. Disposición de residuos sólidos (CRT 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.

¹⁰ Disponible en <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/vol5.html>

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. Las emisiones estimadas corresponden únicamente a los residuos generados en hogares y depositados en estos sitios, sin incluir otros residuos como lodos o industriales, debido a la falta de información.

Las emisiones han aumentado un 216.1 % desde 1990 y un 28.7 % a partir 2018. Desde 2018, pese a la instalación de una planta de generación eléctrica en el vertedero El Trébol que utiliza gas de vertedero, las emisiones han aumentado en un 28.7%, ya que la cantidad de gas recuperado y descontado ha sido menor que en los primeros años de su recuperación (Tabla 7.4 y Figura 7.3).

Con respecto a las subcategorías, el 57.6 % de las emisiones corresponden a *sitios de disposición de residuos gestionados* y el 42.4 % a los *sitios de disposición de residuos no gestionados*.

Tabla 7.4.

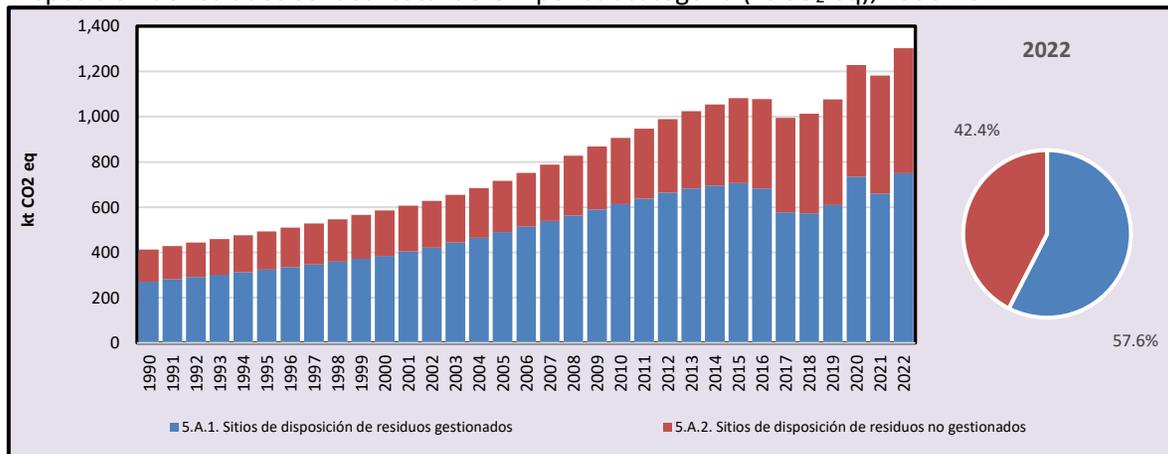
Disposición de residuos sólidos: total de GEI por subcategoría (kt CO₂ eq)

Subcategoría	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022
5.A.1. Sitios de disposición de residuos gestionados	270.8	323.7	384.3	489.3	613.2	707.2	734.8	659.8	750.0
5.A.2. Sitios de disposición de residuos no gestionados	141.4	169.0	200.7	226.9	293.1	375.2	493.7	522.6	553.1
Total	412.3	492.7	585.0	716.2	906.3	1082.4	1228.5	1182.4	1303.1

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), 1990-2022



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.

El método FOD requiere datos de población, generación per cápita y composición de residuos sólidos desde 1950. La población anual se obtuvo de las proyecciones a largo plazo 1950-2050 (INE, 2019), La generación per cápita por nivel socioeconómico y región se proyectó con base en el criterio de experto de la serie 1990-2018 (Barrientos, 2020). La composición de residuos, obtenida de la Guía de identificación de residuos sólidos comunes (MARN, 2018), se mantiene sin cambios por falta de datos actualizados.

Para obtener el dato WT, se utiliza información sobre el manejo de residuos sólidos a nivel hogar, proyectada a partir de ENCOVI y los Censos de 2002 y 2018 para la serie 1990-2018. 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 considera la clasificación de manejo de residuos 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 a 2000, debido a la falta de datos desagregados, se utilizan cifras agregadas de población y tasas de generación de residuos a nivel nacional, asumiendo que la distribución de manejo de residuos es constante y equivalente al promedio nacional de 2000.

7.2.3. Sitios de disposición de residuos gestionados (CRT 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 2022, esta categoría emitió 1303.1 kt CO₂ eq (la totalidad de estas emisiones provienen de sitios gestionados anaeróbicos), incrementándose 216.1 % desde 1990 y un 28.7 % desde 2018. Como se menciona previamente en el 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 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, para el 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, sin embargo, entre 2019 y 2022 se observa un aumento en las emisiones debido a una menor recuperación de gas de vertedero. En 2019, se generaron 22.56 GWh, consumiendo 18,197,487 m³ de gas (6.5 kt CH₄), en 2020, la generación disminuye a 10.5 GWh con 8,477,641 m³ de gas de vertedero (3.0 kt CH₄), mientras que, en 2021, se registraron 23.4 GWh consumiendo un volumen de 18,834,722 m³ de gas (6.8 kt CH₄). Finalmente, en 2022, se generaron 15.9 GWh con un consumo de 12,841,489 m³ de gas de vertedero (4.6 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), 1990-2022

Año	Kilotoneladas	Año	Kilotoneladas	Año	Kilotoneladas
1990	255.8	2001	388.9	2012	606.2
1991	262.8	2002	415.3	2013	603.0
1992	272.4	2003	435.0	2014	607.7
1993	282.2	2004	461.2	2015	628.9
1994	292.2	2005	482.6	2016	656.6
1995	302.4	2006	503.6	2017	678.4
1996	312.7	2007	525.4	2018	709.5
1997	323.2	2008	548.3	2019	735.0
1998	334.1	2009	562.7	2020	762.3
1999	345.3	2010	585.2	2021	790.1
2000	377.3	2011	609.2	2022	818.2

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 (%)

Tipo de residuos	Composición (%)
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)

Año	Kilotoneladas
2016	1.4
2017	5.9
2018	6.9
2019	6.5
2020	3.0
2021	6.8
2022	4.6

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

Tipo de residuos	DOC	k (años ⁻¹)
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 %

Elemento del modelo FOD	Incertidumbre	
	(-)%	(+)%
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 CH4 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 y extrapolaciones para el periodo de 2019 a 2022.

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*.

7.2.3.6. Plan de mejora de la subcategoría

Para esta subcategoría se contemplan las siguientes mejoras:

- Mejorar la información sobre la gestión y características constructivas de los sitios de disposición final, especialmente en los primeros años de la serie, para evitar la posible sobrestimación de emisiones.
- 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 datos sobre producción per cápita de residuos sólidos y cantidades depositadas a lo largo de la serie temporal.
- Obtener información a nivel nacional para mejorar los datos sobre la composición de los residuos a lo largo de la serie temporal.
- Obtener datos de otros residuos depositados como residuos industriales y lodos para 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 (CRT 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 manejado, 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 2022, las emisiones de la subcategoría alcanzaron los 553.1 kt CO₂ eq incrementándose en un 176.9 % desde 1990 y en un 143.8 % 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

La estimación de residuos sólidos depositados en SDRS no gestionados se realizó mediante proyecciones para 2019-2022, basadas en datos 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 **Error! Reference source not found.** 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)

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	2001	436.8	2012	806.1
1991	343.0	2002	456.5	2013	838.1
1992	355.7	2003	488.8	2014	874.2
1993	368.5	2004	513.4	2015	933.1
1994	381.5	2005	548.6	2016	991.8
1995	394.7	2006	579.4	2017	1,052.7
1996	408.2	2007	621.8	2018	1,122.8
1997	421.9	2008	662.5	2019	1,186.5
1998	436.1	2009	692.0	2020	1,257.4
1999	450.7	2010	730.6	2021	1,331.0
2000	433.7	2011	775.0	2022	1,407.4

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
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 CH4 en el gas de vertedero generado (F)	5.0 %	5.0 %
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 7.16. 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

Categorías de fuente de GEI	GEI	Incertidumbre de los DA	Incertidumbre del FE	Incertidumbre combinada
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*.

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 (CRT 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

Los nuevos cálculos se deben principalmente por el cambio del PCA aplicado en este inventario, utilizando los PCAs del AR5, en comparación con el último inventario que se utilizaron los del AR4 (Tabla 7.17)

Tabla 7.17.

Sitios de disposición de residuos gestionados: comparación entre los totales anuales de los inventarios (kt CO₂ eq)

INGEI	1990	2005	2018
INGEI – 2IBA	368.1	639.5	904.4
INGEI – 1BTR	412.3	716.2	1,012.9
Diferencia	44.2	76.7	108.5
Diferencia porcentual	10.7%	10.7%	10.7%

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en el 1IBA de Guatemala.

7.3. Tratamiento biológico de residuos sólidos (CRT 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 2022, las emisiones de la categoría contabilizaron 98.6 kt CO₂ eq, representando un crecimiento del 1,687.8 % desde 1990 y del 41.1 % con respecto al 2018. La principal subcategoría es compostaje de pulpa de café con 85.3 % de las emisiones de la categoría, mientras que la subcategoría compostaje doméstico aporta el restante 14.7 %. 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)

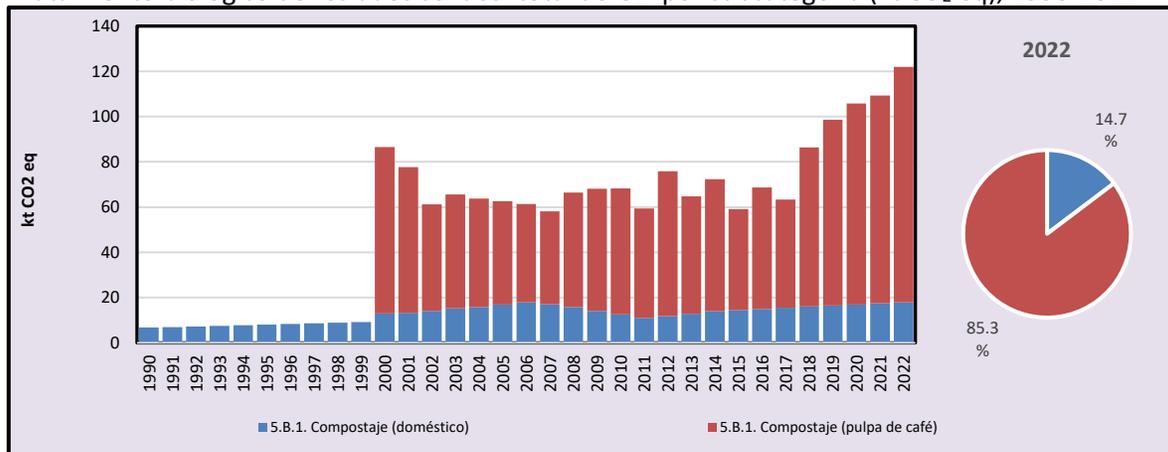
Subcategoría	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022
5.B.1. Compostaje (doméstico)	6.8	8.1	13.0	16.9	12.6	14.5	17.0	17.5	17.9
5.B.1. Compostaje (pulpa de café)	NE	NE	73.5	45.7	55.6	44.6	88.8	91.8	104.0
Total	6.8	8.1	86.5	62.6	68.2	59.1	105.8	109.3	121.9

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), 1990-2022



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

La estimación de la cantidad de residuos sólidos destinados a *compostaje* doméstico se realizó mediante proyecciones para 2019-2022, basada en la 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.

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 compostaje de pulpa de café fueron proporcionados por ANACAFÉ hasta 2018; para el período 2019-2022 se extrapolaron debido a la falta de información disponible al momento del informe. 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), 1990-2022

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
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
2019	86.1	428.5
2020	88.7	463.6
2021	91.2	479.5
2022	93.6	543.1

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

Los nuevos cálculos se deben principalmente por el cambio del PCA aplicado en este inventario, utilizando los PCAs del AR5, en comparación con el último inventario que se utilizaron los del AR4 (Tabla 7.22)

Tabla 7.22

Sitios de disposición de residuos gestionados: comparación entre los totales anuales de los inventarios (kt CO₂ eq)

<i>INGEI</i>	<i>1990</i>	<i>2005</i>	<i>2018</i>
INGEI – 2IBA	6.7	61.9	85.5
INGEI – 1BTR	6.8	62.6	86.4
Diferencia	0.1	0.7	0.9
Diferencia porcentual	1.1%	1.1%	1.1%

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en el 1IBA de Guatemala.

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 (CRT 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 7.23. y Figura 7.5).

Tabla 7.23.

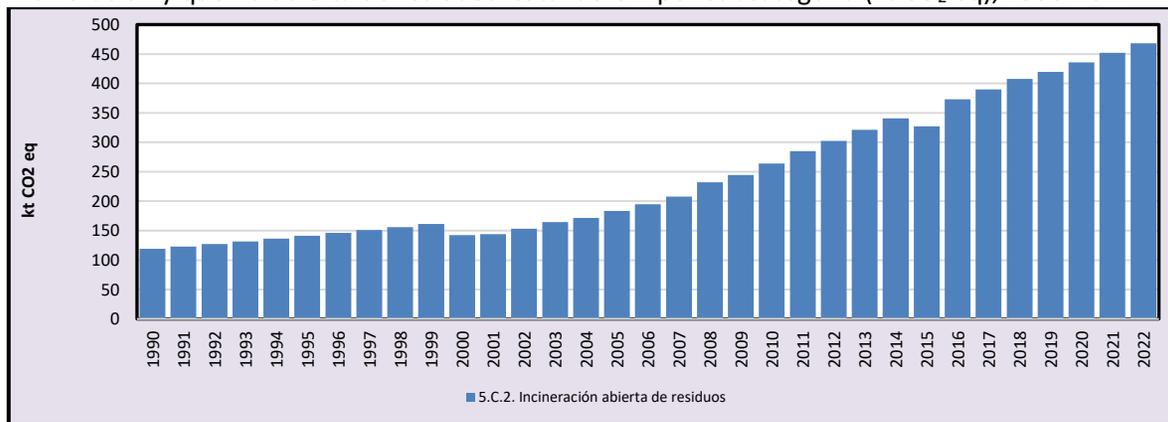
Incineración y quema abierta de residuos: total de GEI por subcategoría (kt CO₂ eq)

Subcategoría	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022
5.C.2. Incineración abierta de residuos	119.5	141.2	142.3	183.6	264.0	327.2	435.9	452.2	468.5

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), 1990-2022



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 (CRT 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).

Aunque se sabe que la incineración de residuos, principalmente hospitalarios y farmacéuticos, ocurre en Guatemala, no se ha tenido acceso a esta información. Aunque se solicitó al MARN y MSPAS datos sobre la cantidad y composición de los residuos tratados, no se obtuvo dicha información. Es crucial apoyar a las instituciones responsables para que gestionen adecuadamente esta información y así se pueda tener anualmente para la estimación de emisiones.

7.4.4. Incineración abierta de residuos (CRT 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 2022, esta categoría emitió 468.5 kt CO₂ eq, presentando un aumento de 292.2 % 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*.

Las series obtenidas fueron empalmadas utilizando el método de la superposición parcial. En la Tabla 7.24. 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 7.24.

Incineración abierta: cantidad de residuos quemados (kt), 1990-2022

Año	Kilotoneladas	Año	Kilotoneladas	Año	Kilotoneladas
1990	495.5	2001	376.6	2012	790.6
1991	509.0	2002	400.1	2013	839.1
1992	527.7	2003	429.5	2014	890.3
1993	546.7	2004	447.7	2015	854.7
1994	566.0	2005	479.6	2016	974.3
1995	585.7	2006	509.2	2017	1,018.8
1996	605.7	2007	543.7	2018	1,064.8
1997	626.1	2008	606.0	2019	1,096.2
1998	647.1	2009	639.0	2020	1,138.5
1999	668.8	2010	689.5	2021	1,181.1
2000	371.6	2011	744.2	2022	1,223.9

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 7.25.).

Tabla 7.25.

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 7.26).

Tabla 7.26.

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 7.27. Se puede apreciar que las mayores incertidumbres combinadas están asociadas a las incertidumbres de los datos de actividad utilizados.

Tabla 7.27.

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, así como extrapolaciones para completar la serie a 2022.

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

Los nuevos cálculos se deben principalmente por el cambio del PCA aplicado en este inventario, utilizando los PCAs del AR5, en comparación con el último inventario que se utilizaron los del AR4 (Tabla 7.28).

Tabla 7.28

Incineración y quema abierta de residuos: comparación entre los totales anuales de los inventarios (kt CO₂ eq)

<i>INGEI</i>	<i>1990</i>	<i>2005</i>	<i>2018</i>
INGEI – 2IBA	114.9	176.6	392.1
INGEI – 1BTR	119.5	183.6	407.6
Diferencia	4.5	183.6	407.6
Diferencia porcentual	3.8%	3.8%	3.8%

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en el 1IBA de Guatemala.

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 (CRT 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 2022, esta categoría emitió 369.3 kt CO₂ eq, las cuales representan el 16.3% de las emisiones del sector Residuos, incrementándose en un 170.7 % desde 1990 y en un 3.3 % desde 2018. Este incremento se debe principalmente al aumento en la población del país y a las aguas residuales industriales reportadas en esta serie, las cuales dependen del volumen de producción industrial (Tabla 7.29. 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 7.29.

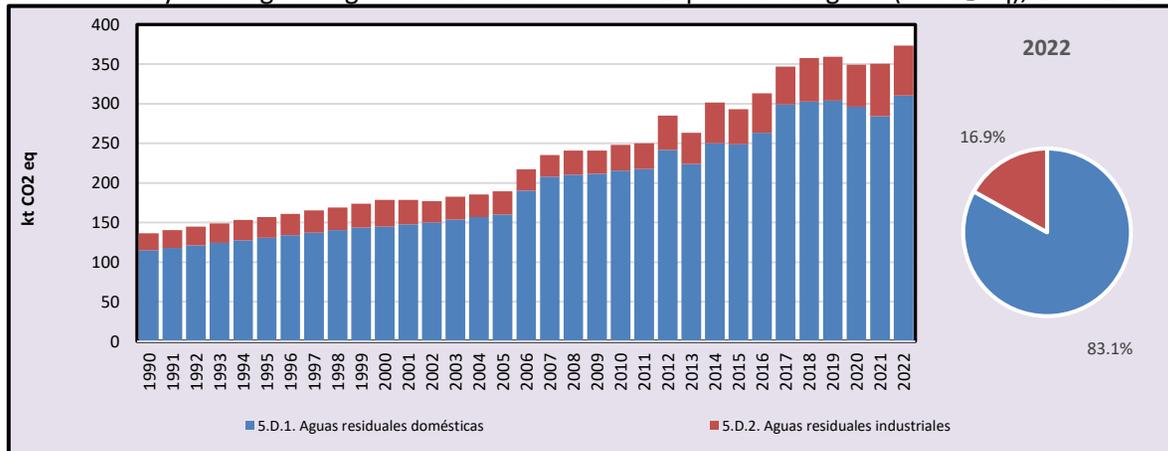
Tratamiento y descarga de aguas residuales: total de GEI por subcategoría (kt CO₂ eq)

Subcategoría	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022
5.D.1. Aguas residuales domésticas	114.9	130.7	144.8	160.0	215.4	249.1	296.2	284.1	310.4
5.D.2. Aguas residuales industriales	21.5	26.3	34.0	29.5	32.9	51.4	53.3	66.5	63.1
Total	136.4	156.9	178.8	189.6	248.3	299.9	349.5	350.6	373.5

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 (CRT 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 2022, esta categoría emitió 310.4 kt CO₂ eq, las cuales equivalen al 84.1 % del total de emisiones de la categoría tratamiento y disposición de aguas residuales, representando un aumento del 170.0 % desde 1990 y un aumento de 2.5% desde 2018. 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 7.29 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

Para los años del inventario 2019-2022 se realizaron proyecciones utilizando la información de población anual del INE (2019). Adicionalmente, se utiliza información de la disposición de aguas residuales a nivel hogar obtenidas 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 0.22 g/L según dictamen experto y el volumen de efluente doméstico diario por habitante. Se asume que el 80 % del agua consumida en los hogares se convierte en agua residual y 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 varía según el 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 7.30).

Tabla 7.30.

Aguas residuales domésticas: consumo de agua por tipo de abastecimiento de agua (L/persona día)

<i>Abastecimiento de agua (según clasificación ENCOVI)</i>	<i>Consumo de agua</i>
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 7.31 siguiente.

Tabla 7.31.

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
2019	2,991,527.8	0.397941	9,098,802.6	0.071987
2020	3,073,277.7	0.391938	9,208,425.0	0.070901
2021	3,154,469.1	0.386179	9,316,512.0	0.069859
2022	3,235,016.6	0.380658	9,442,784.2	0.068860

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 7.32).

Tabla 7.32.

Aguas residuales domésticas: consumo de proteína per cápita, 2005-2022

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
2019	82.5	30.1
2020	77.8	28.4
2021	71.6	26.1
2022	79.8	29.1

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 7.33. Se puede apreciar que la mayor incertidumbre combinada está asociada de igual forma a la incertidumbre de los datos de actividad y los factores de emisión utilizados.

Tabla 7.33.

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 nítrico.

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*.

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 nítrico, 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 (CRT 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 7.29 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 7.34).

Tabla 7.34.

Aguas residuales industriales: cantidad de kgCOD/año por tipo de industria, 1990-2022

Año	Industria de café (m ³)	Industria de Cerveza (t)	Industria de bebidas espirituosas (t)
1990	5,838,413	2,192,400	6,600,000
1991	5,820,407	2,283,750	8,085,000
1992	5,802,401	2,375,100	9,570,000
1993	5,784,396	2,466,450	11,055,000
1994	5,766,390	2,557,800	12,540,000
1995	5,748,384	2,643,060	13,090,000
1996	6,048,926	2,593,731	13,640,000
1997	6,532,648	2,544,402	14,190,000
1998	6,564,511	2,495,073	14,740,000
1999	7,204,863	2,445,744	15,290,000
2000	8,151,732	3,069,360	15,840,000
2001	7,145,840	2,375,100	17,160,000
2002	5,222,882	2,009,700	18,480,000
2003	5,581,751	2,250,864	19,800,000
2004	5,325,090	2,015,181	21,120,000
2005	5,068,429	2,015,181	7,944,368
2006	4,811,768	2,686,878	6,690,929
2007	4,555,107	3,002,930	6,985,419
2008	5,602,727	2,740,420	7,909,951
2009	5,986,130	2,696,822	6,784,490
2010	6,159,780	3,053,406	8,119,664
2011	5,359,500	3,582,143	8,369,581
2012	9,384,606	4,414,254	8,752,730
2013	7,613,550	4,835,860	7,884,312
2014	10,109,286	6,467,323	9,598,949
2015	7,729,425	5,799,916	9,284,291
2016	10,870,200	6,489,043	8,548,765
2017	9,675,000	6,414,923	9,161,622
2018	12,319,560	5,853,522	10,370,890
2019	12,500,730	5,499,270	8,363,045
2020	11,413,710	5,389,650	8,564,186
2021	13,044,240	9,865,800	8,765,328
2022	11,685,465	9,409,050	8,966,470

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 7.35).

Tabla 7.35.

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 B_0 y MCF, el que depende de cada tipo de tratamiento. El valor por defecto utilizado de B_0 corresponde a 0.025 kg CH_4 /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 7.36. Se puede apreciar que la incertidumbre combinada está asociada principalmente a las incertidumbres de los datos de actividad utilizados.

Tabla 7.36.

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*.

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

Los nuevos cálculos se deben principalmente por el cambio del PCA aplicado en este inventario, utilizando los PCA del AR5, en comparación con el último inventario que se utilizaron los del AR4 (Tabla 7.37).

Tabla 7.37.

Incineración y quema abierta de residuos: comparación entre los totales anuales de los inventarios (kt CO₂ eq)

INGEI	1990	2005	2018
INGEI – 1IBA	137.6	191.0	368.8
INGEI – 1BTR	136.4	189.6	357.6
Diferencia	-1.2	-1.4	-11.3
Diferencia porcentual	-0.9%	-0.8%	-3.2%

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en el 1IBA de Guatemala.

7.6. Otros (CRT 4.E)

Esta categoría no ocurre en el país.

CAPÍTULO 8: NUEVOS CÁLCULOS Y MEJORAS

8.1. Explicación y justificación de los nuevos cálculos

El presente inventario incluye nuevos cálculos en comparación con el último inventario previamente presentado por Guatemala en el primer informe Bienal de Actualización ante la CMNUCC en 2023.

Los nuevos cálculos responden a una multiplicidad de factores vinculados con decisiones técnicas del equipo de inventarios de Guatemala, así como los proveedores de información, 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 8.1 presenta un resumen comparativo respecto a los cambios entre el inventario de la *Segunda Comunicación Nacional* y el presente inventario.

Tabla 8.1.

Resumen de los principales cambios entre el inventario del 1IBA y el inventario del 1BTR.

Tema general	INGEI – 1IBA	INGEI – 1BTR
Metodología y métodos	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	Método Nivel 1 para la producción de cemento, a diferencia del 1IBA que se aplicó el Nivel 2 de las Directrices del IPCC de 2006.
PCA	AR4	AR5
Años	1990-2018 (29 años)	1990-2022 (33 años)
Industria de los metales	Estimación de la <i>producción de hierro y acero</i> utilizando las Directrices del IPCC de 2006.	Estimación de <i>producción de hierro y acero</i> utilizando el <i>Refinamiento 2019</i> de las Directrices del IPCC de 2006.
HFC	Incluidos para la serie de 2005-2018.	Incluidos para la serie 2005-2022 con corrección de revisión del comité del Protocolo de Montreal de los registros de importaciones de mezclas para <i>refrigerantes y aire acondicionado</i> .
Perturbaciones en tierras forestales	Estimación de las emisiones por incendios forestales utilizando el sistema de INAB (SIFGUA) para la serie completa (1990-2018)	Estimación de las emisiones por incendios forestales utilizando el sistema de INAB (SIFGUA) para la serie de 1990 a 2015. Para la serie 2016 a 2022 con nueva metodología de monitoreo satelital de incendios forestales (cicatrices de fuego)

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

8.2. Implicancias de los nuevos cálculos en el inventario

Los nuevos cálculos realizados tuvieron cambios poco relevantes en los GEI reportados en el presente inventario en comparación con el inventario anterior. Como se presenta en la Tabla 8.2 y Figura 8.1, para los tres años comparados se presentan cambios con menos del 1 %, a pesar de los cambios en los PCA, sin embargo, esto se puede explicar con la incidencia de los gases en el balance nacional, teniendo casi un 80 % solo de emisiones de CO₂.

Tabla 8.2.

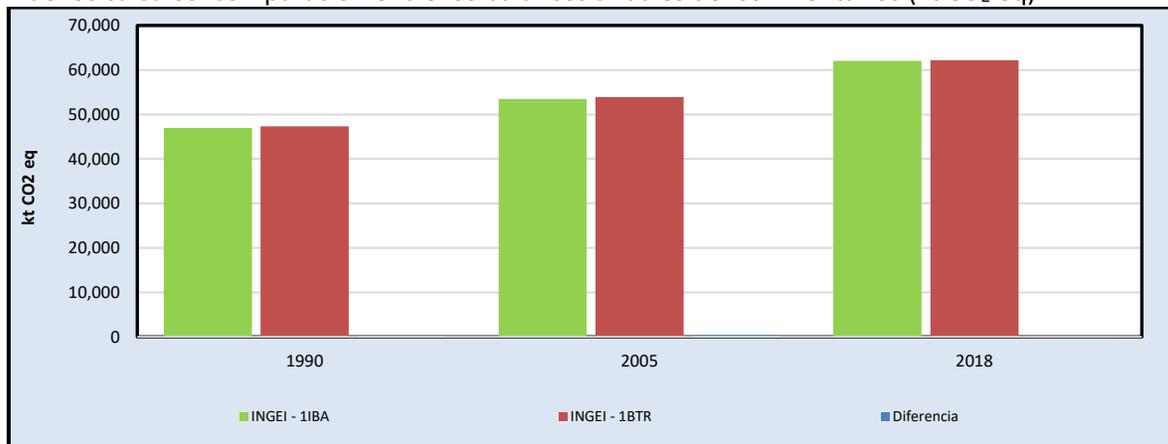
Nuevos cálculos: comparación entre los balances anuales de los inventarios (kt CO₂ eq)

INGEI	1990	2005	2018
INGEI – 1IBA	46,953.9	53,483.2	62,058.6
IGEI – 1BTR	47,315.2	53,885.7	62,191.1
Diferencia	361.3	402.5	132.5
Diferencia %	0.8%	0.8%	0.2%

Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en el 1IBA de Guatemala.

Figura 8.1.

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 el 1IBA 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.

8.3. 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 8.3). 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 8.3.

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.

Sector	Potenciales mejoras identificadas
	<ul style="list-style-type: none"> • 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.
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.

Sección II: seguimiento de los progresos alcanzados en la aplicación y el cumplimiento de la NDC de Guatemala.

Informe de avances en la implementación y seguimiento de la NDC 2022 de Guatemala

CAPÍTULO 1. CIRCUNSTANCIAS NACIONALES Y ARREGLOS INSTITUCIONALES

1.1. Antecedentes de la NDC de Guatemala

En la 19ª Conferencia de las Partes (COP) de la Convención Marco de Naciones Unidas (CMNUCC), ejecutada en Varsovia, Polonia a finales de 2013, se invitó a todas las Partes a iniciar o intensificar sus esfuerzos internos para establecer sus contribuciones “previstas” determinadas a nivel nacional (iNDCs, por sus siglas en inglés), de manera que pudieran adoptar un protocolo u otro instrumento legal bajo la CMNUCC para el período post 2020, aplicable a todas las partes. Este acuerdo posterior fue el Acuerdo de París, firmado por las partes a finales de 2015 en la COP21, y que entró en vigor en 2016, cuando la mayoría de las Partes lo habían ratificado.

Guatemala ha reafirmado y actualizado sus compromisos ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) bajo este nuevo mecanismo mediante la presentación de su Contribución Nacionalmente Determinada (NDC, por sus siglas en inglés). Inicialmente, Guatemala presentó su NDC en 2015, basándose en la Política Nacional de Cambio Climático (MARN, 2009a), la Ley Marco de Cambio Climático y el Plan Nacional de Desarrollo K’atun: Nuestra Guatemala 2032 (CONADUR, 2014). Desde entonces, el país ha avanzado en sus esfuerzos hacia la implementación de acciones para alcanzar las metas propuestas para mitigación y las prioridades de adaptación definidas, como la actualización en 2022, que actualizó su NDC para mejorar la claridad de las metas y fortalecer sus compromisos.

En términos de mitigación, Guatemala mantiene su objetivo de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en un 11.2% para 2030 en comparación con un escenario tendencial actualizado. Este objetivo se considera "no condicionado", es decir, se logrará con recursos nacionales. Adicionalmente, el país propone una meta "condicionada" que implica una reducción de hasta el 22.6% de las emisiones proyectadas para 2030, sujeta a la obtención de apoyo financiero y técnico internacional. La NDC considera una serie de supuestos para el cumplimiento de estas metas, define un período de aplicación de 2016 a 2030 e identifica como los sectores emisores a *energía, uso de la tierra, cambio en el uso de la tierra y silvicultura, agricultura, residuos y procesos industriales y uso de productos*, alineado con los sectores de reportaje del inventario nacional de GEI.

Reconociendo su vulnerabilidad al cambio climático, Guatemala ha incorporado en su NDC actualizada objetivos de adaptación en sectores clave como *agricultura, ganadería y seguridad alimentaria; zonas marino-costeras; recursos forestales, ecosistemas y áreas protegidas; gestión integrada de recursos hídricos; salud e infraestructura*. Estas acciones buscan fortalecer la resiliencia del país frente a los impactos climáticos.

El Acuerdo de París estableció un ciclo de cinco años para la revisión y comunicación de las NDC y que los países puedan demostrar progreso de acuerdo con las metas propuestas. Los análisis que se han ejecutado tomando en cuenta las metas de todos los países presentadas en sus NDC, muestran que es necesario aumentar la ambición de dichas metas, para lograr estabilizar las concentraciones de GEI y evitar que la temperatura aumente más allá de 1.5 °C. Además, si bien la mayoría de los

países han presentado NDC con objetivos y/ o metas cuantitativas, la mayoría de las NDC carecen de información suficiente que permita evaluar el impacto de mitigación de las medidas y realizar un seguimiento preciso del progreso en la implementación y el logro de las NDC.

Es por lo anterior, que Guatemala ha procedido a revisar los avances en cuanto a su NDC, para mejorar las primeras presentaciones y determinar de qué manera le es factible aumentar sus metas, para contribuir de una manera más ambiciosa a las metas globales propuestas en el Acuerdo de París. El proceso de mejora de la NDC permite aumentar la ambición de mitigación del país y también ofrece una oportunidad para mejorar sus compromisos relacionados con la adaptación, y favorecer una comunicación transparente de las contribuciones.

Para asegurar el cumplimiento de los compromisos establecidos en la NDC, Guatemala ha emprendido un proceso de armonización y articulación de políticas públicas e instrumentos existentes. Por ejemplo, en la segunda versión del Plan de Acción Nacional de Cambio Climático (MARN, 2018), se integraron acciones específicas para garantizar el cumplimiento de la NDC, alineándose también con otros compromisos internacionales como los Objetivos de Desarrollo Sostenible, especialmente el ODS 13 relacionado con la Acción por el Clima.

Con estas iniciativas, Guatemala demuestra su compromiso continuo en la lucha contra el cambio climático, buscando un desarrollo sostenible y resiliente para el país.

1.2. Circunstancias nacionales

1.2.1. Política interior

Guatemala es una república presidencialista, democrática y representativa, según establece la Constitución Política de 1985, reformada en 1993.

El contexto político-institucional actual reposa en la separación de Poderes que consagra la Constitución. El Jefe del Estado es el Presidente de la República, que es elegido por sufragio universal, directo y secreto por un período improrrogable de cuatro años. Tiene que ser ciudadano guatemalteco de origen y mayor de cuarenta años. Ejerce además el mando de las fuerzas armadas como Comandante General del Ejército, sanciona y promulga las leyes y representa internacionalmente al Estado.

- El **Poder Ejecutivo** lo ejerce el Presidente de la República con el Vicepresidente y sus Ministros.
- El **Poder Legislativo** corresponde al Congreso de la República, integrado por 160 diputados. El sistema político y de partidos se caracteriza por la gran volatilidad y fragmentación del espacio político y por la ausencia de estructuras partidarias con base ideológica y vocación de permanencia. En la mayor parte de los casos, los partidos políticos suponen plataformas electorales en torno a un candidato concreto. Así, se da la circunstancia que desde las primeras elecciones democráticas en 1986 ningún partido en el gobierno ha logrado la reelección y, en la mayoría de los casos, dichos partidos desaparecen o languidecen tras el ejercicio del poder. Desde 2016 se ha venido produciendo un cambio en la composición de las formaciones políticas integrantes del Legislativo guatemalteco, en gran medida por la

modificación legislativa que prohíbe el transfuguismo y cuya entrada en vigor se produjo dicho año.

- El **Poder Judicial** es independiente, siendo su órgano máximo la Corte Suprema de Justicia integrada por 13 Magistrados, elegidos por el Congreso de la República por un período de 5 años. La Presidencia de la Corte es por un año, por elección de los propios magistrados.

1.2.2. Perfil demográfico

Según el censo de 2018, su población era de 16,346,950 habitantes, lo que da como resultado una densidad poblacional de aproximadamente 150 personas por kilómetro cuadrado. El español es el idioma oficial, pero Guatemala se distingue por su riqueza lingüística y cultural al reconocer 22 idiomas mayas, así como el garífuna y el xinka, que representan las raíces multiculturales y multiétnicas de su población. Esta diversidad lingüística refleja la herencia ancestral y la importancia de los pueblos indígenas en la identidad nacional, destacando al país como un mosaico de tradiciones y culturas únicas en la región (INE, 2018). Para 2022 se estima que habían 17,357,886 habitantes según un estudio del MINEX.

Por grupos de edad la concentración se encuentra en los grupos de 0 a 14 y de 15 a 29 años, más del 60% de la población se encuentra en esas edades tanto los hombres como en las mujeres con excepción del Pueblo Garífuna que en las mujeres presenta porcentaje de 57% en ese grupo de edad.

Según los últimos análisis del INE (2021), Guatemala es un país con una diversidad cultural y una composición poblacional que la hace una nación incomparable, en ella habitan 5 pueblos diferentes, el pueblo Maya, Garífuna, Xinka, Mestizo/Ladino y Afrodescendiente que aportan al desarrollo nacional, mujeres y hombres de estos pueblos trabajan desde el mercado laboral o desde sus hogares generando bienes y servicios necesarios para la subsistencia.

En un estudio reciente realizado por el MINEX en 2024, indica que Guatemala, con una densidad poblacional de 159 habitantes por kilómetro cuadrado en 2023, refleja un crecimiento constante en su población, que aumentó un 1.5% en 2022. A pesar de estos avances demográficos, el país enfrenta desafíos en educación, como una tasa de analfabetismo del 18.5% en 2021. La esperanza de vida promedio en 2023 es de 74.3 años, lo que indica mejoras en salud pública y condiciones de vida, aunque aún persisten retos para incrementar el Índice de Desarrollo Humano (IDH), que se ubicó en 0.629, ocupando el puesto 136 de 191 países. En cuanto a las dinámicas poblacionales, la tasa de natalidad en 2022 fue de 21.5 nacimientos por cada 1,000 habitantes, mientras que la tasa de fertilidad se mantuvo en 2.4 hijos por mujer, reflejando una transición hacia patrones demográficos más modernos en el contexto de América Latina.

1.2.3. Perfil geográfico

La República de Guatemala está situada en el Istmo Centroamericano, entre los 14° y los 18° de latitud norte y los 88° y 92° de longitud oeste. Tiene fronteras al norte con México (960 km), al oeste con Belice (266 km), al este con el Mar Caribe (148 km) y Honduras (256 km), al sudoeste con El Salvador (203 km) y al sur con el Océano Pacífico (254 km). Ocupa una extensión de 108,889 km², de los que 2,500 km² corresponden a ríos y lagos. Guatemala es llamado “el país de la eterna primavera” por lo poco pronunciado de los cambios de temperatura durante todo el año. La

temperatura media de la ciudad capital es de 18° centígrados. Mientras que la temperatura media máxima se sitúa en 24.8°C y la media mínima en 12.9°C.

El relieve es marcadamente montañoso, en un 60 % de su superficie, variando desde el nivel del mar hasta 4,211 metros sobre el nivel del mar. La Sierra Madre da origen al perfil montañoso del país, que se origina en el extremo noroeste y se bifurca en dos ramales: uno en dirección noreste formando la Cordillera de Los Cuchumatanes, la Sierra Chamá y la Sierra de Santa Cruz, y el otro en sentido paralelo al litoral del Pacífico, a lo largo del cual se ubican los principales volcanes que caracterizan la orografía guatemalteca. Hacia el norte de la Sierra de Chamá se extienden las tierras bajas de Alta Verapaz y la planicie de El Petén. Hacia el sur y paralela al mar se desarrolla la estrecha franja costera del Pacífico (40 km de ancho en promedio), de suave pendiente (1 % a 5 %), cuyos suelos agrícolas son los más fértiles del país. La parte montañoso central con picos de hasta 4,000 m alberga los valles del Altiplano (1,500 a 2,000 m) y también las principales ciudades, entre ellas, la Capital de Guatemala.

La cobertura forestal en Guatemala se compone de diversos tipos de bosques, incluyendo bosques de coníferas, bosques latifoliados, bosques mixtos, bosque seco, manglares, guamiles (bosques secundarios), humedales y matorrales. Entre ellos, el bosque latifoliado es el tipo de bosque más predominante en el país, cubriendo un área de 2,754,534 hectáreas. Es importante destacar que los ecosistemas en las zonas marino-costeras representan una categoría especial, ya que no se incluyen en la clasificación de zonas de vida. Estos ecosistemas engloban una fusión de áreas terrestres, marinas y otros ecosistemas lacustres, lo que implica una influencia directa de los procesos terrestres en los procesos oceánicos.

1.2.4. Perfil económico

Guatemala, con una renta per cápita nominal de 5,473 dólares en 2023, refleja un nivel de ingresos que la ubica como una economía de ingresos medios-bajos según las clasificaciones internacionales. Sin embargo, este indicador económico promedio no logra captar la amplia desigualdad que caracteriza al país, evidenciada por un coeficiente de Gini de 48.3 en 2021, uno de los más altos de América Latina. Este índice mide la distribución de los ingresos, donde un valor de 0 representa igualdad perfecta y 100 desigualdad total, señalando que Guatemala enfrenta importantes brechas económicas y sociales. Estas disparidades se ven reflejadas en el acceso desigual a recursos, servicios básicos como educación y salud, y oportunidades de desarrollo, especialmente en las áreas rurales y entre las comunidades indígenas. Aunque el país muestra un crecimiento económico moderado en los últimos años, el desafío radica en implementar políticas inclusivas que fomenten una distribución más equitativa de la riqueza y reduzcan las desigualdades estructurales que limitan su desarrollo sostenible.

La economía guatemalteca mantiene una fuerte dependencia de la estadounidense, ya que casi un tercio de sus exportaciones tienen como destino ese país, además de ser la principal fuente de inversión extranjera directa (IED) y remesas. Estas últimas han contribuido a mitigar el impacto de la pandemia en la economía nacional, aunque también representan un factor de vulnerabilidad.

Gracias a esta dinámica, Guatemala se ha posicionado como una de las economías menos afectadas de la región por la crisis sanitaria. En 2020, el PIB solo registró una contracción del 1.8%, una caída mucho menor en comparación con el promedio del 8% en Iberoamérica y el Caribe. Posteriormente,

el país experimentó un crecimiento del 8% en 2021 (el más alto en cuatro décadas) y del 4% en 2022.

Varios factores han respaldado este desempeño, entre ellos la estabilidad macroeconómica, que ha permitido mayor flexibilidad en la gestión económica; la menor dependencia del turismo; y el peso significativo del sector primario, que aporta más del 10% del PIB. Incluso la alta informalidad ha jugado un papel en la resiliencia del país.

El consumo privado ha sido impulsado por el constante crecimiento de las remesas, que ya representan más del 19% del PIB, superando el peso de las exportaciones. En 2023, el crecimiento económico se situó por encima del 3%, a pesar de la incertidumbre política, aunque el Banco de Guatemala ajustó a la baja sus proyecciones.

En la Tabla 1.1 se puede observar el Producto Interno Bruto por sectores de actividad, sus fluctuaciones desde 2020 a 2023 de forma desagregada.

Tabla 1.1

PIB por sectores de actividad y por componentes del gasto

POR SECTORES DE ORIGEN	2020 P/	2021 P/	2022 P/	2023 P/
Agricultura, ganadería, silvicultura y pesca	9.4%	9.9%	9.3%	9.3%
Explotación de minas y canteras	0.5%	0.5%	0.6%	0.6%
Industrias manufactureras	13.8%	14.1%	14.0%	14.1%
Suministro de electricidad, agua y saneamiento	2.4%	2.4%	2.3%	2.2%
Construcción	5.2%	5.3%	5.5%	5.7%
Comercio y reparación de vehículos	19.2%	19.6%	20.0%	20.7%
Transporte y almacenamiento	3.0%	2.8%	2.9%	3.1%
Actividades de alojamiento y de servicio de comidas	3.1%	2.4%	2.6%	2.8%
Información y comunicaciones	3.9%	3.8%	3.7%	3.4%
Actividades financieras y de seguros	3.9%	3.9%	3.9%	3.8%
Actividades inmobiliarias	8.3%	8.5%	8.1%	7.8%
Actividades profesionales, científicas y técnicas	2.4%	2.4%	2.4%	2.4%
Actividades de servicios administrativos y de apoyo	3.2%	3.1%	3.3%	3.4%
Administración pública y defensa	4.2%	4.4%	4.1%	4.0%
Enseñanza	4.7%	4.8%	4.5%	4.3%
Salud	2.6%	2.7%	3.0%	2.8%
Otras actividades de servicios	4.0%	3.6%	3.6%	3.5%
Impuestos netos de subvenciones a los productos	6.1%	5.7%	6.2%	6.0%
TOTAL	100%	100%	100%	100%

Fuente: Oficina de Información Diplomática del Ministerio de Asuntos Exteriores de España, 2024, con base en información del Banco de Guatemala.

1.2.5. Perfil climático

Debido a sus características biofísicas y posición geográfica, Guatemala se distingue por su alta variabilidad climática a escala temporal y espacial. Los dos océanos que rodean la región influyen fuertemente en la regulación y dinámica del clima, especialmente de la lluvia. A su vez, las dinámicas de las teleconexiones¹¹ afectan la región centroamericana, siendo una de las causas más relevantes de la variación del sistema climático del país (Bardales Espinoza et al., 2019; Méndez et al., 2010).

¹¹ Asociaciones de variables climáticas causadas por estructuras espaciales como la variabilidad océano-atmósfera, las corrientes y trayectorias de las depresiones (Agencia Estatal de Meteorología, 2018).

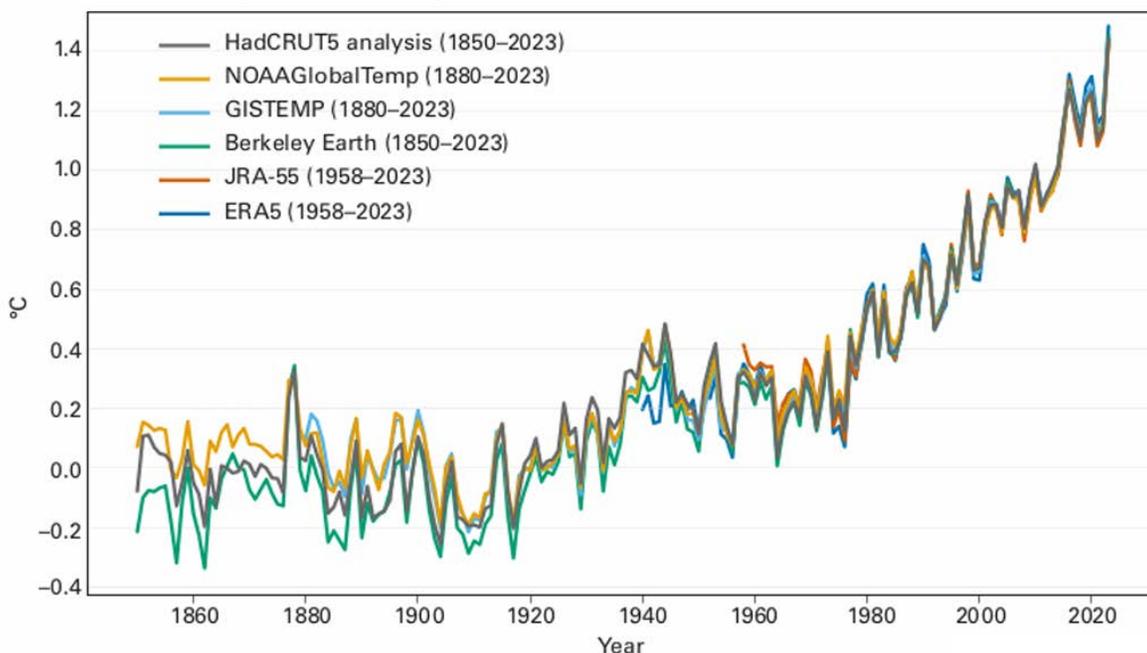
Entre las teleconexiones con mayor influencia en la región destacan El Niño Oscilación Sur (ENOS) y la teleconexión del Atlántico Tropical Norte (ATN).

El ENOS se produce por las variaciones anuales y estacionales de la temperatura superficial del mar, las lluvias convectivas, la presión del aire superficial y la circulación atmosférica en el océano Pacífico ecuatorial. Se distinguen tres fases de esta teleconexión, que se determinan por cambios en la temperatura de la superficie oceánica con respecto al promedio para el periodo de referencia de 1971-2000. Por tanto, existe una fase fría, también conocida como «la Niña», una fase neutra (sin cambios significativos) y una fase cálida, conocida como «el Niño»

Según el informe del estado del clima en Guatemala, en el año 2023 se registra como el más cálido en el periodo de 174 años registrado por seis conjuntos de datos (Figura 1.1). Las concentraciones de gases de efecto invernadero y el cambio de las condiciones climáticas de La Niña a El Niño pudieron haber contribuido con el incremento de temperatura global para el 2023.

Figura 1.1

Anomalías de la temperatura media global anual desde 1850 hasta 2023.



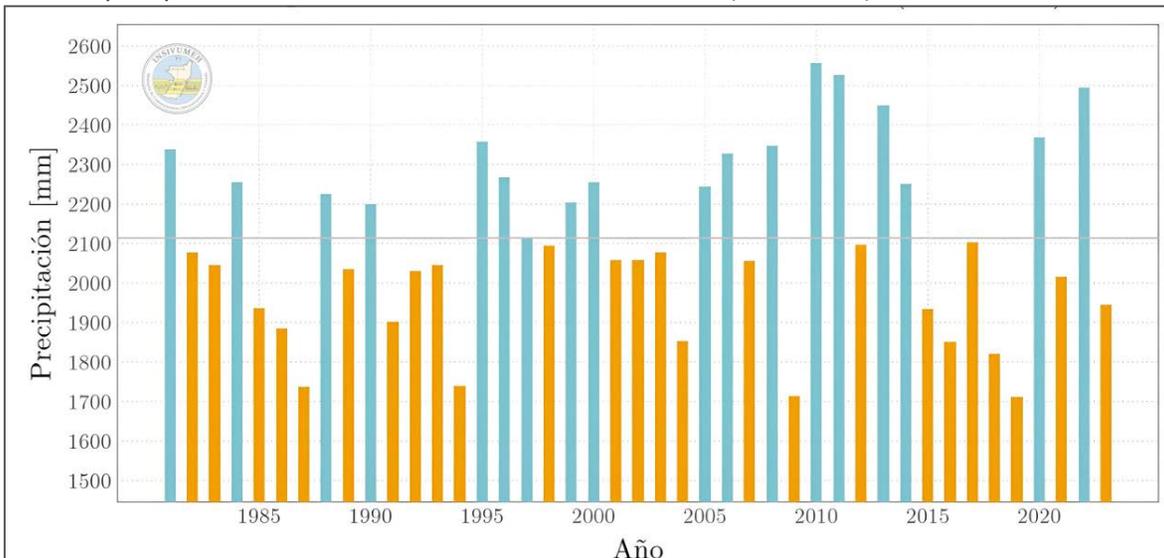
Fuente: Estado del Clima del INSIVUMEH, 2023, con base en información de la Organización Meteorológica Mundial.

El año 2023 en particular se caracterizó por ser un año seco en cuanto a precipitación, con una precipitación acumulada anual equivalente al 92% del valor promedio del periodo de referencia 1991-2020. En cuanto a temperatura, el año 2023 fue el año más cálido dentro de la serie de años analizada, con una anomalía de 1.14°C por encima del promedio anual del periodo de referencia.

En la Figura 1.2 se muestra el acumulado anual de precipitación en Guatemala desde 1981 hasta 2023. Con respecto a las anomalías de precipitación, entre los años 1981 y 2023 se observó en el 2010 el valor máximo de acumulado de precipitación con un valor superior a los 2500 mm mientras que en el 2009 se presentó el valor mínimo con 1714.4 mm de precipitación acumulada en ese año. En el 2023 se obtuvo un acumulado anual de más de 1900 mm. Este valor está por debajo de la normal correspondiente a la climatología 1991-2020 utilizando los datos de ENACTS.

Figura 1.1

Serie de precipitación media anual acumulada en Guatemala (1981-2023)



Fuente: Estado del Clima del INSIVUMEH con base en información de los datos de ENACTS, 2023.

1.3. Instrumentos de política y arreglos institucionales para la NDC

El MARN es la entidad rectora designada para este tema derivado de la aplicación del decreto 7-2013 *Ley Marco de Cambio Climático* donde mandata presidir la secretaría del Consejo Nacional de Cambio Climático, además de las funciones que por ley le mandata su Reglamento Orgánico Interno. El MARN es también el punto focal político y técnico del país ante la CMNUCC. Para cumplir con esta función, cuenta con un Viceministerio de Recursos Naturales y Cambio Climático bajo el cual opera la Dirección de Cambio Climático (Acuerdo Gubernativo 73-2021, 2021). La principal función del Viceministerio es velar porque se formulen e implementen las políticas de recursos naturales y cambio climático en conjunto con las instituciones que tengan competencia legal. Por su parte, la Dirección de Cambio Climático se encarga de diseñar e implementar planes, programas y proyectos en atención a la ley marco de cambio climático y supervisar el cumplimiento de convenios en esta materia (Acuerdo Gubernativo 73-2021, 2021. Artículo 25). La Dirección cuenta con cinco departamentos: 1) Ciencia y Métrica del Cambio Climático, 2) Vulnerabilidad y Adaptación al Cambio Climático y 3) Mitigación al Cambio Climático, 4) Prevención del Riesgo ante los efectos del Cambio Climático, y 5) Lucha contra la degradación de tierras, la desertificación y la sequía.

Existen diversos mecanismos e instrumentos en Guatemala que han propiciado la coordinación interinstitucional y el seguimiento de las acciones de cambio climático implementadas en el país; aunque no todos responden directamente a la NDC, existen como instrumentos habilitantes de las acciones que se deben realizar en el marco de la NDC.

1.3.1. Política Nacional de Cambio Climático (2009)

La *Política Nacional de Cambio Climático de Guatemala* es un instrumento estratégico diseñado para abordar los desafíos que el cambio climático representa para el país, con énfasis en reducir la vulnerabilidad de las poblaciones y ecosistemas, así como en promover acciones de mitigación y adaptación integradas al desarrollo sostenible. Entre sus principales objetivos se encuentran la

reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) mediante la adopción de tecnologías limpias y prácticas sostenibles en sectores clave como la energía, la agricultura y el transporte; el fortalecimiento de la capacidad de adaptación frente a los impactos climáticos, priorizando a las poblaciones vulnerables y la protección de ecosistemas estratégicos; y la incorporación de la gestión del riesgo climático en las políticas públicas, con énfasis en sistemas de alerta temprana y planes de contingencia.

Esta es la base de cambio climático a nivel político, explicitando la necesidad de promover acciones que respondan directamente a las necesidades nacionales vinculadas a los efectos de cambio climático, sirviendo como un fundamento legal en el cumplimiento de las metas de la NDC, considerando que estas están vinculadas con las prioridades nacionales de desarrollo.

De esta política surgen otros instrumentos para facilitar el seguimiento y aclarar sectores, actores y acciones necesarias y prioritarias para el país.

1.3.2. Ley Marco de Cambio Climático (Decreto 7-2013)

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* (Decreto 7-2013) es un instrumento legal fundamental que regula y coordina las acciones del país para enfrentar los desafíos del cambio climático, promoviendo un desarrollo sostenible e inclusivo. Su objetivo principal es reducir la vulnerabilidad de las personas, los ecosistemas y los sistemas productivos mediante acciones de adaptación que prioricen las áreas más afectadas. Asimismo, establece mecanismos para mitigar el cambio climático con las responsabilidades para la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero en sectores clave como energía, transporte, agricultura y bosques, e incorpora la gestión del riesgo climático en las políticas públicas. La ley también fomenta la conservación y el manejo sostenible de los recursos naturales, con énfasis en la protección de ecosistemas estratégicos para garantizar la resiliencia climática en línea con los principios constitucionales del país. Además, promueve el fortalecimiento institucional y técnico, incentivando la investigación científica, la transferencia de tecnología y la innovación. Este marco legal busca armonizar los compromisos internacionales de Guatemala, como la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), con las necesidades nacionales, integrando la mitigación como contribución mundial, con la adaptación priorizando el desarrollo y el bienestar de las personas en el país.

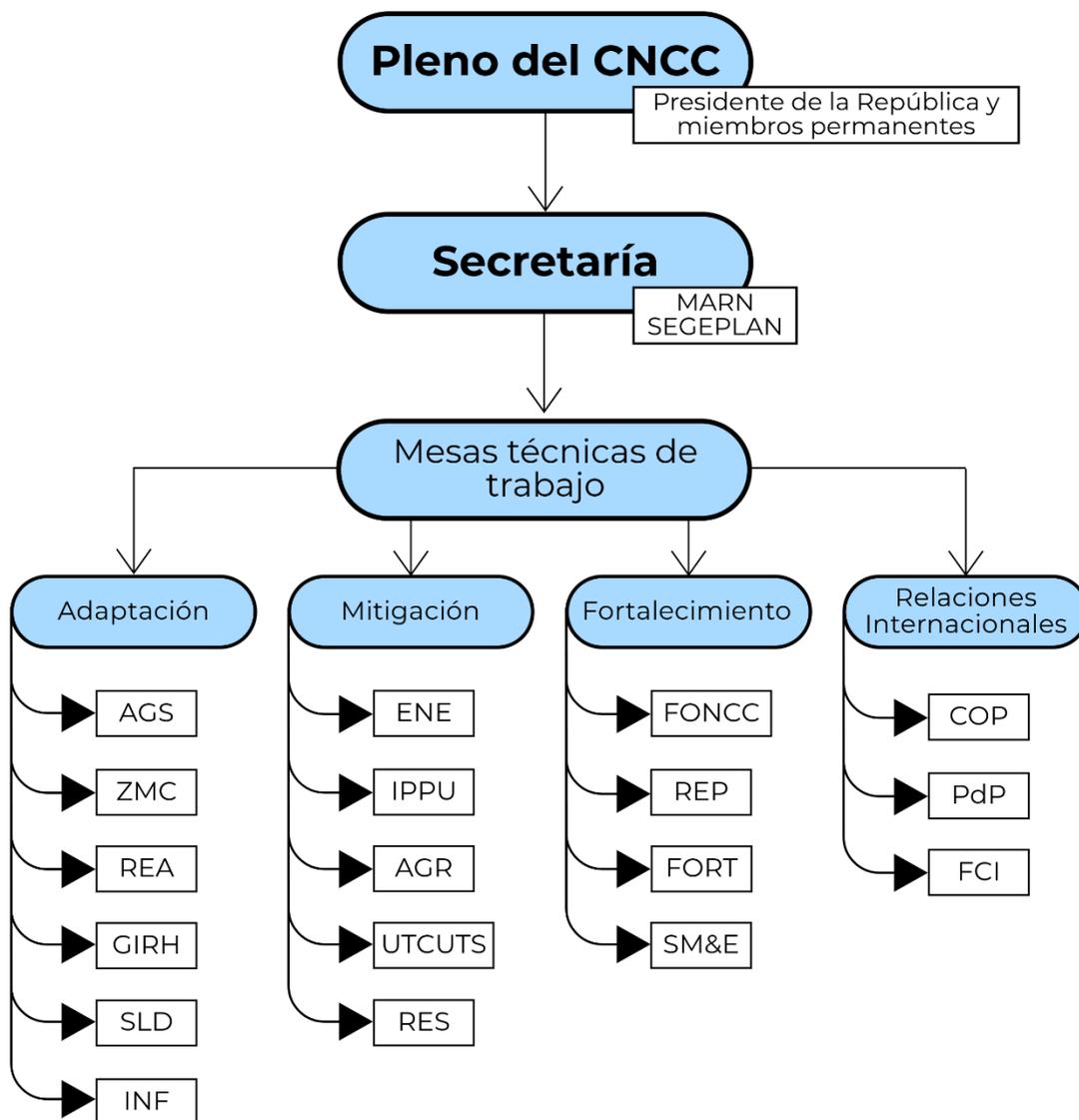
Aunque esta ley fue creada previo a la creación y posterior ratificación nacional del Acuerdo de París, responde ya a requerimientos bajo la CMNUCC, por lo que ya mantiene el mismo marco conceptual internacional para unificar esfuerzos y facilitar la comunicación internacional a través de informes presentados ante la Convención.

Dicho lo anterior, no es un instrumento creado específicamente para dar seguimiento a la NDC, pero funciona como una justificación para el involucramiento de todos los sectores del país; así, con componentes de la ley como el Consejo Nacional de Cambio Climático, el cual es el órgano máximo para la toma de decisiones en materia y presidido por el Presidente de la República, como se mencionó en el capítulo I, sobre circunstancias nacionales, se han abordado temas más nuevos y requerimientos actualizados que han sido necesarios por los cambios y mejoras en los compromisos como país parte de la CMNUCC y firmante del Acuerdo de París, incluyendo la NDC, estableciéndose una nueva estructura del Consejo con mesas de trabajo mejor estructuradas para facilitar la

comunicación y aprobación de propuestas (Figura 1.3.). Esta nueva estructura facilita la comunicación y ayuda a respaldar la acción climática para dar cumplimiento a los compromisos internacionales actuales y la priorización de las acciones para mejorar la calidad de los ciudadanos con la reducción de la vulnerabilidad y mejora de la adaptación.

Figura 1.2

Distribución de las Mesas Técnicas de Trabajo del Consejo Nacional de Cambio Climático.



Fuente: elaboración propia del Depto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, DCC-MARN, con base en la estructura propuesta por la Secretaría y aprobada por el CNCC.

Nota: el significado de las siglas está descrito en la sección de siglas.

En esta nueva estructura, se simplificaron las mesas existentes, manteniendo los actores establecidos por ley e integrando los sectores prioritarios en la NDC, tanto de adaptación como de mitigación, así como otros instrumentos de monitoreo, sistemas y mecanismos de financiamiento, reporte y temas internacionales. Fue un caso de éxito en incluir los nuevos compromisos y

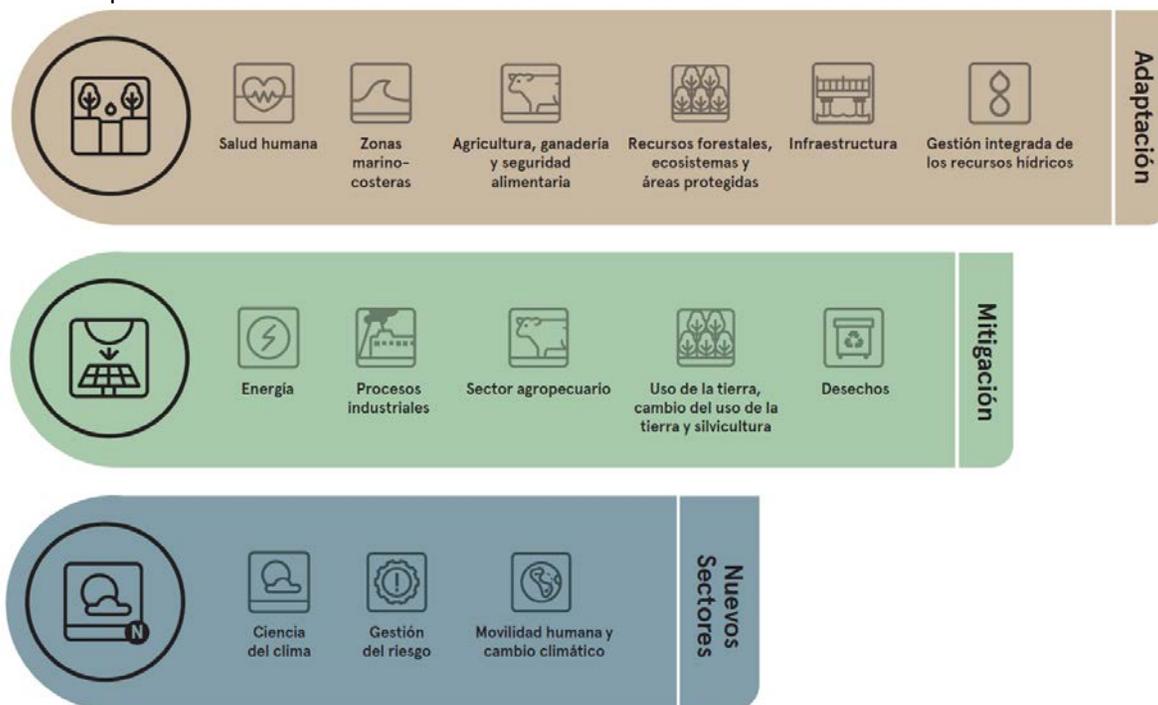
responsabilidades del Acuerdo de París bajo un mandato constitucional, al ser la palabra e interés del presidente del país para establecer acuerdos interinstitucionales.

1.3.3. Plan de Acción Nacional de Cambio Climático

El *Plan de acción nacional de cambio climático* (PANCC) tiene la finalidad de orientar a la institucionalidad pública y a los diferentes sectores del país en la implementación de acciones enfocadas al cumplimiento de los objetivos y resultados plasmados en la ley marco de cambio climático. Este considera los componentes de adaptación y mitigación en sectores prioritarios para cada uno; con respecto a los sectores de mitigación, se tomaron los mismos del inventario nacional de gases de efecto invernadero para facilitar la vinculación de las acciones y mejorar el reporte alineado con el INGEI. En la Figura 1.4 se puede observar la división de sectores según el PANCC. Este instrumento fue formulado en 2016, y actualizado en 2018. Actualmente, se está trabajando en una actualización de este Plan, con una revisión de implementación finalizada para definir las prioridades según el avance.

Figura 1.3

Sectores priorizados en la versión actualizada del Plan de Acción Nacional de Cambio Climático.



Fuente: Primer Informe Bienal de Actualización de Guatemala, con base en el PANCC, 2023.

A través de un acuerdo ministerial (AM 05-2016) se establecieron mesas sectoriales de trabajo con base a estos sectores, definiendo sinergias entre sectores similares para facilitar la coordinación y reducir la demanda de reuniones y trabajo para la recopilación de información técnica correspondiente a los diversos actores.

1.3.4. Hoja de Ruta para la actualización de la NDC actualizada de Guatemala

El principal objetivo de este instrumento es definir el proceso de implementación de la NDC actualizada de Guatemala mediante una hoja de ruta que establece, de manera detallada, los pasos y actividades necesarias para alcanzar las metas fijadas en cada sector. Esta planificación cubre el período 2023-2025, durante el cual se espera que las instituciones y actores clave trabajen de forma coordinada para asegurar avances concretos tanto en la reducción de emisiones como en la adaptación al cambio climático.

Las acciones intermedias, establecidas de manera anual, y las acciones diseñadas para alcanzarlas, han sido definidas con base en el documento de la NDC actualizada. Sin embargo, diversos actores han señalado que, si bien estas metas reflejan un alto nivel de ambición climática, su cumplimiento representa un reto significativo debido a factores como limitaciones técnicas, financieras e institucionales.

Para fortalecer la gestión de la implementación, se han identificado los responsables de cada meta, tanto en términos de ejecución como de reporte, asignando además un ente coordinador que facilite la articulación entre los diferentes sectores. La identificación de estos actores resulta fundamental para garantizar un seguimiento efectivo del avance de las medidas, así como para fortalecer la labor de coordinación del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN), en su rol de ente rector en materia de cambio climático en el país.

A continuación, en la Tabla 1.2 se presenta un ejemplo de la estructura de las acciones anuales establecidas en la Hoja de Ruta que se utilizó de referencia para el monitoreo de avances de las acciones.

Tabla 1.1

Metas anuales de las acciones del sector *energía* para la categoría de transporte.

<i>Medida NDC</i>	<i>Meta 2023</i>	<i>Meta 2024</i>	<i>Meta 2025</i>
ENE-2.2: Movilidad sostenible – biocombustibles (mezcla con etanol 10%)	Mesas de trabajo de uso de biocombustibles constituidas	Inicio del uso de la mezcla E10	
	Implementa: DGH-MEM	Implementa DGH-MEM y Gremiales	
	Reporta: DGP-MEM	Reporta: DGP-MEM	
	Plan de comunicación sobre biocombustibles en implementación		
	Implementa: MEM y Gremiales		
	Reporta: Unidad de Comunicación Social MEM		
	Alcanzar acuerdos técnicos y legales sobre el uso de	Marco legal para uso de biocombustibles establecido	

Medida NDC	Meta 2023	Meta 2024	Meta 2025
	biocombustibles entre actores vinculados		
	Implementa: MEM DGH, DGE y UGSA; Gremiales (AGEG, APAG, ACR, ASIM, AIDVA)	Implementa: MEM y Gremiales	
	Reporta: DGH-MEM	Reporta: DGH-MEM, Gremiales	

Fuente: elaboración propia del dpto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, con base en la Hoja de Ruta para la Implementación de la NDC actualizada (2023).

La estructura de metas anuales se estableció para cada acción sectorial de la NDC, funcionando como guía tanto para la implementación de las instituciones rectoras, como para el monitoreo y reporte.

1.3.5. Mecanismos con consideraciones de género y pueblos indígenas

Guatemala ratificó el Convenio 169 de la Organización Internacional del Trabajo sobre Pueblos Indígenas y Tribales en Países Independientes (Decreto 9-96, 1996), estableciendo un marco internacional que garantiza la consulta a los pueblos indígenas cuando se propongan medidas legislativas que puedan afectarles directamente. Según el artículo 6 de este Convenio, el Estado debe llevar a cabo dichas consultas a través de procedimientos adecuados y sus instituciones representativas, permitiendo a estos pueblos definir sus propias estrategias de desarrollo. En este contexto, diversos instrumentos de política han sido elaborados en el país, entre ellos la Estrategia Nacional REDD+, que reconoce el papel clave de los pueblos indígenas en la conservación y gestión de los bosques, fomentando la participación y el aprendizaje mutuo (Indufor, 2017).

Con respecto a género, resalta la Política Nacional de Promoción y Desarrollo Integral de las Mujeres y el Plan de Equidad de Oportunidades (PNPDIM-PEO) 2008-2023 (SEPREM, 2009). Este instrumento se enmarca, a nivel internacional, en la Convención sobre la Eliminación de Todas las Formas de Discriminación Contra la Mujer (CEDAW, por sus siglas en inglés). En este sentido, la Secretaría Presidencial de la Mujer (SEPREM) ha definido una estrategia de seguimiento a dicha convención para el periodo 2018-2021 (SEPREM, 2018).

1.3.5.1. Plan de Acción de Género y Cambio Climático

Este es el principal instrumento vinculante entre género y cambio climático. *El Plan de Acción de Género y Cambio Climático de Guatemala* (PAGcc) es una iniciativa conjunta del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN) y la Secretaría Presidencial de la Mujer (SEPREM), con el apoyo de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN). Este plan busca integrar la perspectiva de género en las políticas y acciones relacionadas con el cambio climático en el país.

Reconociendo que el cambio climático afecta de manera diferenciada a hombres y mujeres, el PAGcc se enfoca en abordar las brechas de género que exacerban la vulnerabilidad de las mujeres,

especialmente aquellas en situación de pobreza. El plan promueve el acceso equitativo y el control sobre los recursos naturales, permitiendo que las mujeres fortalezcan sus capacidades y reduzcan su vulnerabilidad ante los impactos climáticos.

El PAGcc se estructura en torno a cinco temas prioritarios, desarrollados mediante un enfoque género-responsivo e interseccional, asegurando la igualdad de derechos y oportunidades. Su implementación busca garantizar que los compromisos nacionales e internacionales en materia de cambio climático se lleven a cabo de manera inclusiva y equitativa, promoviendo un desarrollo sostenible que beneficie a toda la población guatemalteca.

1.3.6. Sistemas de Monitoreo y transparencia climática

Para el cumplimiento del Acuerdo de París en el contexto del marco de transparencia reforzado, Guatemala ha avanzado en el desarrollo de mecanismos que permitan medir sistemáticamente los procesos, resultados e impactos de las medidas de mitigación y adaptación. Estos subsistemas se agrupan bajo un sistema global de información climática, el Sistema Nacional de Información sobre Cambio Climático (SNICC), el cual debe ser retroalimentado por diversas entidades públicas y privadas del país.

1.3.6.1. Sistema Nacional de Información de Cambio Climático

El SNICC tiene como objetivo coleccionar, sistematizar, analizar y presentar toda la información relacionada con cambio climático a nivel nacional, entre la cual se incluye: ciencia del clima, vulnerabilidad, pérdidas y daños; adaptación al cambio climático; emisiones y absorciones de GEI; y medidas de mitigación. Esta información podrá utilizarse para los procesos de planificación sectorial y territorial, el monitoreo y reporte de los avances que presente el país, la programación de la inversión pública y la formulación de políticas públicas e instrumentos de aplicación en materia de cambio climático. Por lo tanto, el SNICC representa el conjunto de datos e información generada y analizada, la gobernanza necesaria para la generación, análisis y reporte de esta información y las plataformas virtuales que la despliegan y la hacen pública para los diferentes usuarios (MARN, 2016).

Por mandato del Acuerdo Ministerial 05-2016, se crearon tres subsistemas de información que están en constante desarrollo, ordenados de esta forma para efectos de funcionamiento (MARN, 2016):

1. Subsistema de información sobre ciencia del clima.
2. Subsistema de información sobre la vulnerabilidad, la adaptación al cambio climático y cuantificación de pérdidas y daños.
3. Subsistema de información de emisiones y absorciones de GEI.

Sin embargo, dado el contexto del marco de transparencia reforzado, se ha creado un cuarto subsistema: el MRV del apoyo, que está siendo desarrollado a través de varios proyectos.

La gestión de la información que alimenta el Sistema Nacional de Información sobre Cambio Climático (SNICC) y sus subsistemas es llevada a cabo por un comité técnico asesor compuesto por la Dirección de Informática, la Dirección de Análisis Geoespacial y Cambio Climático, y la Dirección de Cambio Climático del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN). En este proceso, el MARN colabora con otras entidades gubernamentales para la generación, análisis y

validación de la información, aprovechando la experiencia que estas instituciones puedan tener en áreas específicas. Además, se busca apoyo adicional de la academia, el sector privado, entidades no gubernamentales y la sociedad civil para la generación, sistematización y validación de la información. Es importante contar con la participación de estas diversas partes interesadas para asegurar la calidad y la diversidad de la información recopilada.

A nivel internacional, se cuenta con el apoyo técnico permanente por parte de la Red Latinoamericana de Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero (RedINGEI), en donde los expertos han brindado apoyo al país en los procesos de aseguramiento de calidad del inventario mediante una revisión por pares, además de recibir constantemente apoyo en el fomento de la capacidad nacional. Además, el país cuenta con apoyo del CBIT-GSP, que es un grupo de apoyo para implementar el MTR del Acuerdo de París; es financiado por el GEF, implementado por UNEP y ejecutado por UNEP-CCC. Este grupo de apoyo ha servido como un mecanismo para fortalecer capacidades institucionales a través de apoyos directos a Guatemala y talleres regionales en diversas temáticas, incluido el proceso de monitoreo y reporte de avances de NDC.

CAPÍTULO 2. DESCRIPCIÓN DE LA NDC DE GUATEMALA

La NDC actualizada de Guatemala y la Hoja de Ruta para implementarla se construyeron mediante procesos participativos con actores relevantes vinculados con cada sector, priorizando aquellos que implementan acciones sectoriales que contribuyen al logro de las metas. Durante todo el proceso se procuró contar con la participación de la Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia (SEGEPLAN) y del Ministerio de Finanzas Públicas (MINFIN) para asegurar lo propuesto por la NDC fuera coherente con la planificación institucional y sus presupuestos.

En el caso de la actualización, para el componente de mitigación se realizó una ronda de talleres para tres sectores de mitigación: a) Uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura (UTCUTS); b) Agricultura; y c) Residuos. El sector de Energía definió sus metas y medidas directamente desde el Ministerio de Energía y Minas (MEM), como ente rector en el tema, con acompañamiento del MARN. Además, se abrió un espacio de diálogo con el sector privado para determinar cómo las acciones de adaptación y mitigación que se implementan desde lo privado se pueden reflejar en la NDC.

La Hoja de Ruta para implementar la NDC se conforma por el conjunto de las rutas de implementación de cada sector. La construcción participativa de cada ruta sectorial se llevó a cabo en dos a tres sesiones de trabajo con funcionarios del MARN, del o los entes rectores de cada sector y los actores que están directamente vinculados a la implementación de acciones que contribuyen al logro de las metas. Dependiendo de la dinámica de cada sector y el avance en cada sesión se fueron definiendo las sesiones que eran necesarias hasta completar el trabajo.

Guatemala, en el ejercicio de monitoreo de avances en la implementación de la NDC definió los indicadores clave, así como la meta a la cual se dará un seguimiento de cumplimiento, considerando que el principal mecanismo de verificación es el inventario de gases de efecto invernadero, al ser una reducción de emisiones con base a una proyección tendencial.

2.1. Meta global de la NDC

Guatemala, en sus esfuerzos para reducir su contribución al cambio climático y su vulnerabilidad ante estos efectos, actualizó en el 2021 su Contribución Determinada a nivel Nacional (NDC) y la presentó ante la CMNUCC en el 2022. En el proceso de actualización, a través de un proceso ampliamente participativo, se elaboraron medidas de mitigación específicas para cumplir con el compromiso de reducir las emisiones de GEI proyectadas al 2030. En particular, el país identificó medidas concretas para reducir el 8.32% de las emisiones proyectadas. Al mismo tiempo, Guatemala reconoció la adaptación como prioridad nacional y estableció metas para reducir la vulnerabilidad del país en sectores priorizados, en concordancia con el Plan de Acción Nacional sobre el Cambio Climático (MARN y PNUD, 2023). Con la actualización se definieron nuevas acciones para cumplir con el compromiso de reducción de emisiones bajo dos circunstancias: no condicionalmente con una reducción de 11.2 % bajo el escenario tendencial a 2030, y condicionalmente con una reducción de 22.6 % bajo el mismo escenario tendencial. En la Tabla 2.1 se describe el tipo de meta a la cual se dará un monitoreo de cumplimiento general.

Tabla 2.1

Descripción de la NDC con respecto al indicador de seguimiento de los progresos alcanzados.

Meta	Porcentaje de reducción con base en el escenario tendencial BAU proyectado para 2030.	<i>Meta no condicionada:</i> reducción del 11.2% de las emisiones del escenario tendencial.
		<i>Meta condicionada:</i> reducción del 22.6% de las emisiones del escenario tendencial.
Tipo de meta	Meta de gases de efecto invernadero, cuantitativa	
Año de cumplimiento	Cumplimiento a 2030	
Año base	Año base: 2015 Inicio de la implementación: 2016	
Periodos de implementación	2016-2021, 2022-2025 y 2026-2030	
Alcance y cobertura	Para implementación a nivel nacional, cubriendo cuatro de los cinco sectores económicos: <i>Energía, Agricultura, UTCUTS y Residuos</i> . El monitoreo de reducción de emisiones se considera en CO ₂ eq.	
Enfoques cooperativos (Art. 6)	No se establecieron para la última NDC presentada.	

Fuente: elaboración propia del dpto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, 2024.

De la tabla anterior, es importante aclarar sobre los periodos de implementación, que hacen referencia a los tiempos de actualización de la NDC. En 2015, Guatemala definió su compromiso de reducción de emisiones en la iNDC, sin explicitar las medidas que darán cumplimiento a la meta; esto constituye el primer periodo de implementación (2016-2021). El segundo periodo de implementación (2022-2025) hace referencia a la actualización de la NDC en 2021, la cual inició implementación en 2022 con sectores definidos y acciones específicas, lo cual facilitó el monitoreo de avances. El tercer periodo (2026-2030) se considera con la tercera actualización de la NDC.

El porcentaje de reducción es el indicador clave con el cuál se dará seguimiento a los progresos alcanzados, facilitando la verificación a través del INGEI. Las acciones descritas sectoriales darán cumplimiento a esta meta general.

CAPÍTULO 3. SEGUIMIENTO DE LOS PROGRESOS ALCANZADOS EN LA NDC

Para la NDC de Guatemala, se establece un solo indicador de seguimiento en términos de mitigación; como se presentó en la sección anterior (Tabla 2.1), este indicador responde a la meta general establecida desde la iNDC (primera NDC a partir de 2017), sobre el *porcentaje de reducción de emisiones con respecto a un escenario tendencial BAU proyectado para 2030*. Este indicador es en términos de CO₂ eq y está vinculado al inventario de gases de efecto invernadero, misma razón por la cual los sectores definidos para las acciones que dan cumplimiento a esta meta son los mismos del INGEI. En la Tabla 3.1 se define de forma detallada la información pertinente al indicador seleccionado para la NDC de Guatemala.

Tabla 3.1

Indicador de Guatemala para el seguimiento de los progresos realizados para el cumplimiento de la NDC.

Indicador	% de reducción de las emisiones
Tipo de indicador	Cuantitativo
Unidad de seguimiento	Porcentaje
Descripción del indicador	La reducción de las emisiones es con respecto a un escenario tendencial para 2030; el escenario desarrolla una tendencia sin acciones de reducción de emisiones, por lo que las acciones reflejarán un porcentaje de reducción con respecto a ese escenario para 2030.
Año base	La tendencia se estimó desde 2015 y la implementación para la reducción de emisiones se empezó en 2016.
Método de verificación	El cumplimiento del indicador se contabilizará utilizando el inventario nacional de gases de efecto invernadero, en unidades de CO ₂ eq para establecer el porcentaje de reducción.

Fuente: elaboración propia del dpto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático, 2024.

3.1. Avances del indicador de la NDC de Guatemala

Con respecto a la información de avance reciente, debido a que la meta se estableció a un año objetivo (2030), es difícil definir un nivel de cumplimiento certero al no tener puntos de referencia intermedios ni metas multianuales; esta brecha se identificó específicamente en el ejercicio de monitoreo de avances de la NDC que se realizó durante el 2024. Este monitoreo de avances se realizó a nivel nacional con las instituciones rectoras y los implementadores identificados por el MARN.

El ejercicio constó de talleres con las mesas sectoriales descritas en la sección de *Instrumentos de política y arreglos Institucionales*; estos talleres se enfocaron en consultas sobre avances con base en las metas establecidas en la HdR mencionada anteriormente. Sin embargo, como se puede observar del ejemplo descrito en la Tabla 1.2 de la Sección II del presente informe, las metas anuales para el monitoreo son principalmente actividades habilitantes, que aunque son un avance para alcanzar los objetivos de las acciones, no proporcionan la información necesaria para definir la

reducción de emisiones que implica la implementación, lo que dificulta aún más conocer hasta el momento el nivel de avance de la meta general de la NDC.

Conociendo la limitante expuesta anteriormente, se generó información con base en las proyecciones generadas, comparándolas con las emisiones nacionales del último inventario (2022), lo que sirvió como una orientación de hacia dónde vamos y cómo mejorar en la actualización de la NDC para el presente año.

En la Tabla 3.2 se muestra la comparación de las emisiones proyectadas, tanto del escenario tendencial BAU para 2030, como de la reducción de emisiones esperada con las acciones descritas en la NDC (meta no condicionada), con las emisiones nacionales del inventario 2022, también presentado en este informe. En la tabla se evidencia que, según las emisiones esperadas para 2022, el país se encuentra por debajo del escenario tendencial BAU en un 1.2 % pero por arriba de las emisiones esperadas con la implementación de las acciones de la NDC en un 2.7 %.

Tabla 3.2

Comparación porcentual de las emisiones nacionales con las proyecciones de la NDC actualizada de Guatemala en kt CO₂ eq

<i>Emisiones para el año 2022</i>	Proyectadas con el BAU	Implementando acciones
Inventario nacional	65,161.2	62,618.4
Diferencia	64,382.5	64,382.5
Diferencia porcentual	-778.7	1,764.1
	-1.2 %	2.7 %

Fuente: elaboración propia del dpto. de Ciencia y Métrica de Cambio Climático con base en el INGEI 2022 y la NDC actualizada de Guatemala.

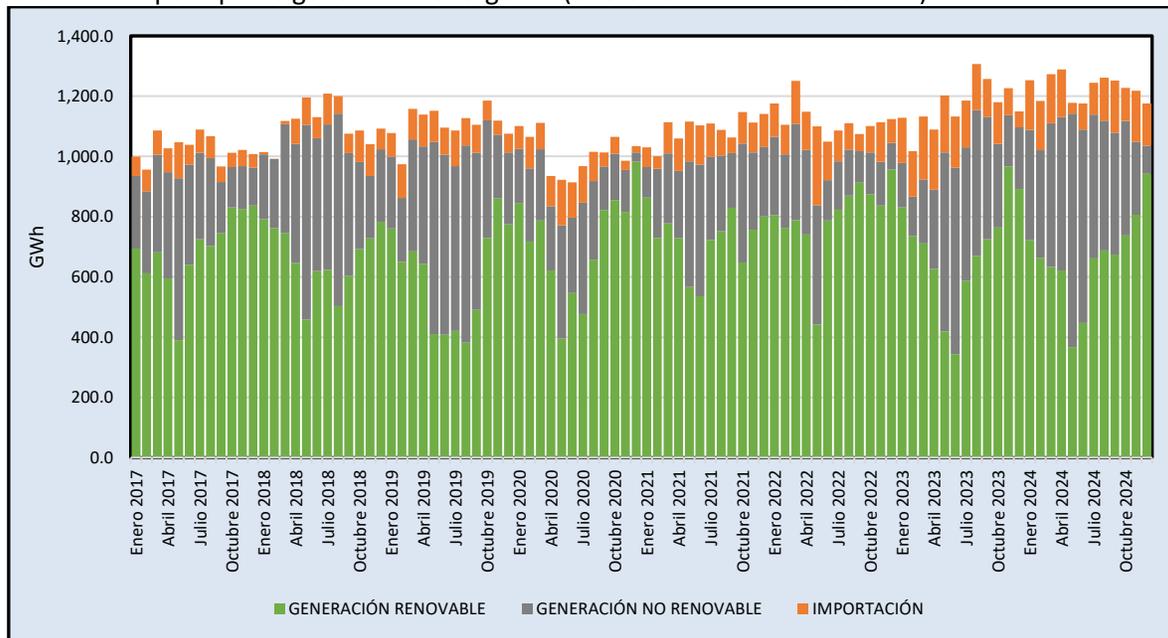
Aunque las emisiones esperadas con la implementación de acciones de la NDC y las estimadas para el año 2022 no coinciden, se está avanzando en la implementación de acciones, lo que resulta en una reducción con respecto al BAU. Las principales dificultades identificadas para la implementación de las metas propuestas responden a cambio de prioridades institucionales, falta de presupuestos y personal dedicado a las acciones propuestas, y en una buena medida a dificultades de gobernanza (falta de normativa específica o es poco clara, fallas en los arreglos entre los actores o no los hay, entre otros). Algunas metas fueron planteadas sin información clara o sin identificar condiciones habilitantes necesarias, por lo que su implementación ha sido muy difícil.

Un ejemplo concreto se encuentra en el sector *energía*, con la acción orientada a incrementar el porcentaje de generación eléctrica a partir de fuentes renovables. Guatemala posee un alto potencial para diversificar y ampliar el uso de estas fuentes gracias a sus recursos naturales. Sin embargo, uno de los principales desafíos ha sido mantener la estabilidad en la generación renovable, especialmente en el caso de la energía hidroeléctrica, que representa aproximadamente el 65 % de la generación total del país. El principal reto radica en estabilizar esta proporción mediante una mayor diversificación de fuentes, dado que la generación hidroeléctrica es altamente variable y depende en gran medida de las condiciones climáticas anuales. En los últimos años, el país ha experimentado períodos de sequía prolongada, lo que ha reducido el caudal de los ríos utilizados para la generación de energía, disminuyendo la participación de las hidroeléctricas en la matriz energética y aumentando la dependencia de fuentes fósiles.

El comportamiento de la generación de energía a nivel nacional se compone de 3 partes: generación renovable, generación no renovable e importación (Figura 3.1) y el comportamiento de las tres depende de la época del año, fenómenos climáticos por los que atraviesa el país (ENOS), entre otras cosas. En el periodo de 2017-2024 la oferta total de energía en promedio fue de 62.6 % para fuentes renovables, seguido por un 28.4% de fuentes no renovables y la importación con el 9.1 % restante.

Figura 3.1

Oferta total por tipo de generación energética (enero 2017 a diciembre 2024)



Fuente: L. Álvarez, CEMPRO Guatemala, 2025.

Actualmente, se sigue evaluando la resiliencia de las fuentes renovables en Guatemala para identificar estrategias que permitan garantizar una generación más estable y sostenible a largo plazo. Los resultados de estas evaluaciones serán fundamentales para la planificación energética del país y su impacto quedará reflejado en los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero.

Otro desafío importante en el monitoreo de información en Guatemala es la dificultad para contar con datos de calidad en tiempos oportunos que reflejen con precisión el impacto de las acciones implementadas. Esto es particularmente crítico en la elaboración del inventario de gases de efecto invernadero (GEI), donde la disponibilidad y actualización de las fuentes de información juegan un papel clave en la medición de los avances en mitigación.

En varios casos, aunque se han implementado acciones que han resultado en reducciones de emisiones, las fuentes de información utilizadas para alimentar el inventario no reflejan estos cambios de manera oportuna. Esto puede deberse a varios factores, como la falta de actualización de los datos, la continuidad de tendencias históricas sin incorporar nueva información o la falta de alineación entre las metodologías utilizadas en las fuentes nacionales y las acciones implementadas. Como resultado, el inventario puede no evidenciar las reducciones de emisiones esperadas, generando una brecha entre la realidad de la implementación y lo reportado oficialmente.

Guatemala se ha enfrentado a estos desafíos debido a la limitada capacidad institucional para la recolección de datos, la fragmentación de la información entre diferentes entidades y la falta de mecanismos estandarizados de reporte. Superar esta brecha requiere fortalecer los sistemas nacionales de monitoreo, reporte y verificación (MRV), mejorar la coordinación interinstitucional y promover la adopción de metodologías que permitan capturar los impactos reales de las medidas de mitigación en tiempo adecuado.

Así como se mencionó previamente, estas brechas se han tratado de disminuir con la implementación de proyectos enfocados en sistemas de monitoreo, como el actual proyecto *Fortalecimiento del Marco de Transparencia Mediante la Creación de Capacidades Nacionales para Implementar el Acuerdo de París en Guatemala (CBIT)* en Guatemala, cuyas responsabilidades está en mejorar el subsistema existente de inventarios e implementar sistemas específicos para el monitoreo de avances en la implementación de la NDC, por lo que se espera que la información presentada en futuras versiones de este informe sea de mejor calidad y refleje la realidad de todas las acciones implementadas para dar un debido seguimiento de los progresos de la NDC.

Por otro lado, el cumplimiento de la meta está sujeto también a que se logre la implementación de las acciones descritas en la NDC. Esto se aclara debido a que ya se han encontrado acciones cuyas metas no están siendo implementadas en tiempos esperados. Tomando como ejemplo el sector *energía* de nuevo y la Tabla 1.2 de la Sección II del presente informe, se puede observar que la implementación de los biocombustibles estaba para iniciarse en 2024, con una mezcla del 10 % de etanol en los combustibles del país; esta meta se esperaba además que tuviera un incremento gradual para alcanzar un 15 % de mezcla para 2030, sin embargo, el reglamento que establecía el periodo de inicio de la mezcla (Ley 159-2023) fue reformado por un Acuerdo Gubernativo (AG 101-2024) estableciendo un nuevo periodo de inicio a partir del primero de enero de 2026, lo que implicará un atraso en el cumplimiento de la reducción esperada por esta acción. Casos similares es posible que sigan surgiendo en Guatemala, debido a dificultades políticas, técnicas y financieras que el país atraviesa.

La implementación de las metas de la NDC también enfrenta algunos obstáculos, temas de gobernanza como la rotación de personal, poco involucramiento de las autoridades al más alto nivel, expectativas de algunos actores y limitadas capacidades institucionales (conocimiento, recurso humano, recurso financiero), apropiación y compromiso de los actores en general para tomar la responsabilidad de implementar y reportar los resultados. El seguimiento y el reporte enfrentan la falta de información sistematizada y disponible para el análisis y presentación de resultados, la definición de metas realistas, medibles y con indicadores claros, limitadas capacidades específicas para el monitoreo y reporte. No se cuenta con una priorización de necesidades y acciones para identificar costos, brechas y financiamiento disponible.

Por otro lado, es conveniente mencionar que, considerando que estos informes podrán ser mejorados con cada presentación, se espera tener mejor información disponible para la siguiente presentación del BTR de Guatemala, especialmente en el sector forestal (UTCUTS). Guatemala actualmente está pasando por un proceso de revisión de resultados del Programa de Reducción de Emisiones (PRE), el cual tiene como objetivo una reducción de 10.5 millones de toneladas de CO₂ eq en el periodo de ejecución del proyecto, así como actualizar la información disponible de los servicios de incentivos forestales vigentes en Guatemala, lo que resulta en mejor información, tanto para la estimación de emisiones y absorciones de gases de efecto invernadero en el sector UTCUTS como para reportar el progreso de la medida nacional en este sector, contribuyendo directamente



a la meta nacional. Además, se está finalizando el Inventario Forestal, el cual se alineó con las representaciones de tierra utilizadas en el inventario nacional de GEI. Todos estos esfuerzos combinados darán acceso a información más transparente y de mejor calidad para mejorar el reportaje en futuras presentaciones.

CAPÍTULO 4. POLÍTICAS, MEDIDAS, ACCIONES Y PLANES DE MITIGACIÓN, RELACIONADOS CON LA APLICACIÓN Y EL CUMPLIMIENTO DE LA NDC

A pesar de su situación de vulnerabilidad y riesgo ante el cambio climático, que colocan a la adaptación como su prioridad, Guatemala se ha comprometido desde una etapa muy temprana a contribuir con la meta global del Acuerdo de París, muestra de ello es que presentó su Intención de Contribución Nacionalmente Determinada (INDC por sus siglas en inglés) en 2015. Previo a ello, el país ha realizado esfuerzos para crear las condiciones que permitan implementar acciones de mitigación y adaptación, con importantes avances en el marco regulatorio de políticas y de planificación.

Como se demuestra en la sección a continuación, Guatemala estableció la Política Nacional de Cambio Climático desde el año 2009, sentando las bases para 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 (LMCC o Ley de cambio climático) que se aprobó en 2013 (Decreto 7-2013). La Ley instruye a las instituciones a planificar tomando en cuenta la variable de cambio climático, y en específico al Consejo Nacional de Cambio Climático (CNCC) y la Secretaría de Programación de Planificación y Programación de la Presidencia (SEGEPLAN) que elaboren el Plan de Acción Nacional de Cambio Climático (PANCC), el cual constituye un documento de planificación para el desarrollo sostenible del país, que se enfoca, entre otros temas puntuales, en el abordaje del cambio climático para lograr reducir la vulnerabilidad de la población y los ecosistemas, la mitigación para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en diferentes sistemas de producción y el apoyo financiero para la ejecución de las acciones efectivas que conduzcan al cumplimiento y logro de objetivos. En su segunda edición y reimpresión, en el PANCC se agregan los temas de: Ciencias del Clima, Gestión del Riesgo y Movilidad Humana, así como las migraciones asociadas a los efectos del cambio climático. La Política, LMCC y el PANCC son tres instrumentos que ordenan la acción climática a nivel general en el país.

Para identificar las medidas sectoriales de mitigación que se establecieron en la NDC, además de los instrumentos de nivel nacional antes mencionados, se tuvieron en cuenta el Plan Nacional de Desarrollo K'atun: nuestra Guatemala 2032 y las prioridades nacionales de desarrollo que de él se derivan en respuesta a los Objetivos de Desarrollo Sostenible; y la Estrategia Nacional de Desarrollo con Bajas Emisiones (ENDBE), es un instrumento coherente con las políticas públicas del país y que articula la implementación de instrumentos para el logro de los siguientes resultados: a) un crecimiento económico bajo en emisiones, b) mejora de la gestión ambiental, c) aumento de la competitividad, d) cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenible, e) reducción de la vulnerabilidad y f) aumento de la capacidad de resiliencia y adaptación al cambio climático. De la ENDBE se tomaron varias de las opciones de mitigación propuestas en la NDC.

Además del marco nacional descrito anteriormente, las medidas se basan en leyes, políticas, estrategias y planes propios del sector al que pertenecen, el detalle puede observarse en la siguiente sección. La NDC actualizada considera 34 metas para el componente de Adaptación en los sectores de: Agricultura y seguridad alimentaria; Zonas marino-costeras; Recursos forestales, ecosistemas y áreas protegidas; Gestión integrada de los recursos hídricos; Salud humana; e Infraestructura; y 10 medidas para el componente de Mitigación en los sectores: Uso de la tierra, cambio de uso de la

tierra y silvicultura; Energía; Agricultura; y Residuos. Las metas sectoriales cuentan con responsables institucionales de implementación, y el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales como punto focal nacional.

Como se mencionó antes, las metas de adaptación y medidas de mitigación se establecieron de acuerdo con la planificación de los entes sectoriales, la capacidad de implementación que consideraron tener en cada caso, y con los recursos que en su momento (2021-2022) se tenían identificados o en ejecución. De manera general, los actores han realizado esfuerzos para avanzar en las metas propuestas para 2023-2024, sin embargo, en pocos casos se han alcanzado las metas proyectadas para esos años. A pesar de que las metas y medidas se definieron a partir de planificación nacional y sectorial, los presupuestos asignados y los proyectos esperados no se concretaron tal cual estaban previstos, por lo que también se ha enfrentado la limitación en los recursos previstos para la implementación de las acciones; además, las políticas no han sido implementadas explícitamente para dar cumplimiento a la NDC, más bien las medidas de la NDC se adaptaron a las políticas para poder facilitar la implementación.

4.1. Descripción de las políticas y medidas

A continuación, se presenta el listado de políticas y medidas que funcionan como habilitadores para la aplicación de la NDC, así como aquellas que contribuyen directamente a su cumplimiento. En la última fila de cada tabla se especifica claramente esta diferenciación, ya que algunas políticas, estrategias u otros instrumentos actúan como una base fundamental para la implementación de la NDC, pero no fueron diseñadas ni adoptadas explícitamente en respuesta a este compromiso. Para facilitar la identificación de ambas categorías, las tablas están organizadas de manera que primero se presentan las actividades y políticas habilitantes, seguidas de las medidas que forman parte de la NDC vigente de Guatemala.

Tabla 4.1.

Descripción de la ley para la protección forestal de Guatemala.

Nombre	Ley PROBOSQUE
Descripción	Ley de fomento al establecimiento, recuperación, restauración, manejo, producción y protección de bosques en Guatemala -PROBOSQUE-, Decreto 2-2015: instrumento de política forestal, con una duración de 30 años. Busca fomentar el aprovechamiento forestal de forma sostenible y la protección a través de incentivos forestales que propician buenas prácticas de conservación forestal.
Objetivos	Aumentar la cobertura forestal, dinamizar economías rurales, incrementar la productividad forestal, fomentar la diversificación forestal, contribuir a garantizar medios de vida, seguridad alimentaria, mitigación y adaptación al cambio climático
Tipo de instrumento	Regulatorio, Instrumento Económico
Estado	Implementado
Sector(es) afectados	UTCUTS
Gases afectados	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O

Año de inicio de implementación	2017
Entidad o entidades implementadoras	INAB
Relación con la NDC	Política habilitante para la aplicación

Fuente: elaboración propia del dpto, de Ciencia y Métrica, con base en las CTF.

Tabla 4.2.

Descripción de la ley para la protección forestal de Guatemala (para pequeñas extensiones forestales)

Nombre	Ley PINPEP
Descripción	Decreto 51-2010: Ley de incentivos forestales para poseedores de pequeñas extensiones de tierra de vocación forestal o agroforestal.
Objetivos	Dar participación a poseedores de pequeñas extensiones de los incentivos forestales, incorporar la modalidad de sistemas agroforestales, fomentar la equidad de género, generar empleo, fomentar la biodiversidad forestal contribuyendo con la gestión socioambiental y territorial para la mitigación y adaptación a los efectos de la variabilidad y cambio climático, fortaleciendo la resiliencia de los ecosistemas forestales para apoyar los esfuerzos nacionales en materia de seguridad alimentaria, protección civil, gestión de recursos hídricos, desarrollo rural integral y reducción de riesgos a desastres naturales.
Tipo de instrumento	Regulatorio, Instrumento económico
Estado	Implementado
Sector(es) afectados	Agricultura, LULUCF
Gases afectados	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O
Año de inicio de implementación	2011
Entidad o entidades implementadoras	INAB
Relación con la NDC	Política habilitante para la aplicación

Fuente: elaboración propia del dpto, de Ciencia y Métrica, con base en las CTF.

Tabla 4.3.

Descripción de la ley para la protección y conservación de áreas con valor biológico, ecosistémico o cultural.

Nombre	Ley de Áreas Protegidas
Descripción	Decreto 4-89, Ley de áreas protegidas: regula la creación y manejo de áreas en las diferentes categorías de protección o conservación
Objetivos	Asegurar funcionamiento de procesos ecológicos y sistemas naturales, lograr la conservación de la diversidad biológica, defender y preservar el patrimonio natural de la Nación, establecer áreas protegidas necesarias
Tipo de instrumento	Regulatorio
Estado	Implementado

Sector(es) afectados	UTCUTS
Gases afectados	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O
Año de inicio de implementación	1989
Entidad o entidades implementadoras	CONAP
Relación con la NDC	Política habilitante para la aplicación

Fuente: elaboración propia del dpto. de Ciencia y Métrica, con base en las CTF.

Tabla 4.4.

Descripción del instrumento de planificación de desarrollo nacional.

Nombre	Plan Nacional de Desarrollo K'atun: nuestra Guatemala 2032
Descripción	Constituye la política nacional de desarrollo de largo plazo que articula las políticas, planes, programas, proyectos e inversiones; es decir, el ciclo de gestión del desarrollo. Brinda una visión al desarrollo del país, se divide en cinco ejes: Guatemala urbana y rural, Bienestar para la gente, Riqueza para todas y todos, Recursos naturales hoy y para el futuro, Estado garante de derechos y conductor del desarrollo.
Objetivos	Propone una visión común de país, transformar la cultura y promover una convivencia armónica entre todos los guatemaltecos. Para ello, el plan busca: Mejorar las condiciones de vida de la población, Proteger y potenciar los recursos naturales, Generar riqueza equitativa, Garantizar los derechos humanos, Liderar el desarrollo.
Tipo de instrumento	Planificación estratégica nacional
Estado	Adoptado
Sector(es) afectados	Energía, IPPU*, Agricultura, UTCTUS y Residuos
Gases afectados	CO ₂
Año de inicio de implementación	2014
Entidad o entidades implementadoras	SEGEPLAN
Relación con la NDC	Política habilitante para la aplicación

Fuente: elaboración propia del dpto. de Ciencia y Métrica, con base en las CTF.

*Nota: aunque IPPU no es un sector considerado en la NDC, esta ley constituye bases y regulaciones para la industria de Guatemala.

Tabla 4.5.

Descripción de la ley nacional de cambio climático.

Nombre	Ley Marco de Cambio Climático
Descripción	Decreto 7-2013: 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. Establece las regulaciones necesarias para prevenir, planificar y responder a los impactos del cambio climático en el país.
Objetivos	Se propone que el Estado de Guatemala y todos los actores que lo conforman propicien condiciones para reducir la vulnerabilidad, mejorar la adaptación y

	desarrollar propuestas de mitigación al cambio climático.
Tipo de instrumento	Regulatorio
Estado	Implementado
Sector(es) afectados	Energía, IPPU*, Agricultura, UTCTUS y Residuos
Gases afectados	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O, HFCs
Año de inicio de implementación	2013
Entidad o entidades implementadoras	MARN
Relación con la NDC	Política habilitante para la aplicación

Fuente: elaboración propia del dpto. de Ciencia y Métrica, con base en las CTF.

*Nota: aunque IPPU no es un sector considerado en la NDC, esta ley constituye bases y regulaciones para la industria de Guatemala.

Tabla 4.6.

Descripción de la estrategia de mitigación de largo plazo de Guatemala

Nombre	Estrategia Nacional de Desarrollo con Bajas Emisiones
Descripción	Estrategia de largo plazo, plantea opciones de mitigación para los sectores prioritarios
Objetivos	Impulsar la construcción de herramientas orientadas al desarrollo con bajas emisiones, que fortalecen la economía, mejoran la eficiencia y aumentan la rentabilidad de la producción. Facilitar el acceso a mercados internacionales y nuevas fuentes y mecanismos de financiamiento.
Tipo de instrumento	Planificación estratégica nacional
Estado	Adoptado
Sector(es) afectados	Energía, Transporte, IPPU*, Agricultura, UTCTUS y Residuos
Gases afectados	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O, HFCs
Año de inicio de implementación	2018
Entidad o entidades implementadoras	MARN
Relación con la NDC	Política para el cumplimiento

Fuente: elaboración propia del dpto. de Ciencia y Métrica, con base en las CTF.

*Nota: aunque IPPU no es un sector considerado en la NDC, esta ley constituye bases y regulaciones para la industria de Guatemala.

Tabla 4.7.

Descripción del plan nacional de cambio climático de Guatemala

Nombre	Plan de Acción Nacional de Cambio Climático
Descripción	Lo mandata la Ley de cambio climático (Decreto 7-2013) en su artículo 11. Se enfoca en el abordaje del cambio climático, para lograr reducir la vulnerabilidad de la población y los ecosistemas, la mitigación para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en diferentes sistemas de producción y, el apoyo financiero para la ejecución de las acciones efectivas, para el cumplimiento de los objetivos.
Objetivos	Definir de forma clara y ordenada las principales acciones y lineamientos para contribuir de manera

	efectiva a la reducción de la vulnerabilidad, ampliar la capacidad de adaptación y reducir las emisiones de GEI.
Tipo de instrumento	Planificación estratégica nacional
Estado	Adoptado
Sector(es) afectados	Energía, transporte, IPPU*, Agricultura, UTCTUS y Residuos
Gases afectados	Contribución para contabilizarse en CO ₂ eq
Año de inicio de implementación	2016
Entidad o entidades implementadoras	MARN
Relación con la NDC	Instrumento habilitante para la aplicación y para el cumplimiento

Fuente: elaboración propia del dpto, de Ciencia y Métrica, con base en las CTF.

Tabla 4.8.

Descripción del programa para la reducción de emisiones en el sector forestal

Nombre	Programa Nacional de Reducción y Remoción de Emisiones (PRE)
Descripción	Programa Nacional de Reducción de Emisiones, el área contemplada en el PRE en su conjunto abarca un 91.7% del territorio nacional y representa 92 % (3,676,908.33 millones de ha) de las tierras boscosas, lo regula el Decreto 20-2020. Para su implementación el país firmó un Acuerdo de Pago por Reducción de Emisiones (ERPA) suscrito entre Guatemala (representado por el Ministerio de Finanzas Públicas como entidad del Programa) y el Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento como fiduciario del Fondo del Carbono, del Fondo Cooperativo del Carbono de los Bosques
Objetivos	Promover el desarrollo forestal por medio del pago por resultados del manejo sostenible de los bosques evitando deforestación y degradación, incrementando la cobertura para la captación de carbono y así mismo combatir las principales causas de la deforestación y la degradación forestal.
Tipo de instrumento	Instrumento económico
Estado	Implementado
Sector(es) afectados	UTCUTS
Gases afectados	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O
Año de inicio de implementación	2021
Entidad o entidades implementadoras	INAB
Relación con la NDC	Medida habilitante para la aplicación y cumplimiento

Fuente: elaboración propia del dpto, de Ciencia y Métrica, con base en las CTF.

Tabla 4.9.

Descripción de la política para la protección y conservación de la biodiversidad de Guatemala

Nombre	Política Nacional de Diversidad Biológica
---------------	--

Descripción	Instrumento que orienta, ordena y articula las acciones para que se regule y asegure la conservación eficiente y adecuada, así como el uso sostenible de la diversidad biológica en el país
Objetivos	Promover la gestión transversal y efectiva de la diversidad biológica guatemalteca enfatizando su conservación y uso sostenible; valorándola como un factor crucial en el desarrollo humano.
Tipo de instrumento	Planificación sectorial
Estado	Implementado
Sector(es) afectados	UTCUTS
Gases afectados	CO ₂
Año de inicio de implementación	2011
Entidad o entidades implementadoras	CONAP
Relación con la NDC	Política habilitante para la aplicación

Fuente: elaboración propia del dpto, de Ciencia y Métrica, con base en las CTF.

Tabla 4.10.

Descripción de la política para la reducción de incendios forestales

Nombre	Política Nacional de Prevención y Control de Incendios Forestales y Manejo Integrado del Fuego
Descripción	Establece el marco para desarrollar las acciones necesarias para lograr el manejo integrado del fuego en el mediano y largo plazos.
Objetivos	Fortalecer el marco político y estratégico para el manejo del fuego en Guatemala de forma consensuada entre los actores de la sociedad civil e instituciones gubernamentales; reducir el número de incendios, los efectos negativos de estos y reducir el uso inadecuado del fuego; incorporar el uso adecuado del fuego a las políticas de desarrollo y conservación del medio ambiente; promover cambios de prácticas y procedimientos alternativos al uso del fuego en la agricultura, ganadería y expansión urbana; contribuir al mejoramiento de la calidad de vida de los guatemaltecos en materia de salud, cuidado de la biodiversidad y del suelo.
Tipo de instrumento	Planificación sectorial
Estado	Implementado
Sector(es) afectados	UTCUTS, Agricultura
Gases afectados	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O
Año de inicio de implementación	2009
Entidad o entidades implementadoras	CONRED
Relación con la NDC	Política habilitante para la aplicación

Fuente: elaboración propia del dpto, de Ciencia y Métrica, con base en las CTF.

Tabla 4.11.

Descripción del instrumento para la reducción de incendios forestales

Nombre	Estrategia Nacional de Manejo Integral del Fuego
Descripción	Instrumento que plantea un diagnóstico sobre el estado actual de la gestión del fuego en el país, así como ejes estratégicos y líneas de acción para abordar de una manera conjunta esta situación. Promueve que las instituciones, organizaciones, grupos interesados y partes involucradas planifiquen, coordinen y operen dentro de una visión y marco común, interinstitucional, estandarizado e interoperable; y generar, difundir y transmitir tecnología, herramientas y prácticas apropiadas que puedan ser replicadas en todo el territorio guatemalteco.
Objetivos	Establecer las líneas estratégicas y acciones generales relacionadas con la gestión del fuego que promueven la planificación estratégica, estandarización, fortalecimiento e implementación con la integración y participación de los actores gubernamentales y de la sociedad para reducir la problemática e impactos negativos del fuego en los ecosistemas y la sociedad de Guatemala.
Tipo de instrumento	Planificación sectorial
Estado	Adoptado
Sector(es) afectados	LULUCF
Gases afectados	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O
Año de inicio de implementación	2024
Entidad o entidades implementadoras	CONRED
Relación con la NDC	Medida habilitante para la aplicación

Fuente: elaboración propia del dpto, de Ciencia y Métrica, con base en las CTF.

Tabla 4.12.

Descripción del instrumento para la conservación forestal como mecanismo de desarrollo rural.

Nombre	Estrategia Nacional de Restauración del Paisaje Forestal
Descripción	Establecida como un mecanismo para el Desarrollo Rural Sostenible de Guatemala 2015 - 2045. Su misión es articular a actores clave e instrumentos que viabilicen la inversión e implementación de actividades de restauración de los bosques y las tierras forestales de Guatemala, a través de la construcción de capacidades y su sostenibilidad en el tiempo.
Objetivos	Restaurar 1.2 millones de hectáreas degradadas al 2045 debido al desarrollo rural del país con mejores prácticas de ordenamiento territorial, protegiendo el paisaje forestal de Guatemala.
Tipo de instrumento	Planificación sectorial
Estado	Implementado
Sector(es) afectados	UTCUTS

Gases afectados	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O
Año de inicio de implementación	2015
Entidad o entidades implementadoras	INAB
Relación con la NDC	Medida habilitante para la aplicación

Fuente: elaboración propia del dpto, de Ciencia y Métrica, con base en las CTF.

Tabla 4.13.

Descripción de la política para planificación energética de Guatemala

Nombre	Política Energética 2019-2050
Descripción	Política sectorial actualizada, responde a la necesidad de desarrollar el uso de los recursos energéticos del país de manera responsable en el marco de la sostenibilidad y con visión de largo plazo, busca asegurar la seguridad energética, la competitividad y el bien común.
Objetivos	Fijar los lineamientos de largo plazo para garantizar el suministro de requerimientos energéticos futuros de forma sostenible y competitiva; incentivando el crecimiento económico y confort de la sociedad guatemalteca, a través de su uso eficiente y la tecnificación de la infraestructura, siendo responsables con la conservación y cumplimiento de los compromisos ambientales.
Tipo de instrumento	Planificación estratégica nacional
Estado	Implementado
Sector(es) afectados	Energía
Gases afectados	CO ₂
Año de inicio de implementación	2020
Entidad o entidades implementadoras	MEM
Relación con la NDC	Política habilitante para la aplicación y cumplimiento

Fuente: elaboración propia del dpto, de Ciencia y Métrica, con base en las CTF.

Tabla 4.14.

Descripción del instrumento para planificación energética de Guatemala

Nombre	Plan Nacional de energía 2017-2032
Descripción	El Plan Nacional de Energía plantea tres ejes estratégicos, 1) Aprovechamiento de los Recursos Renovables, 2) Eficiencia y Ahorro Energético y 3) Reducción de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero, este último con el fin de reducir los impactos del cambio climático.
Objetivos	Promover el uso de tecnologías para la eficiencia y el ahorro energético; priorizando el uso de fuentes de energía renovable de manera sostenible para diversificar la matriz de generación de energía eléctrica, así como la sustitución del uso de leña por nuevas fuentes energéticas y tecnológicas, de tal manera que se obtengan beneficios para mejorar las

	condiciones ambientales utilizando fuentes con bajas emisiones de GEI.
Tipo de instrumento	Planificación sectorial
Estado	Implementado
Sector(es) afectados	Energía
Gases afectados	CO ₂
Año de inicio de implementación	2017
Entidad o entidades implementadoras	MEM
Relación con la NDC	Medida habilitante para la aplicación y cumplimiento

Fuente: elaboración propia del dpto. de Ciencia y Métrica, con base en las CTF.

Tabla 4.15.

Descripción de la política para la promoción y diversificación de energías renovables en Guatemala

Nombre	Ley de Incentivos para el Desarrollo de Proyectos de energía Renovable
Descripción	Decreto 52-2003, ley que promueve el desarrollo y aprovechamiento efectivo de los recursos energéticos renovables en Guatemala, a mediano y largo plazo, para alcanzar un desarrollo continuo de los recursos, lograr un equilibrio entre las fuentes de energía nacionales e importadas, lo que repercutirá en una mejora de la calidad ambiental del país.
Objetivos	Promover el desarrollo de proyectos de energía renovable y establecer los incentivos fiscales, económicos y administrativos para este efecto
Tipo de instrumento	Regulatorio, Instrumento económico
Estado	Implementado
Sector(es) afectados	Energía
Gases afectados	CO ₂
Año de inicio de implementación	2003
Entidad o entidades implementadoras	MEM
Relación con la NDC	Medida habilitante para la aplicación

Fuente: elaboración propia del dpto. de Ciencia y Métrica, con base en las CTF.

Tabla 4.16.

Descripción del instrumento de promoción de energías renovables y seguridad energética nacional

Nombre	Plan de expansión indicativo del Sistema de Generación 2020-2050
Descripción	Plan sectorial para expandir el sistema de generación eléctrica de manera que garantice la seguridad energética nacional
Objetivos	Promover inversiones en fuentes renovables en departamentos prioritarios, mantener una combinación de la matriz de generación eléctrica estratégica que garantice el suministro de energía al país en emergencias y cambio climático, promover la instalación de plantas de generación en ubicaciones donde no las hay, garantizar la infraestructura de

	transmisión que permita integración de nuevas tecnologías.
Tipo de instrumento	Planificación sectorial
Estado	Adoptado
Sector(es) afectados	Energía
Gases afectados	CO ₂
Año de inicio de implementación	2020
Entidad o entidades implementadoras	MEM
Relación con la NDC	Medida habilitante para la aplicación y cumplimiento

Fuente: elaboración propia del dpto, de Ciencia y Métrica, con base en las CTF.

Tabla 4.17.

Descripción de la política y su instrumento de aplicación para la implementación de la mezcla de etanol en los combustibles

Nombre	Ley del Alcohol Carburante y su reglamento 2024
Descripción	La Ley corresponde al Decreto 17-1985 y su reglamento es el Acuerdo Gubernativo 159-2023
Objetivos	El objetivo de la ley es normar las actividades relacionadas con la producción, almacenamiento, manejo, uso, transporte y comercialización de alcohol carburante y su mezcla, el reglamento tiene por objeto desarrollar y normar los procedimientos para cumplir el objetivo de la ley.
Tipo de instrumento	Regulatorio
Estado	Implementado
Sector(es) afectados	Energía
Gases afectados	CO ₂
Año de inicio de implementación	2023
Entidad o entidades implementadoras	MEM
Relación con la NDC	Política para el cumplimiento

Fuente: elaboración propia del dpto, de Ciencia y Métrica, con base en las CTF.

Tabla 4.18.

Descripción de la política para promover el uso de vehículos eléctricos en Guatemala

Nombre	Ley de incentivos para movilidad eléctrica
Descripción	Decreto 40-2022. El principal beneficio de la Ley es el incentivo fiscal que permite que los vehículos eléctricos sean accesibles, generando de esta manera más demanda y reduciendo los niveles de emisiones de gases de efecto invernadero por uso de combustibles fósiles.
Objetivos	Facilitar y promover la importación, compraventa y uso de vehículos eléctricos, híbridos, de hidrógeno y sistemas de transporte público, con el fin de contribuir a la diversificación de la matriz energética y con ello a la mitigación de emisiones de GEI.
Tipo de instrumento	Regulatorio, Instrumento económico
Estado	Adoptado

Sector(es) afectados	Energía
Gases afectados	CO2
Año de inicio de implementación	2022
Entidad o entidades implementadoras	MEM
Relación con la NDC	Política para el cumplimiento

Fuente: elaboración propia del dpto, de Ciencia y Métrica, con base en las CTF.

Tabla 4.19.

Descripción de la política para promover la ganadería sostenible en Guatemala

Nombre	Política Ganadera Bovina Nacional
Descripción	Acuerdo Gubernativo 282-2014, esta política brinda lineamientos para aumentar la producción de carne y leche, impulsando el ganado bovino y su agroindustria de manera organizada y responsable, con capacidades para alcanzar competitividad, generar empleo, ingresos y contribuir a la seguridad alimentaria
Objetivos	Transformar la ganadería bovina a un modelo económica y ambientalmente eficiente y sostenible, fomentar el valor agregado de sus productos, incrementar el consumo para contribuir a la buena nutrición y mitigar efectos del cambio climático, promoviendo una ganadería e industria bovina ambientalmente correcta.
Tipo de instrumento	Planificación sectorial
Estado	Adoptado
Sector(es) afectados	Agricultura
Gases afectados	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O
Año de inicio de implementación	2014
Entidad o entidades implementadoras	MAGA
Relación con la NDC	Política habilitante para la aplicación y cumplimiento

Fuente: elaboración propia del dpto, de Ciencia y Métrica, con base en las CTF.

Tabla 4.20

Descripción de la estrategia para promover la ganadería sostenible en Guatemala

Nombre	Estrategia Nacional de Ganadería Bovina Sostenible con Bajas Emisiones
Descripción	Instrumento para implementar la Política Ganadera Bovina Nacional en un período de 15 años, se enmarca también en la Ley Marco de Cambio Climático (Decreto 7-2013). Esta Estrategia busca mejorar la Inter institucionalidad público-privada, detener la expansión de la frontera ganadera mejorando la producción con prácticas sostenibles, incrementar la productividad de leche y carne, mejorar la rentabilidad e ingresos, los agronegocios y la competitividad ganadera.
Objetivos	0.63 millones de toneladas de CO ₂ eq en 2030
Tipo de instrumento	Planificación sectorial, Medida de mitigación
Estado	Adoptado

Sector(es) afectados	Agricultura
Gases afectados	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O
Año de inicio de implementación	2022
Entidad o entidades implementadoras	MAGA
Relación con la NDC	Medida habilitante para la aplicación y cumplimiento

Fuente: elaboración propia del dpto, de Ciencia y Métrica, con base en las CTF.

Tanto la política como la estrategia de Ganadería Bovina Sostenible de Guatemala, se consideran un conjunto que forman la NAMA ganadera del país.

Tabla 4.21.

Descripción de la política para promover el uso de vehículos eléctricos en Guatemala

Nombre	Ley General de Electricidad
Descripción	Decreto 93-96, determina la gobernanza y los lineamientos para todos los procesos desde la generación, transporte, uso, comercialización de energía eléctrica.
Objetivos	Regular lo relacionado a la generación, transporte, distribución y comercialización de electricidad.
Tipo de instrumento	Regulatorio
Estado	Implementado
Sector(es) afectados	Energía
Gases afectados	CO ₂
Año de inicio de implementación	1996
Entidad o entidades implementadoras	MEM
Relación con la NDC	Política habilitante para la aplicación

Fuente: elaboración propia del dpto, de Ciencia y Métrica, con base en las CTF.

Tabla 4.22.

Descripción de la Política Nacional de Cambio Climático.

Nombre	Política Nacional de Cambio Climático
Descripción	Acuerdo Gubernativo 329-2009. La política pretende que el Estado de Guatemala, a través del Gobierno Central, las municipalidades, la sociedad civil organizada y la ciudadanía en general, adopte prácticas de prevención de riesgo, reducción de la vulnerabilidad y mejora de la adaptación al Cambio Climático, y contribuya a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero en su territorio, coadyuve a la mejora de la calidad de vida de sus habitantes y fortalezca su capacidad de incidencia en las negociaciones internacionales de cambio climático
Objetivos	Fortalecer y desarrollar la capacidad nacional, incluyendo la transformación institucional requerida, para abordar el tema de adaptación y mitigación al Cambio Climático, los sistemas tradicionales indígenas y de las comunidades locales enfocados a las prácticas positivas y promover la investigación, el desarrollo

	educativo, la socialización y uso de alternativas tecnológicas, para hacer más viable y eficiente la adaptación y mitigación al Cambio Climático a través de la sensibilización con actores clave de la sociedad.
<i>Tipo de instrumento</i>	Planificación estratégica nacional
<i>Estado</i>	Adoptado
<i>Sector(es) afectados</i>	Energía, Transporte, IPPU, Agricultura, UTCTUS y Residuos
<i>Gases afectados</i>	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O, HFCs
<i>Año de inicio de implementación</i>	2009
<i>Entidad o entidades implementadoras</i>	MARN
<i>Relación con la NDC</i>	Política habilitante para la aplicación

Fuente: elaboración propia del dpto, de Ciencia y Métrica, con base en las CTF.

Tabla 4.23.

Descripción de la medida para el cumplimiento de la NDC en el sector UTCUTS

<i>Nombre</i>	Conservación, protección y manejo sostenible de bosques
<i>Descripción</i>	Esta medida se deriva del Programa de Reducción de Emisiones (PRE) y se refiere a la administración, conservación y uso racional de los recursos forestales desde el punto de vista de beneficios económicos, ecológicos y sociales. Contempla también el manejo forestal sostenible en bosques naturales, con lo cual se espera la reducción de la deforestación y evitar la pérdida de materia orgánica del suelo.
<i>Objetivos</i>	1.5452 millones de toneladas CO ₂ eq en el 2030
<i>Tipo de instrumento</i>	Medida de mitigación
<i>Estado</i>	Implementado
<i>Sector(es) afectados</i>	UTCUTS
<i>Gases afectados</i>	CO ₂
<i>Año de inicio de implementación</i>	2020
<i>Entidad o entidades implementadoras</i>	INAB
<i>Relación con la NDC</i>	Medida explícita para el cumplimiento

Fuente: elaboración propia del dpto, de Ciencia y Métrica, con base en las CTF.

Tabla 4.24.

Descripción de la medida para el cumplimiento de la NDC en el sector UTCUTS

<i>Nombre</i>	Reducción de la degradación de los bosques por la prevención y control de incendios
<i>Descripción</i>	Esta medida se deriva del Programa de Reducción de Emisiones (PRE), contempla el desarrollo de instrumentos y medios, el fortalecimiento de capacidades a nivel local e institucional para la prevención, control y combate de incendios forestales.
<i>Objetivos</i>	0.12933 millones de toneladas de CO ₂ eq en el 2030
<i>Tipo de instrumento</i>	Medida de mitigación
<i>Estado</i>	Implementado

Sector(es) afectados	UTCUTS
Gases afectados	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O
Año de inicio de implementación	2020
Entidad o entidades implementadoras	INAB, CONAP, CONRED
Relación con la NDC	Medida explícita para el cumplimiento

Fuente: elaboración propia del dpto, de Ciencia y Métrica, con base en las CTF.

Tabla 4.25.

Descripción de la medida para el cumplimiento de la NDC en el sector UTCUTS

Nombre	Establecimiento de plantaciones forestales
Descripción	Esta medida también se deriva del PRE, y promueve el incremento de biomasa disponible para diferentes usos, con lo cual se espera el incremento de la productividad forestal a través del establecimiento de plantaciones forestales principalmente con fines industriales y energéticos.
Objetivos	0.1773 millones de toneladas de CO ₂ eq en el 2030
Tipo de instrumento	Medida de mitigación
Estado	Implementado
Sector(es) afectados	UTCUTS
Gases afectados	CO ₂
Año de inicio de implementación	2020
Entidad o entidades implementadoras	INAB
Relación con la NDC	Medida explícita para el cumplimiento

Fuente: elaboración propia del dpto, de Ciencia y Métrica, con base en las CTF.

Tabla 4.26.

Descripción de la medida para el cumplimiento de la NDC en el sector UTCUTS

Nombre	Restauración de áreas degradadas
Descripción	Esta medida se deriva también del PRE y promueve el incremento de la biomasa en áreas degradadas para recuperar cobertura forestal bajo un enfoque de sostenibilidad. Se propone tomar acciones para restaurar el capital natural de ciertas áreas, especialmente riberas de ríos y otras tales como áreas afectadas por construcción de carreteras, minas, sobrepastoreo, explotación selectiva, entre otros. La recuperación de estas áreas permitirá el secuestro de carbono con los co-beneficios adicionales de los bosques en términos de recuperación de suelo, biodiversidad (especies nativas), entre otros.
Objetivos	Incremento de absorciones de 0.9443 millones de Toneladas CO ₂ eq en el 2030
Tipo de instrumento	Medida de mitigación
Estado	Implementado
Sector(es) afectados	UTCUTS
Gases afectados	CO ₂
Año de inicio de implementación	2020

Entidad o entidades implementadoras	INAB
Relación con la NDC	Medida explícita para el cumplimiento

Fuente: elaboración propia del dpto. de Ciencia y Métrica, con base en las CTF.

Tabla 4.27.

Descripción de la medida para el cumplimiento de la NDC en el sector Energía

Nombre	Priorizar energía limpia para la generación de energía eléctrica
Descripción	La medida está enfocada en promover el uso de fuentes de energía limpias, tales como: gas natural, geotermia y fuentes no convencionales (eólica y solar). Esto con el fin de diversificar la matriz energética y sustituir el uso de combustibles de alta generación de GEI. Objetivos cuantitativos (meta) Incrementar la participación
Objetivos	Al 2030 se tendrá un 80% de generación con energía limpia
Tipo de instrumento	Medida de mitigación
Estado	Adoptado
Sector(es) afectados	Energía
Gases afectados	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O
Año de inicio de implementación	2022
Entidad o entidades implementadoras	MEM
Relación con la NDC	Medida explícita para el cumplimiento

Fuente: elaboración propia del dpto. de Ciencia y Métrica, con base en las CTF.

Tabla 4.28.

Descripción de la medida para el cumplimiento de la NDC en el sector Energía

Nombre	Movilidad sostenible - electromovilidad y uso de etanol como combustible
Descripción	Esta medida trata de abordar un programa de renovación del parque vehicular privado hacia alternativas más eficientes. Ese programa combinará la formulación de instrumentos reglamentarios (reglamento de gases vehiculares) con incentivos (créditos de impuestos u otras medidas fiscales) para la compra y reemplazo de vehículos más eficientes hacia los particulares; estimular la renovación del parque vehicular; la venta de vehículos híbridos y eléctricos; impulsar las instalaciones de puntos de cargas para vehículos eléctricos; sensibilizar al público para la adopción de vehículos a base de energías más limpias; entre otras. También considera la puesta en marcha de un programa para promover el uso del etanol avanzado en la gasolina en Guatemala.
Objetivos	1,235.73 barriles equivalentes de petróleo no consumido por sustitución de etanol; 3,066.53 barriles

	equivalentes de petróleo no consumido por sustitución de vehículos eléctricos.
<i>Tipo de instrumento</i>	Medida de mitigación
<i>Estado</i>	Adoptado
<i>Sector(es) afectados</i>	Energía, Transporte
<i>Gases afectados</i>	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O
<i>Año de inicio de implementación</i>	2022
<i>Entidad o entidades implementadoras</i>	MEM
<i>Relación con la NDC</i>	Medida explícita para el cumplimiento

Fuente: elaboración propia del dpto. de Ciencia y Métrica, con base en las CTF.

Tabla 4.29.

Descripción de la medida para el cumplimiento de la NDC en el sector Energía

<i>Nombre</i>	Captura de metano en el vertedero de la zona 3 y aprovechamiento para generación de energía eléctrica
<i>Descripción</i>	Esta medida está relacionada a la captura del metano que es generado por la descomposición anaeróbica de los desechos sólidos en el vertedero de la Ciudad de Guatemala para su aprovechamiento en la generación de energía eléctrica, la cual será suministrada a la red nacional
<i>Objetivos</i>	0.15 millones de toneladas de CO ₂ eq
<i>Tipo de instrumento</i>	Medida de mitigación
<i>Estado</i>	Implementado
<i>Sector(es) afectados</i>	Energía, Residuos
<i>Gases afectados</i>	CH ₄
<i>Año de inicio de implementación</i>	2014
<i>Entidad o entidades implementadoras</i>	Industrias de Biogás, S.A.
<i>Relación con la NDC</i>	Medida explícita para el cumplimiento

Fuente: elaboración propia del dpto. de Ciencia y Métrica, con base en las CTF.

CAPÍTULO 5. RESUMEN DE LAS EMISIONES NACIONALES

Como se presenta en el Informe del Inventario Nacional, el balance de emisiones de Guatemala para el año 2022 fue de 64,382.5 kt CO₂ eq, predominando las emisiones de CO₂ con 51,273.0 kt, lo que representa un 79.6 % de las emisiones nacionales, seguido por las emisiones de CH₄ con 10,337.6 kt CO₂ eq, representando un 16.1 % de las emisiones, en tercero están las emisiones de N₂O con 2,244.7 kt CO₂ eq, que representan un 3.5 %, y por último las emisiones de HFCs con 527.2 kt CO₂ eq, representando el 0.8% restante (Tabla 5.1 y Figura 5.1)

Tabla 5.2.

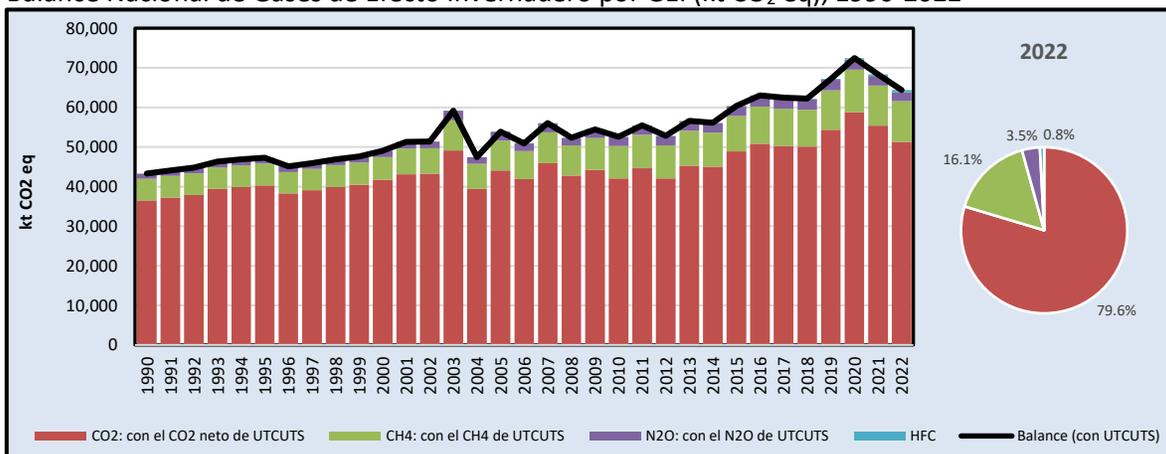
INGEI de Guatemala: balance y total nacional por GEI (kt CO₂ eq)

GEI	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022
CO ₂ : sin el CO ₂ neto de UTCUTS	5,161.3	8,311.3	11,836.9	11,867.7	12,651.6	18,346.1	18,712.4	21,901.0	20,375.0
CO ₂ : con el CO ₂ neto de UTCUTS	36,531.4	40,317.9	41,718.0	44,023.6	42,072.1	48,847.6	58,727.5	55,404.1	51,273.0
CH ₄ : sin el CH ₄ de UTCUTS	5,207.3	5,250.6	5,483.4	6,900.2	8,056.4	8,727.8	9,343.2	9,411.0	9,887.3
CH ₄ : con el CH ₄ de UTCUTS	5,448.6	5,491.8	5,724.7	7,603.4	8,205.4	8,937.5	10,778.8	10,145.4	10,337.6
N ₂ O: sin el N ₂ O de UTCUTS	1,244.8	1,438.3	1,537.2	2,059.6	2,181.1	2,434.1	2,217.1	2,172.5	2,119.4
N ₂ O: con el N ₂ O de UTCUTS	1,312.0	1,505.4	1,604.4	2,255.3	2,222.5	2,492.5	2,616.7	2,377.0	2,244.7
HFC	NE	NE	NE	3.3	60.3	115.1	334.2	406.8	527.2
PFC	NO	NO	NO	NO	NO	NO	0.0	0.0	0.0
SF ₆	NE, NO	0.0	0.0	0.0					
NF ₃	NO	NO	NO	NO	NO	NO	0.0	0.0	0.0
Total (sin UTCUTS)	11,613.4	15,000.1	18,857.5	20,830.9	22,949.4	29,623.1	30,606.8	33,891.3	32,908.8
Balance (con UTCUTS)	43,291.9	47,315.2	49,047.1	53,885.6	52,560.3	60,392.6	72,457.2	68,333.2	64,382.5

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

Figura 5.2

Balance Nacional de Gases de Efecto Invernadero por GEI (kt CO₂ eq), 1990-2022



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

En términos absolutos, el sector UTCUTS fue el de mayor relevancia en el balance nacional, representando el 48.9 %, seguido por el sector Energía con un 33.1 %, Agricultura con un 10.2 %, IPPU con un 4.3 % y, finalmente, Residuos con un 3.5 % (Tabla 5.3). Esto reafirma la importancia de los bosques en el país y el por qué debe seguir siendo un sector priorizado en las medidas para dar cumplimiento a la NDC de Guatemala. Actualmente es el sector con mayor cantidad de medidas, como se presenta en el *Capítulo 4*, pero es uno de los que más presenta dificultades por las perturbaciones (p.e. incendios forestales).

Tabla 5.3

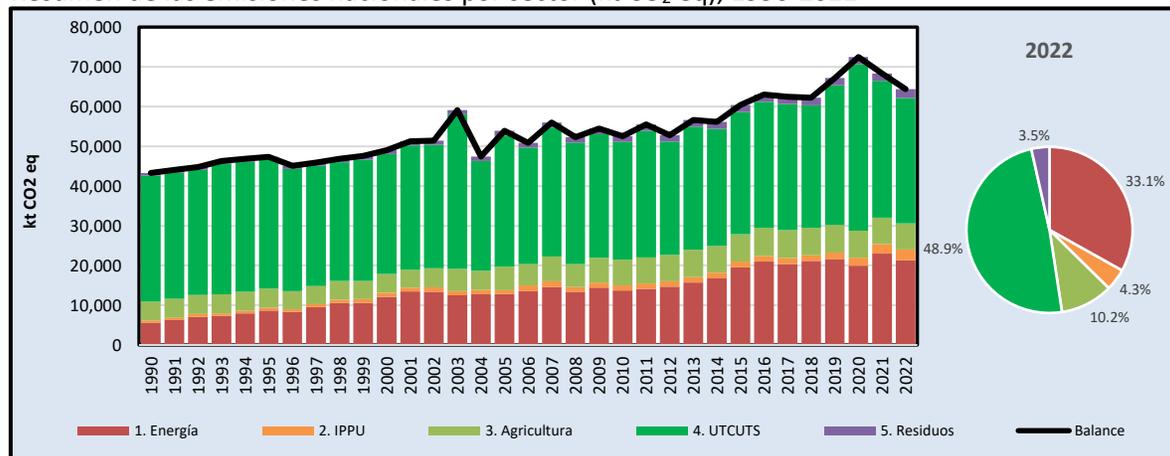
Resumen de las emisiones nacionales por sector y GEI para 2022

Sector	CO ₂ neto (kt)	CH ₄ (kt)	N ₂ O (kt)	HFC (kt CO ₂ eq)	Total de GEI (kt CO ₂ eq)
Todas las emisiones y las absorciones nacionales	51,273.0	369.2	8.5	502.1	64,382.5
Energía	17,933.0	100.6	2.2		21,323.6
Procesos industriales y uso de productos	2,212.4	NO	NE, NO	527.2	2,739.6
Agricultura	32.4	189.8	4.7		6,578.4
Uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura	30,898.0	16.1	0.5		31,473.7
Residuos	197.1	62.7	1.2		2,267.2

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

Figura 5.3

Resumen de las emisiones nacionales por sector (kt CO₂ eq), 1990-2022



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 Código	B Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero	C GEI	D	E	F	G
			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 %	Total acumulativo de la columna F %
4.A.1.	Tierras forestales que permanecen como tales	CO2	15,533.8	15,533.8	35.88%	35.88%
4.C.2.a.	Tierras forestales convertidas en pastizales	CO2	13,340.2	13,340.2	30.81%	66.70%
3.A.1.b.	Otros vacunos	CH4	2,871.1	2,871.1	6.63%	73.33%
1.A.3.b.	Transporte terrestre	CO2	2,199.9	2,199.9	5.08%	78.41%
1.A.1.b.	Refinación del petróleo - Líquido	CO2	1,070.2	1,070.2	2.47%	80.88%
4.B.2.a.	Tierras forestales convertidas en tierras de cultivo	CO2	1,023.5	1,023.5	2.36%	83.25%
1.A.4.b.	Residencial - Biomasa	CH4	911.1	911.1	2.10%	85.35%
4.A.2.b.	Pastizales convertidos en tierras forestales	CO2	835.8	835.8	1.93%	87.28%
1.A.2.	Industrias manufactureras y de la construcción - Líquido	CO2	770.9	770.9	1.78%	89.06%
2.A.1.	Producción de cemento	CO2	410.5	410.5	0.95%	90.01%
1.A.4.b.	Residencial - Líquido	CO2	287.5	287.5	0.66%	90.67%
5.A.1.	Sitios de disposición de residuos gestionados	CH4	270.8	270.8	0.63%	91.30%
4.A.1.	Tierras forestales que permanecen como tales	CH4	241.3	241.3	0.56%	91.86%
3.D.1.a.	Fertilizantes inorgánicos	N2O	232.7	232.7	0.54%	92.39%
3.E.	Quema prescrita de sabanas	CH4	216.7	216.7	0.50%	92.89%
3.A.1.a.	Vacas lecheras	CH4	202.8	202.8	0.47%	93.36%
3.E.	Quema prescrita de sabanas	N2O	187.3	187.3	0.43%	93.80%
2.A.2.	Producción de cal	CO2	149.3	149.3	0.34%	94.14%
3.D.2.b.	Lixiviación y escurrimiento	N2O	145.5	145.5	0.34%	94.48%
5.A.2.	Sitios de disposición de residuos no gestionados	CH4	141.4	141.4	0.33%	94.80%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Líquido	CO2	128.3	128.3	0.30%	95.10%
4.B.2.b.	Pastizales convertidos en tierras de cultivo	CO2	128.3	128.3	0.30%	95.40%
4.F.2.a.	Tierras forestales convertidas en otras tierras	CO2	122.7	122.7	0.28%	95.68%
1.A.4.b.	Residencial - Biomasa	N2O	115.0	115.0	0.27%	95.94%
4.A.2.a.	Tierras de cultivo convertidas en tierras forestales	CO2	114.3	114.3	0.26%	96.21%
4.C.2.b.	Tierras de cultivo convertidas en pastizales	CO2	109.0	109.0	0.25%	96.46%
3.F.	Quema de residuos agrícola en el campo	CH4	88.3	88.3	0.20%	96.66%
3.A.4.e.	Equinos	CH4	83.2	83.2	0.19%	96.86%
3.D.2.a.	Deposición atmosférica	N2O	77.8	77.8	0.18%	97.04%
3.D.1.c.	Orina y estiércol depositado por animales de pastoreo	N2O	74.0	74.0	0.17%	97.21%
3.A.2.	Ovinos	CH4	71.5	71.5	0.17%	97.37%
3.D.1.d.	Residuos de cosechas	N2O	69.6	69.6	0.16%	97.53%
5.D.1.	Aguas residuales domésticas	N2O	68.1	68.1	0.16%	97.69%
4.A.1.	Tierras forestales que permanecen como tales	NO2	67.2	67.2	0.16%	97.85%
1.A.4.a.	Comercial / Institucional - Líquido	CO2	67.1	67.1	0.16%	98.00%
4.B.1.	Tierras de cultivo que permanecen como tales	CO2	66.2	66.2	0.15%	98.15%
4.D.2.a.	Tierras forestales convertidas en humedales	CO2	61.2	61.2	0.14%	98.30%
5.C.2.	Incineración abierta de residuos	CH4	56.8	56.8	0.13%	98.43%
3.D.1.b.i.	Estiércol animal aplicado a los suelos	N2O	54.4	54.4	0.13%	98.55%
3.B.1.b.	Otros vacunos	CH4	51.3	51.3	0.12%	98.67%
5.C.2.	Incineración abierta de residuos	CO2	50.3	50.3	0.12%	98.79%
5.D.1.	Aguas residuales domésticas	CH4	46.8	46.8	0.11%	98.90%
3.B.5.	Emisiones indirectas de N2O	N2O	38.4	38.4	0.09%	98.98%
3.C.2.	Alimentadas a lluvia	CH4	34.6	34.6	0.08%	99.06%
3.B.1.b.	Otros vacunos	N2O	34.0	34.0	0.08%	99.14%
1.A.3.b.	Transporte terrestre	N2O	29.0	29.0	0.07%	99.21%
3.B.3.	Porcinos	N2O	28.9	28.9	0.07%	99.28%
3.F.	Quema de residuos agrícola en el campo	N2O	21.7	21.7	0.05%	99.33%
3.A.3.	Porcinos	CH4	21.6	21.6	0.05%	99.38%
3.B.3.	Porcinos	CH4	21.6	21.6	0.05%	99.43%
5.D.2.	Aguas residuales industriales	CH4	21.5	21.5	0.05%	99.48%
3.B.1.a.	Vacas lecheras	N2O	17.3	17.3	0.04%	99.52%
3.B.4.g.	Aves de corral	CH4	16.5	16.5	0.04%	99.55%
3.A.4.f.	Mulas y asnos	CH4	16.1	16.1	0.04%	99.59%
4.E.2.a.	Tierras forestales convertidas en asentamientos	CO2	14.9	14.9	0.03%	99.63%
1.A.3.b.	Transporte terrestre	CH4	14.5	14.5	0.03%	99.66%
3.A.4.d.	Caprinos	CH4	13.3	13.3	0.03%	99.69%
5.C.2.	Incineración abierta de residuos	N2O	12.4	12.4	0.03%	99.72%
3.H.	Aplicación de urea	CO2	10.4	10.4	0.02%	99.74%
3.B.4.g.	Aves de corral	N2O	9.7	9.7	0.02%	99.76%

4.F.2.c.	Pastizales convertidos en otras tierras	CO2	8.7	8.7	0.02%	99.78%
3.B.4.e.	Equinos	CH4	7.6	7.6	0.02%	99.80%
3.B.4.e.	Equinos	N2O	6.3	6.3	0.01%	99.82%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Biomasa	N2O	6.0	6.0	0.01%	99.83%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Biomasa	CH4	4.8	4.8	0.01%	99.84%
2.C.1.	Producción de hierro y acero	CO2	4.4	4.4	0.01%	99.85%
4.D.2.c.	Pastizales convertidos en humedales	CO2	4.2	4.2	0.01%	99.86%
5.B.1.	Compostaje	CH4	4.0	4.0	0.01%	99.87%
3.D.1.b.iii.	Otros fertilizantes orgánicos aplicados a los suelos	N2O	3.9	3.9	0.01%	99.88%
3.A.4.a.	Búfalos	CH4	3.7	3.7	0.01%	99.89%
2.A.3.	Producción de vidrio	CO2	3.5	3.5	0.01%	99.90%
5.B.1.	Compostaje	N2O	2.8	2.8	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%	99.92%
2.A.4.	Otros usos de carbonatos en los procesos	CO2	2.5	2.5	0.01%	99.92%
1.B.2.a.	Petróleo	CH4	2.4	2.4	0.01%	99.93%
1.A.1.b.	Refinación del petróleo - Líquido	N2O	2.3	2.3	0.01%	99.93%
1.A.2.	Industrias manufactureras y de la construcción - Biomasa	N2O	2.3	2.3	0.01%	99.94%
3.C.1.	Irrigadas	CH4	2.2	2.2	0.01%	99.94%
3.B.2.	Ovinos	CH4	2.1	2.1	0.00%	99.95%
3.B.1.a.	Vacas lecheras	CH4	2.0	2.0	0.00%	99.95%
4.E.2.b.	Tierras de cultivo convertidas en asentamientos	CO2	1.8	1.8	0.00%	99.96%
1.A.2.	Industrias manufactureras y de la construcción - Biomasa	CH4	1.8	1.8	0.00%	99.96%
3.B.2.	Ovinos	N2O	1.8	1.8	0.00%	99.96%
4.D.2.b.	Tierras de cultivo convertidas en humedales	CO2	1.7	1.7	0.00%	99.97%
4.E.2.c.	Pastizales convertidos en asentamientos	CO2	1.6	1.6	0.00%	99.97%
1.A.2.	Industrias manufactureras y de la construcción - Líquido	N2O	1.5	1.5	0.00%	99.98%
3.B.4.f.	Mulas y asnos	CH4	1.5	1.5	0.00%	99.98%
1.A.1.b.	Refinación del petróleo - Líquido	CH4	1.2	1.2	0.00%	99.98%
3.B.4.f.	Mulas y asnos	N2O	1.2	1.2	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	0.8	0.8	0.00%	99.99%
1.A.4.b.	Residencial - Líquido	CH4	0.8	0.8	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	0.5	0.5	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	CH4	0.1	0.1	0.00%	100.00%
3.B.4.a.	Búfalos	N2O	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		43,292.1	43,292.1	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 kt CO ₂ eq	Valor absoluto de emisiones o absorciones de 1990 Ex,t kt CO ₂ eq	Evaluación de nivel Lx,t %	Total acumulativo de la columna F %
3.A.1.b.	Otros vacunos	CH4	2,871.1	2,871.1	24.72%	24.72%
1.A.3.b.	Transporte terrestre	CO2	2,199.9	2,199.9	18.94%	43.66%
1.A.1.b.	Refinación del petróleo - Líquido	CO2	1,070.2	1,070.2	9.22%	52.88%
1.A.4.b.	Residencial - Biomasa	CH4	911.1	911.1	7.84%	60.72%
1.A.2.	Industrias manufactureras y de la construcción - Líquido	CO2	770.9	770.9	6.64%	67.36%
2.A.1.	Producción de cemento	CO2	410.5	410.5	3.53%	70.90%
1.A.4.b.	Residencial - Líquido	CO2	287.5	287.5	2.48%	73.37%
5.A.1.	Sitios de disposición de residuos gestionados	CH4	270.8	270.8	2.33%	75.70%
3.D.1.a.	Fertilizantes inorgánicos	N2O	232.7	232.7	2.00%	77.71%
3.E.	Quema prescrita de sabanas	CH4	216.7	216.7	1.87%	79.57%
3.A.1.a.	Vacas lecheras	CH4	202.8	202.8	1.75%	81.32%
3.E.	Quema prescrita de sabanas	N2O	187.3	187.3	1.61%	82.93%
2.A.2.	Producción de cal	CO2	149.3	149.3	1.29%	84.22%
3.D.2.b.	Lixiviación y escurrimiento	N2O	145.5	145.5	1.25%	85.47%

A	B	C	D	E	F	G
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 %	Total acumulativo de la columna F %
5.A.2.	Sitios de disposición de residuos no gestionados	CH4	141.4	141.4	1.22%	86.69%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Líquido	CO2	128.3	128.3	1.11%	87.79%
1.A.4.b.	Residencial - Biomasa	N2O	115.0	115.0	0.99%	88.78%
3.F.	Quema de residuos agrícola en el campo	CH4	88.3	88.3	0.76%	89.54%
3.A.4.e.	Equinos	CH4	83.2	83.2	0.72%	90.26%
3.D.2.a.	Deposición atmosférica	N2O	77.8	77.8	0.67%	90.93%
3.D.1.c.	Orina y estiércol depositado por animales de pastoreo	N2O	74.0	74.0	0.64%	91.57%
3.A.2.	Ovinos	CH4	71.5	71.5	0.62%	92.18%
3.D.1.d.	Residuos de cosechas	N2O	69.6	69.6	0.60%	92.78%
5.D.1.	Aguas residuales domésticas	N2O	68.1	68.1	0.59%	93.37%
1.A.4.a.	Comercial / Institucional - Líquido	CO2	67.1	67.1	0.58%	93.95%
5.C.2.	Incineración abierta de residuos	CH4	56.8	56.8	0.49%	94.44%
3.D.1.b.i.	Estiércol animal aplicado a los suelos	N2O	54.4	54.4	0.47%	94.91%
3.B.1.b.	Otros vacunos	CH4	51.3	51.3	0.44%	95.35%
5.C.2.	Incineración abierta de residuos	CO2	50.3	50.3	0.43%	95.78%
5.D.1.	Aguas residuales domésticas	CH4	46.8	46.8	0.40%	96.18%
3.B.5.	Emisiones indirectas de N2O	N2O	38.4	38.4	0.33%	96.51%
3.C.2.	Alimentadas a lluvia	CH4	34.6	34.6	0.30%	96.81%
3.B.1.b.	Otros vacunos	N2O	34.0	34.0	0.29%	97.10%
1.A.3.b.	Transporte terrestre	N2O	29.0	29.0	0.25%	97.35%
3.B.3.	Porcinos	N2O	28.9	28.9	0.25%	97.60%
3.F.	Quema de residuos agrícola en el campo	N2O	21.7	21.7	0.19%	97.79%
3.A.3.	Porcinos	CH4	21.6	21.6	0.19%	97.98%
3.B.3.	Porcinos	CH4	21.6	21.6	0.19%	98.16%
5.D.2.	Aguas residuales industriales	CH4	21.5	21.5	0.18%	98.35%
3.B.1.a.	Vacas lecheras	N2O	17.3	17.3	0.15%	98.50%
3.B.4.g.	Aves de corral	CH4	16.5	16.5	0.14%	98.64%
3.A.4.f.	Mulas y asnos	CH4	16.1	16.1	0.14%	98.78%
1.A.3.b.	Transporte terrestre	CH4	14.5	14.5	0.12%	98.90%
3.A.4.d.	Caprinos	CH4	13.3	13.3	0.11%	99.02%
5.C.2.	Incineración abierta de residuos	N2O	12.4	12.4	0.11%	99.12%
3.H.	Aplicación de urea	CO2	10.4	10.4	0.09%	99.21%
3.B.4.g.	Aves de corral	CH4	9.7	9.7	0.08%	99.30%
3.B.4.e.	Equinos	CH4	7.6	7.6	0.07%	99.36%
3.B.4.e.	Equinos	N2O	6.3	6.3	0.05%	99.42%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Biomasa	N2O	6.0	6.0	0.05%	99.47%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Biomasa	CH4	4.8	4.8	0.04%	99.51%
2.C.1.	Producción de hierro y acero	CO2	4.4	4.4	0.04%	99.55%
5.B.1.	Compostaje	CH4	4.0	4.0	0.03%	99.58%
3.D.1.b.iii.	Otros fertilizantes orgánicos aplicados a los suelos	N2O	3.9	3.9	0.03%	99.62%
3.A.4.a.	Búfalos	CH4	3.7	3.7	0.03%	99.65%
2.A.3.	Producción de vidrio	CO2	3.5	3.5	0.03%	99.68%
5.B.1.	Compostaje	N2O	2.8	2.8	0.02%	99.70%
1.A.3.a.	Aviación civil	CO2	2.7	2.7	0.02%	99.73%
2.D.1.	Uso de lubricantes	CO2	2.7	2.7	0.02%	99.75%
2.A.4.	Otros usos de carbonatos en los procesos	CO2	2.5	2.5	0.02%	99.77%
1.B.2.a.	Petróleo	CH4	2.4	2.4	0.02%	99.79%
1.A.1.b.	Refinación del petróleo - Líquido	N2O	2.3	2.3	0.02%	99.81%
1.A.2.	Industrias manufactureras y de la construcción - Biomasa	N2O	2.3	2.3	0.02%	99.83%
3.C.1.	Irrigadas	CH4	2.2	2.2	0.02%	99.85%
3.B.2.	Ovinos	CH4	2.1	2.1	0.02%	99.87%
3.B.1.a.	Vacas lecheras	CH4	2.0	2.0	0.02%	99.88%
1.A.2.	Industrias manufactureras y de la construcción - Biomasa	CH4	1.8	1.8	0.02%	99.90%
3.B.2.	Ovinos	N2O	1.8	1.8	0.02%	99.92%
1.A.2.	Industrias manufactureras y de la construcción - Líquido	N2O	1.5	1.5	0.01%	99.93%
3.B.4.f.	Mulas y asnos	CH4	1.5	1.5	0.01%	99.94%
1.A.1.b.	Refinación del petróleo - Líquido	CH4	1.2	1.2	0.01%	99.95%
3.B.4.f.	Mulas y asnos	N2O	1.2	1.2	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	0.8	0.8	0.01%	99.98%
1.A.4.b.	Residencial - Líquido	CH4	0.8	0.8	0.01%	99.98%
3.B.4.d.	Caprinos	CH4	0.5	0.5	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	CH4	0.1	0.1	0.00%	100.00%
3.B.4.a.	Búfalos	N2O	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%

A	B	C	D	E	F	G
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 %	Total acumulativo de la columna F %
1.B.2.a.	Petróleo	CO2	0.0	0.0	0.00%	100.00%
	Total		11,613.6	11,613.6	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	30.81%	49.16%	15.15%	28.33%	30.81%
4.A.1.	Tierras forestales que permanecen como tales	CO2	15,533.8	15,533.8	35.88%	33.07%	11.87%	22.19%	66.70%
1.A.4.b.	Residencial - Biomasa	CH4	911.1	911.1	2.10%	233.48%	4.91%	9.19%	68.80%
3.A.1.b.	Otros vacunos	CH4	2,871.1	2,871.1	6.63%	54.08%	3.59%	6.71%	75.43%
3.D.2.b.	Lixiviación y escurrimiento	N2O	145.5	145.5	0.34%	604.67%	2.03%	3.80%	75.77%
3.D.1.a.	Fertilizantes inorgánicos	N2O	232.7	232.7	0.54%	300.67%	1.62%	3.02%	76.31%
5.A.1.	Sitios de disposición de residuos gestionados	CH4	270.8	270.8	0.63%	202.30%	1.27%	2.37%	76.93%
4.B.2.a.	Tierras forestales convertidas en tierras de cultivo	CO2	1,023.5	1,023.5	2.36%	49.16%	1.16%	2.17%	79.30%
4.A.2.b.	Pastizales convertidos en tierras forestales	CO2	835.8	835.8	1.93%	49.16%	0.95%	1.78%	81.23%
3.D.2.a.	Deposición atmosférica	N2O	77.8	77.8	0.18%	505.59%	0.91%	1.70%	81.41%
1.A.4.b.	Residencial - Biomasa	N2O	115.0	115.0	0.27%	275.41%	0.73%	1.37%	81.67%
5.A.2.	Sitios de disposición de residuos no gestionados	CH4	141.4	141.4	0.33%	204.27%	0.67%	1.25%	82.00%
3.E.	Quema prescrita de sabanas	CH4	216.7	216.7	0.50%	116.30%	0.58%	1.09%	82.50%
3.D.1.c.	Orina y estiércol depositado por animales de pastoreo	N2O	74.0	74.0	0.17%	337.14%	0.58%	1.08%	82.67%
4.A.1.	Tierras forestales que permanecen como tales	CH4	241.3	241.3	0.56%	91.55%	0.51%	0.95%	83.23%
3.E.	Quema prescrita de sabanas	N2O	187.3	187.3	0.43%	116.30%	0.50%	0.94%	83.66%
3.D.1.d.	Residuos de cosechas	N2O	69.6	69.6	0.16%	309.23%	0.50%	0.93%	83.82%
3.B.5.	Emisiones indirectas de N2O	N2O	38.4	38.4	0.09%	522.02%	0.46%	0.87%	83.91%
1.A.3.b.	Transporte terrestre	CO2	2,199.9	2,199.9	5.08%	8.60%	0.44%	0.82%	88.99%
3.D.1.b.i.	Estiércol animal aplicado a los suelos	N2O	54.4	54.4	0.13%	306.96%	0.39%	0.72%	89.12%
5.C.2.	Incineración abierta de residuos	CH4	56.8	56.8	0.13%	200.00%	0.26%	0.49%	89.25%
3.F.	Quema de residuos agrícola en el campo	CH4	88.3	88.3	0.20%	128.06%	0.26%	0.49%	89.45%
4.B.2.b.	Pastizales convertidos en tierras de cultivo	CO2	128.3	128.3	0.30%	87.85%	0.26%	0.49%	89.75%
3.A.1.a.	Vacas lecheras	CH4	202.8	202.8	0.47%	54.08%	0.25%	0.47%	90.22%
4.C.2.b.	Tierras de cultivo convertidas en pastizales	CO2	109.0	109.0	0.25%	87.85%	0.22%	0.41%	90.47%
5.C.2.	Incineración abierta de residuos	CO2	50.3	50.3	0.12%	177.76%	0.21%	0.39%	90.58%
1.A.1.b.	Refinación del petróleo - Líquido	CO2	1,070.2	1,070.2	2.47%	7.62%	0.19%	0.35%	93.06%
3.C.2.	Alimentadas a lluvia	CH4	34.6	34.6	0.08%	231.70%	0.19%	0.35%	93.14%
1.A.3.b.	Transporte terrestre	N2O	29.0	29.0	0.07%	240.05%	0.16%	0.30%	93.20%
1.A.2.	Industrias manufactureras y de la construcción - Líquido	CO2	770.9	770.9	1.78%	8.60%	0.15%	0.29%	94.98%
5.D.1.	Aguas residuales domésticas	N2O	68.1	68.1	0.16%	96.03%	0.15%	0.28%	95.14%
4.F.2.a.	Tierras forestales convertidas en otras tierras	CO2	122.7	122.7	0.28%	49.16%	0.14%	0.26%	95.42%
4.A.1.	Tierras forestales que permanecen como tales	NO2	67.2	67.2	0.16%	87.80%	0.14%	0.25%	95.58%
4.B.1.	Tierras de cultivo que permanecen como tales	CO2	66.2	66.2	0.15%	87.85%	0.13%	0.25%	95.73%
5.D.1.	Aguas residuales domésticas	CH4	46.8	46.8	0.11%	124.10%	0.13%	0.25%	95.84%
4.A.2.a.	Tierras de cultivo convertidas en tierras forestales	CO2	114.3	114.3	0.26%	49.16%	0.13%	0.24%	96.10%
3.B.1.b.	Otros vacunos	N2O	34.0	34.0	0.08%	156.60%	0.12%	0.23%	96.18%
3.A.4.e.	Equinos	CH4	83.2	83.2	0.19%	58.31%	0.11%	0.21%	96.38%
3.A.2.	Ovinos	CH4	71.5	71.5	0.17%	67.08%	0.11%	0.21%	96.54%
1.A.4.b.	Residencial - Líquido	CO2	287.5	287.5	0.66%	16.55%	0.11%	0.21%	97.20%
3.B.3.	Porcinos	N2O	28.9	28.9	0.07%	161.55%	0.11%	0.20%	97.27%
3.B.1.b.	Otros vacunos	CH4	51.3	51.3	0.12%	67.27%	0.08%	0.15%	97.39%
1.A.3.b.	Transporte terrestre	CH4	14.5	14.5	0.03%	230.05%	0.08%	0.14%	97.42%
4.D.2.a.	Tierras forestales convertidas en humedales	CO2	61.2	61.2	0.14%	49.16%	0.07%	0.13%	97.56%
3.F.	Quema de residuos agrícola en el campo	N2O	21.7	21.7	0.05%	128.06%	0.06%	0.12%	97.61%
3.B.1.a.	Vacas lecheras	N2O	17.3	17.3	0.04%	156.60%	0.06%	0.12%	97.66%
5.C.2.	Incineración abierta de residuos	N2O	12.4	12.4	0.03%	200.00%	0.06%	0.11%	97.68%
5.D.2.	Aguas residuales industriales	CH4	21.5	21.5	0.05%	112.41%	0.06%	0.10%	97.73%
2.A.1.	Producción de cemento	CO2	410.5	410.5	0.95%	5.83%	0.06%	0.10%	98.68%
3.B.3.	Porcinos	CH4	21.6	21.6	0.05%	78.10%	0.04%	0.07%	98.73%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Biomasa	N2O	6.0	6.0	0.01%	275.02%	0.04%	0.07%	98.75%
3.B.4.g.	Aves de corral	N2O	9.7	9.7	0.02%	167.71%	0.04%	0.07%	98.77%
3.B.4.g.	Aves de corral	CH4	16.5	16.5	0.04%	90.14%	0.03%	0.06%	98.81%
3.A.3.	Porcinos	CH4	21.6	21.6	0.05%	67.08%	0.03%	0.06%	98.86%

A Código	B Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero	C GEI	D	E	F	G	H	I	J
			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 Lx,t %	Total acumulativo de la columna F %
3.D.1.b.iii.	Otros fertilizantes orgánicos aplicados a los suelos	N2O	3.9	3.9	0.01%	306.96%	0.03%	0.05%	98.86%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Biomasa	CH4	4.8	4.8	0.01%	233.02%	0.03%	0.05%	98.88%
1.A.4.a.	Comercial / Institucional - Líquido	CO2	67.1	67.1	0.16%	16.55%	0.03%	0.05%	99.03%
3.B.4.e.	Equinos	N2O	6.3	6.3	0.01%	158.11%	0.02%	0.04%	99.05%
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%	99.34%
2.A.2.	Producción de cal	CO2	149.3	149.3	0.34%	6.32%	0.02%	0.04%	99.69%
3.A.4.d.	Caprinos	CH4	13.3	13.3	0.03%	58.31%	0.02%	0.03%	99.72%
4.F.2.c.	Pastizales convertidos en otras tierras	CO2	8.7	8.7	0.02%	87.85%	0.02%	0.03%	99.74%
4.E.2.a.	Tierras forestales convertidas en asentamientos	CO2	14.9	14.9	0.03%	49.16%	0.02%	0.03%	99.77%
3.A.4.f.	Mulas y asnos	CH4	16.1	16.1	0.04%	42.43%	0.02%	0.03%	99.81%
1.A.2.	Industrias manufactureras y de la construcción - Biomasa	N2O	2.3	2.3	0.01%	275.05%	0.01%	0.03%	99.81%
3.A.4.a.	Búfalos	CH4	3.7	3.7	0.01%	152.97%	0.01%	0.02%	99.82%
5.B.1.	Compostaje	CH4	4.0	4.0	0.01%	141.42%	0.01%	0.02%	99.83%
3.H.	Aplicación de urea	CO2	10.4	10.4	0.02%	53.85%	0.01%	0.02%	99.86%
1.A.1.b.	Refinación del petróleo - Líquido	N2O	2.3	2.3	0.01%	233.02%	0.01%	0.02%	99.86%
3.B.4.e.	Equinos	CH4	7.6	7.6	0.02%	70.71%	0.01%	0.02%	99.88%
3.C.1.	Irrigadas	CH4	2.2	2.2	0.01%	231.70%	0.01%	0.02%	99.88%
1.A.2.	Industrias manufactureras y de la construcción - Biomasa	CH4	1.8	1.8	0.00%	233.05%	0.01%	0.02%	99.89%
5.B.1.	Compostaje	N2O	2.8	2.8	0.01%	141.42%	0.01%	0.02%	99.90%
4.D.2.c.	Pastizales convertidos en humedales	CO2	4.2	4.2	0.01%	87.85%	0.01%	0.02%	99.90%
1.A.2.	Industrias manufactureras y de la construcción - Líquido	N2O	1.5	1.5	0.00%	233.05%	0.01%	0.02%	99.91%
3.B.2.	Ovinos	N2O	1.8	1.8	0.00%	161.55%	0.01%	0.01%	99.91%
1.A.1.b.	Refinación del petróleo - Líquido	CH4	1.2	1.2	0.00%	233.02%	0.01%	0.01%	99.92%
2.A.3.	Producción de vidrio	CO2	3.5	3.5	0.01%	60.21%	0.00%	0.01%	99.92%
1.A.2.	Industrias manufactureras y de la construcción - Líquido	CH4	0.8	0.8	0.00%	233.05%	0.00%	0.01%	99.93%
1.A.4.b.	Residencial - Líquido	CH4	0.8	0.8	0.00%	233.48%	0.00%	0.01%	99.93%
3.B.4.f.	Mulas y asnos	N2O	1.2	1.2	0.00%	152.97%	0.00%	0.01%	99.93%
1.B.2.a.	Petróleo	CH4	2.4	2.4	0.01%	75.06%	0.00%	0.01%	99.94%
3.B.2.	Ovinos	CH4	2.1	2.1	0.00%	78.10%	0.00%	0.01%	99.94%
4.E.2.b.	Tierras de cultivo convertidas en asentamientos	CO2	1.8	1.8	0.00%	87.85%	0.00%	0.01%	99.94%
4.D.2.b.	Tierras de cultivo convertidas en humedales	CO2	1.7	1.7	0.00%	87.85%	0.00%	0.01%	99.95%
2.D.1.	Uso de lubricantes	CO2	2.7	2.7	0.01%	52.29%	0.00%	0.01%	99.95%
4.E.2.c.	Pastizales convertidos en asentamientos	CO2	1.6	1.6	0.00%	87.85%	0.00%	0.01%	99.96%
3.B.1.a.	Vacas lecheras	CH4	2.0	2.0	0.00%	67.27%	0.00%	0.01%	99.96%
2.C.1.	Producción de hierro y acero	CO2	4.4	4.4	0.01%	26.93%	0.00%	0.01%	99.97%
2.D.2.	Uso de la cera de parafina	CO2	1.0	1.0	0.00%	101.24%	0.00%	0.00%	99.98%
3.B.4.f.	Mulas y asnos	CH4	1.5	1.5	0.00%	58.31%	0.00%	0.00%	99.98%
4.F.2.b.	Tierras de cultivo convertidas en otras tierras	CO2	0.9	0.9	0.00%	87.85%	0.00%	0.00%	99.98%
1.A.4.b.	Residencial - Líquido	N2O	0.3	0.3	0.00%	233.48%	0.00%	0.00%	99.98%
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%	99.98%
4.C.2.e.	Otras tierras convertidas en pastizales	CO2	0.7	0.7	0.00%	87.85%	0.00%	0.00%	99.98%
1.A.4.a.	Comercial / Institucional - Líquido	CH4	0.2	0.2	0.00%	233.48%	0.00%	0.00%	99.98%
3.B.4.d.	Caprinos	N2O	0.3	0.3	0.00%	158.11%	0.00%	0.00%	99.98%
4.C.2.c.	Humedales convertidos en pastizales	CO2	0.5	0.5	0.00%	87.85%	0.00%	0.00%	99.99%
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%	99.99%
3.B.4.d.	Caprinos	CH4	0.5	0.5	0.00%	70.71%	0.00%	0.00%	99.99%
1.A.3.a.	Aviación civil	CO2	2.7	2.7	0.01%	8.60%	0.00%	0.00%	99.99%
1.A.4.a.	Comercial / Institucional - Líquido	N2O	0.1	0.1	0.00%	233.48%	0.00%	0.00%	99.99%
2.A.4.	Otros usos de carbonatos en los procesos	CO2	2.5	2.5	0.01%	6.56%	0.00%	0.00%	100.00%
3.B.4.a.	Búfalos	N2O	0.0	0.0	0.00%	212.13%	0.00%	0.00%	100.00%
3.B.4.a.	Búfalos	CH4	0.1	0.1	0.00%	158.11%	0.00%	0.00%	100.00%
4.C.2.d.	Asentamientos convertidos en pastizales	CO2	0.1	0.1	0.00%	87.85%	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%
4.B.2.e.	Otras tierras convertidas en tierras de cultivo	CO2	0.0	0.0	0.00%	87.85%	0.00%	0.00%	100.00%
4.B.2.c.	Humedales convertidos en tierras de cultivo	CO2	0.0	0.0	0.00%	87.85%	0.00%	0.00%	100.00%
4.B.2.d.	Asentamientos convertidos en tierras de cultivo	CO2	0.0	0.0	0.00%	87.85%	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%
	Total		43,292.1	43,292.1	100.00%	16557.08%	53.47%	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,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 Lx,t	Total acumulativo de la columna F
			kt CO ₂ eq	/ kt CO ₂ eq	%	%	%	%	%
1.A.4.b.	Residencial - Biomasa	CH4	911.1	911.1	7.84%	233.48%	18.32%	21.67%	7.84%
3.A.1.b.	Otros vacunos	CH4	2,871.1	2,871.1	24.72%	54.08%	13.37%	15.81%	32.57%
3.D.2.b.	Lixiviación y escurrimiento	N2O	145.5	145.5	1.25%	604.67%	7.57%	8.96%	33.82%
3.D.1.a.	Fertilizantes inorgánicos	N2O	232.7	232.7	2.00%	300.67%	6.02%	7.12%	35.82%
5.A.1.	Sitios de disposición de residuos gestionados	CH4	270.8	270.8	2.33%	202.30%	4.72%	5.58%	38.15%
3.D.2.a.	Deposición atmosférica	N2O	77.8	77.8	0.67%	505.59%	3.39%	4.01%	38.82%
1.A.4.b.	Residencial - Biomasa	N2O	115.0	115.0	0.99%	275.41%	2.73%	3.22%	39.81%
5.A.2.	Sitios de disposición de residuos no gestionados	CH4	141.4	141.4	1.22%	204.27%	2.49%	2.94%	41.03%
3.E.	Quema prescrita de sabanas	CH4	216.7	216.7	1.87%	116.30%	2.17%	2.57%	42.90%
3.D.1.c.	Orina y estiércol depositado por animales de pastoreo	N2O	74.0	74.0	0.64%	337.14%	2.15%	2.54%	43.54%
3.E.	Quema prescrita de sabanas	N2O	187.3	187.3	1.61%	116.30%	1.88%	2.22%	45.15%
3.D.1.d.	Residuos de cosechas	N2O	69.6	69.6	0.60%	309.23%	1.85%	2.19%	45.75%
3.B.5.	Emisiones indirectas de N2O	N2O	38.4	38.4	0.33%	522.02%	1.73%	2.04%	46.08%
1.A.3.b.	Transporte terrestre	CO2	2,199.9	2,199.9	18.94%	8.60%	1.63%	1.93%	65.02%
3.D.1.b.i.	Estiércol animal aplicado a los suelos	N2O	54.4	54.4	0.47%	306.96%	1.44%	1.70%	65.49%
5.C.2.	Incineración abierta de residuos	CH4	56.8	56.8	0.49%	200.00%	0.98%	1.16%	65.98%
3.F.	Quema de residuos agrícola en el campo	CH4	88.3	88.3	0.76%	128.06%	0.97%	1.15%	66.74%
3.A.1.a.	Vacas lecheras	CH4	202.8	202.8	1.75%	54.08%	0.94%	1.12%	68.49%
5.C.2.	Incineración abierta de residuos	CO2	50.3	50.3	0.43%	177.76%	0.77%	0.91%	68.92%
1.A.1.b.	Refinación del petróleo - Líquido	CO2	1,070.2	1,070.2	9.22%	7.62%	0.70%	0.83%	78.13%
3.C.2.	Alimentadas a lluvia	CH4	34.6	34.6	0.30%	231.70%	0.69%	0.82%	78.43%
1.A.3.b.	Transporte terrestre	N2O	29.0	29.0	0.25%	240.05%	0.60%	0.71%	78.68%
1.A.2.	Industrias manufactureras y de la construcción - Líquido	CO2	770.9	770.9	6.64%	8.60%	0.57%	0.68%	85.32%
5.D.1.	Agua residuales domésticas	N2O	68.1	68.1	0.59%	96.03%	0.56%	0.67%	85.91%
5.D.1.	Agua residuales domésticas	CH4	46.8	46.8	0.40%	124.10%	0.50%	0.59%	86.31%
3.B.1.b.	Otros vacunos	N2O	34.0	34.0	0.29%	156.60%	0.46%	0.54%	86.60%
3.A.4.e.	Equinos	CH4	83.2	83.2	0.72%	58.31%	0.42%	0.49%	87.32%
3.A.2.	Dvinos	CH4	71.5	71.5	0.62%	67.08%	0.41%	0.49%	87.93%
1.A.4.b.	Residencial - Líquido	CO2	287.5	287.5	2.48%	16.55%	0.41%	0.48%	90.41%
3.B.3.	Porcinos	N2O	28.9	28.9	0.25%	161.55%	0.40%	0.48%	90.66%
3.B.1.b.	Otros vacunos	CH4	51.3	51.3	0.44%	67.27%	0.30%	0.35%	91.10%
1.A.3.b.	Transporte terrestre	CH4	14.5	14.5	0.12%	230.05%	0.29%	0.34%	91.22%
3.F.	Quema de residuos agrícola en el campo	N2O	21.7	21.7	0.19%	128.06%	0.24%	0.28%	91.41%
3.B.1.a.	Vacas lecheras	N2O	17.3	17.3	0.15%	156.60%	0.23%	0.28%	91.56%
5.C.2.	Incineración abierta de residuos	N2O	12.4	12.4	0.11%	200.00%	0.21%	0.25%	91.67%
5.D.2.	Agua residuales industriales	CH4	21.5	21.5	0.18%	112.41%	0.21%	0.25%	91.85%
2.A.1.	Producción de cemento	CO2	410.5	410.5	3.53%	5.83%	0.21%	0.24%	95.39%
3.B.3.	Porcinos	CH4	21.6	21.6	0.19%	78.10%	0.15%	0.17%	95.57%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Biomasa	N2O	6.0	6.0	0.05%	275.02%	0.14%	0.17%	95.62%
3.B.4.g.	Aves de corral	N2O	9.7	9.7	0.08%	167.71%	0.14%	0.17%	95.71%
3.B.4.g.	Aves de corral	CH4	16.5	16.5	0.14%	90.14%	0.13%	0.15%	95.85%
3.A.3.	Porcinos	CH4	21.6	21.6	0.19%	67.08%	0.12%	0.15%	96.04%
3.D.1.b.iii.	Otros fertilizantes orgánicos aplicados a los suelos	N2O	3.9	3.9	0.03%	306.96%	0.10%	0.12%	96.07%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Biomasa	CH4	4.8	4.8	0.04%	233.02%	0.10%	0.11%	96.11%
1.A.4.a.	Comercial / Institucional - Líquido	CO2	67.1	67.1	0.58%	16.55%	0.10%	0.11%	96.69%
3.B.4.e.	Equinos	N2O	6.3	6.3	0.05%	158.11%	0.09%	0.10%	96.74%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Líquido	CO2	128.3	128.3	1.11%	7.62%	0.08%	0.10%	97.85%
2.A.2.	Producción de cal	CO2	149.3	149.3	1.29%	6.32%	0.08%	0.10%	99.13%
3.A.4.d.	Caprinos	CH4	13.3	13.3	0.11%	58.31%	0.07%	0.08%	99.25%
3.A.4.f.	Mulas y asnos	CH4	16.1	16.1	0.14%	42.43%	0.06%	0.07%	99.39%
1.A.2.	Industrias manufactureras y de la construcción - Biomasa	N2O	2.3	2.3	0.02%	275.05%	0.05%	0.06%	99.41%
3.A.4.a.	Búfalos	CH4	3.7	3.7	0.03%	152.97%	0.05%	0.06%	99.44%
5.B.1.	Compostaje	CH4	4.0	4.0	0.03%	141.42%	0.05%	0.06%	99.47%
3.H.	Aplicación de urea	CO2	10.4	10.4	0.09%	53.85%	0.05%	0.06%	99.56%
1.A.1.b.	Refinación del petróleo - Líquido	N2O	2.3	2.3	0.02%	233.02%	0.05%	0.05%	99.58%
3.B.4.e.	Equinos	CH4	7.6	7.6	0.07%	70.71%	0.05%	0.05%	99.65%
3.C.1.	Irrigadas	CH4	2.2	2.2	0.02%	231.70%	0.04%	0.05%	99.67%
1.A.2.	Industrias manufactureras y de la construcción - Biomasa	CH4	1.8	1.8	0.02%	233.05%	0.04%	0.04%	99.68%
5.B.1.	Compostaje	N2O	2.8	2.8	0.02%	141.42%	0.03%	0.04%	99.71%
1.A.2.	Industrias manufactureras y de la construcción - Líquido	N2O	1.5	1.5	0.01%	233.05%	0.03%	0.04%	99.72%
3.B.2.	Dvinos	N2O	1.8	1.8	0.02%	161.55%	0.02%	0.03%	99.74%
1.A.1.b.	Refinación del petróleo - Líquido	CH4	1.2	1.2	0.01%	233.02%	0.02%	0.03%	99.75%
2.A.3.	Producción de vidrio	CO2	3.5	3.5	0.03%	60.21%	0.02%	0.02%	99.78%
1.A.2.	Industrias manufactureras y de la construcción - Líquido	CH4	0.8	0.8	0.01%	233.05%	0.02%	0.02%	99.78%
1.A.4.b.	Residencial - Líquido	CH4	0.8	0.8	0.01%	233.48%	0.02%	0.02%	99.79%
3.B.4.f.	Mulas y asnos	N2O	1.2	1.2	0.01%	152.97%	0.02%	0.02%	99.80%
1.B.2.a.	Petróleo	CH4	2.4	2.4	0.02%	75.06%	0.02%	0.02%	99.82%
3.B.2.	Dvinos	CH4	2.1	2.1	0.02%	78.10%	0.01%	0.02%	99.84%
2.D.1.	Uso de lubricantes	CO2	2.7	2.7	0.02%	52.29%	0.01%	0.01%	99.86%
3.B.1.a.	Vacas lecheras	CH4	2.0	2.0	0.02%	67.27%	0.01%	0.01%	99.88%
2.C.1.	Producción de hierro y acero	CO2	4.4	4.4	0.04%	26.93%	0.01%	0.01%	99.92%

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 <i>E_{x,t}</i>	Valor absoluto de emisiones o absorciones de 1990 <i> E_{x,t} </i>	Evaluación de nivel <i>L_{x,t}</i>	Incertidumbre combinada <i>U_{x,t}</i>	<i>(L_{x,t} • U_{x,t})</i>	Evaluación de Nivel de 1990 con incertidumbre <i>LUX,t</i>	Total acumulativo de la columna F
			kt CO ₂ eq	kt CO ₂ eq	%	%	%	%	%
2.D.2.	Uso de la cera de parafina	CO2	1.0	1.0	0.01%	101.24%	0.01%	0.01%	99.93%
3.B.4.f.	Mulas y asnos	CH4	1.5	1.5	0.01%	58.31%	0.01%	0.01%	99.94%
1.A.4.b.	Residencial - Líquido	N2O	0.3	0.3	0.00%	233.48%	0.01%	0.01%	99.94%
1.A.4.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Líquido	N2O	0.3	0.3	0.00%	233.02%	0.01%	0.01%	99.94%
1.A.4.a.	Comercial / Institucional - Líquido	CH4	0.2	0.2	0.00%	233.48%	0.00%	0.00%	99.95%
3.B.4.d.	Caprinos	N2O	0.3	0.3	0.00%	158.11%	0.00%	0.00%	99.95%
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%	99.95%
3.B.4.d.	Caprinos	CH4	0.5	0.5	0.00%	70.71%	0.00%	0.00%	99.95%
1.A.3.a.	Aviación civil	CO2	2.7	2.7	0.02%	8.60%	0.00%	0.00%	99.98%
1.A.4.a.	Comercial / Institucional - Líquido	N2O	0.1	0.1	0.00%	233.48%	0.00%	0.00%	99.98%
2.A.4.	Otros usos de carbonatos en los procesos	CO2	2.5	2.5	0.02%	6.56%	0.00%	0.00%	100.00%
3.B.4.a.	Búfalos	N2O	0.0	0.0	0.00%	212.13%	0.00%	0.00%	100.00%
3.B.4.a.	Búfalos	CH4	0.1	0.1	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%
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%
Total			11,613.6	11,613.6	100.00%	14682.73%	84.54%	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 2022 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 2022	Valor absoluto de emisiones o absorciones de 2022	Evaluación de nivel Lx,t	Total acumulativo de la columna F
			Ex,t	Ex,t		
			kt CO ₂ eq	kt CO ₂ eq	%	%
4.A.1.	Tierras forestales que permanecen como tales	CO2	28,940.9	28,940.9	32.53%	32.53%
1.A.3.b.	Transporte terrestre	CO2	11,061.2	11,061.2	12.43%	44.97%
4.A.2.b.	Pastizales convertidos en tierras forestales	CO2	-10,707.6	10,707.6	12.04%	57.00%
4.C.2.a.	Tierras forestales convertidas en pastizales	CO2	10,291.3	10,291.3	11.57%	68.57%
3.A.1.b.	Otros vacunos	CH4	4,344.8	4,344.8	4.88%	73.45%
1.A.2.	Industrias manufactureras y de la construcción - Líquido	CO2	4,048.3	4,048.3	4.55%	78.01%
4.B.2.a.	Tierras forestales convertidas en tierras de cultivo	CO2	3,259.4	3,259.4	3.66%	81.67%
1.A.4.b.	Residencial - Biomasa	CH4	2,586.1	2,586.1	2.91%	84.58%
2.A.1.	Producción de cemento	CO2	1,627.2	1,627.2	1.83%	86.41%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Sólido	CO2	1,485.7	1,485.7	1.67%	88.08%
4.A.2.a.	Tierras de cultivo convertidas en tierras forestales	CO2	-1,290.3	1,290.3	1.45%	89.53%
1.A.4.b.	Residencial - Líquido	CO2	1,151.6	1,151.6	1.29%	90.82%
5.A.1.	Sitios de disposición de residuos gestionados	CH4	750.0	750.0	0.84%	91.66%
5.A.2.	Sitios de disposición de residuos no gestionados	CH4	553.1	553.1	0.62%	92.29%
2.F.1.	Refrigeración y aire acondicionado	HFC	527.2	527.2	0.59%	92.88%
4.A.1.	Tierras forestales que permanecen como tales	CH4	450.3	450.3	0.51%	93.38%
2.A.2.	Producción de cal	CO2	442.7	442.7	0.50%	93.88%
1.A.4.b.	Residencial - Biomasa	N2O	326.3	326.3	0.37%	94.25%
4.F.2.a.	Tierras forestales convertidas en otras tierras	CO2	307.8	307.8	0.35%	94.59%
3.A.1.a.	Vacas lecheras	CH4	306.8	306.8	0.34%	94.94%
3.D.1.d.	Residuos de cosechas	N2O	256.0	256.0	0.29%	95.23%
4.B.2.b.	Pastizales convertidos en tierras de cultivo	CO2	-242.3	242.3	0.27%	95.50%
5.C.2.	Incineración abierta de residuos	CH4	222.8	222.8	0.25%	95.75%
5.D.1.	Aguas residuales domésticas	N2O	215.0	215.0	0.24%	95.99%
5.C.2.	Incineración abierta de residuos	CO2	197.1	197.1	0.22%	96.21%
3.D.2.b.	Lixiviación y escurrimiento	N2O	195.0	195.0	0.22%	96.43%
1.A.3.b.	Transporte terrestre	N2O	144.6	144.6	0.16%	96.60%
4.A.1.	Tierras forestales que permanecen como tales	NO2	125.4	125.4	0.14%	96.74%
3.F.	Quema de residuos agrícola en el campo	CH4	124.4	124.4	0.14%	96.88%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Líquido	CO2	120.8	120.8	0.14%	97.01%
3.E.	Quema prescrita de sabanas	CH4	122.8	122.8	0.14%	97.15%
4.E.2.a.	Tierras forestales convertidas en asentamientos	CO2	122.6	122.6	0.14%	97.29%
3.D.1.c.	Orina y estiércol depositado por animales de pastoreo	N2O	111.0	111.0	0.12%	97.41%
3.D.1.b.i.	Estiércol animal aplicado a los suelos	N2O	106.7	106.7	0.12%	97.53%
3.E.	Quema prescrita de sabanas	N2O	106.1	106.1	0.12%	97.65%
5.D.1.	Aguas residuales domésticas	CH4	95.5	95.5	0.11%	97.76%
3.D.2.a.	Deposición atmosférica	N2O	93.3	93.3	0.10%	97.86%
1.A.3.b.	Transporte terrestre	CH4	82.1	82.1	0.09%	97.96%
3.D.1.a.	Fertilizantes inorgánicos	N2O	81.0	81.0	0.09%	98.05%
1.A.4.a.	Comercial / Institucional - Biomasa	CH4	80.0	80.0	0.09%	98.14%
3.A.4.e.	Equinos	CH4	78.7	78.7	0.09%	98.23%
4.D.2.a.	Tierras forestales convertidas en humedales	CO2	78.6	78.6	0.09%	98.31%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Biomasa	N2O	77.8	77.8	0.09%	98.40%
3.B.1.b.	Otros vacunos	CH4	77.6	77.6	0.09%	98.49%
3.B.5.	Emisiones indirectas de N2O	N2O	75.0	75.0	0.08%	98.57%
5.B.1.	Compostaje	CH4	71.3	71.3	0.08%	98.65%
3.A.2.	Ovinos	CH4	67.7	67.7	0.08%	98.73%
4.B.1.	Tierras de cultivo que permanecen como tales	CO2	66.5	66.5	0.07%	98.80%
5.D.2.	Aguas residuales industriales	CH4	63.1	63.1	0.07%	98.87%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Biomasa	CH4	61.6	61.6	0.07%	98.94%
1.A.4.a.	Comercial / Institucional - Líquido	CO2	58.2	58.2	0.07%	99.01%
3.B.3.	Porcinos	N2O	55.6	55.6	0.06%	99.07%
3.B.1.b.	Otros vacunos	N2O	51.4	51.4	0.06%	99.13%
5.B.1.	Compostaje	N2O	50.6	50.6	0.06%	99.19%
2.C.1.	Producción de hierro y acero	CO2	48.8	48.8	0.05%	99.24%
5.C.2.	Incineración abierta de residuos	N2O	48.7	48.7	0.05%	99.30%
3.A.3.	Porcinos	CH4	41.5	41.5	0.05%	99.34%
3.B.3.	Porcinos	CH4	41.5	41.5	0.05%	99.39%
3.B.4.g.	Aves de corral	CH4	39.7	39.7	0.04%	99.43%
2.D.1.	Uso de lubricantes	CO2	35.2	35.2	0.04%	99.47%
4.F.2.c.	Pastizales convertidos en otras tierras	CO2	35.1	35.1	0.04%	99.51%
3.H.	Aplicación de urea	CO2	32.4	32.4	0.04%	99.55%
3.F.	Quema de residuos agrícola en el campo	N2O	30.5	30.5	0.03%	99.58%
2.A.4.	Otros usos de carbonatos en los procesos	CO2	28.3	28.3	0.03%	99.62%
3.B.1.a.	Vacas lecheras	N2O	26.2	26.2	0.03%	99.65%
4.C.2.b.	Tierras de cultivo convertidas en pastizales	CO2	24.2	24.2	0.03%	99.67%
4.E.2.b.	Tierras de cultivo convertidas en asentamientos	CO2	24.0	24.0	0.03%	99.70%
3.B.4.g.	Aves de corral	N2O	23.3	23.3	0.03%	99.73%
4.C.2.e.	Otras tierras convertidas en pastizales	CO2	-22.7	22.7	0.03%	99.75%
3.C.2.	Alimentadas a lluvia	CH4	21.4	21.4	0.02%	99.78%
4.E.2.c.	Pastizales convertidos en asentamientos	CO2	21.1	21.1	0.02%	99.80%
2.A.3.	Producción de vidrio	CO2	19.8	19.8	0.02%	99.82%

A Código	B Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero	C GEI	D	E	F	G
			Emisiones o absorciones de 2022 Ex,t kt CO ₂ eq	Valor absoluto de emisiones o absorciones de 2022 Ex,t kt CO ₂ eq	Evaluación de nivel Lx,t %	Total acumulativo de la columna F %
4.C.2.c.	Humedales convertidos en pastizales	CO2	-15.9	15.9	0.02%	99.84%
3.A.4.f.	Mulas y asnos	CH4	14.1	14.1	0.02%	99.85%
3.A.4.d.	Caprinos	CH4	12.9	12.9	0.01%	99.87%
3.D.1.b.iii.	Otros fertilizantes orgánicos aplicados a los suelos	N2O	12.5	12.5	0.01%	99.88%
1.A.4.a.	Comercial / Institucional - Biomasa	N2O	10.1	10.1	0.01%	99.89%
2.D.2.	Uso de la cera de parafina	CO2	9.8	9.8	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	CH4	7.2	7.2	0.01%	99.92%
1.A.2.	Industrias manufactureras y de la construcción - Líquido	N2O	6.8	6.8	0.01%	99.93%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Sólido	N2O	6.2	6.2	0.01%	99.94%
3.B.4.e.	Equinos	N2O	6.0	6.0	0.01%	99.95%
1.A.3.a.	Aviación civil	CO2	5.5	5.5	0.01%	99.95%
4.B.2.e.	Otras tierras convertidas en tierras de cultivo	CO2	-4.1	4.1	0.00%	99.96%
3.A.4.a.	Búfalos	CH4	3.7	3.7	0.00%	99.96%
1.A.2.	Industrias manufactureras y de la construcción - Líquido	CH4	3.7	3.7	0.00%	99.96%
4.D.2.b.	Tierras de cultivo convertidas en humedales	CO2	3.5	3.5	0.00%	99.97%
4.F.2.b.	Tierras de cultivo convertidas en otras tierras	CO2	3.5	3.5	0.00%	99.97%
3.B.1.a.	Vacas lecheras	CH4	3.0	3.0	0.00%	99.98%
4.B.2.d.	Asentamientos convertidos en tierras de cultivo	CO2	-2.6	2.6	0.00%	99.98%
1.A.4.b.	Residencial - Líquido	CH4	2.6	2.6	0.00%	99.98%
4.C.2.d.	Asentamientos convertidos en pastizales	CO2	-2.3	2.3	0.00%	99.98%
3.C.1.	Irrigadas	CH4	2.1	2.1	0.00%	99.99%
3.B.2.	Ovinos	CH4	2.0	2.0	0.00%	99.99%
1.A.1.b.	Refinación del petróleo - Líquido	CO2	1.7	1.7	0.00%	99.99%
3.B.2.	Ovinos	N2O	1.7	1.7	0.00%	99.99%
4.B.2.c.	Humedales convertidos en tierras de cultivo	CO2	-1.5	1.5	0.00%	99.99%
3.B.4.f.	Mulas y asnos	CH4	1.3	1.3	0.00%	100.00%
3.B.4.f.	Mulas y asnos	N2O	1.1	1.1	0.00%	100.00%
2.C.2.	Producción de ferroaleaciones	CO2	0.6	0.6	0.00%	100.00%
1.A.4.b.	Residencial - Líquido	N2O	0.5	0.5	0.00%	100.00%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Sólido	CH4	0.4	0.4	0.00%	100.00%
3.B.4.d.	Caprinos	CH4	0.4	0.4	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	0.2	0.2	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	CH4	0.1	0.1	0.00%	100.00%
3.B.4.a.	Búfalos	N2O	0.0	0.0	0.00%	100.00%
1.A.3.a.	Aviación civil	N2O	0.0	0.0	0.00%	100.00%
1.B.2.a.	Petróleo	CH4	0.0	0.0	0.00%	100.00%
1.A.1.b.	Refinación del petróleo - Líquido	N2O	0.0	0.0	0.00%	100.00%
1.A.1.b.	Refinación del petróleo - Líquido	CH4	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			64,382.5	88,960.4	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 2022 sin UTCUTS, aplicando el Método 1

A Código	B Categorías de fuente de gases de efecto invernadero	C GEI	D	E	F	G
			Emisiones o absorciones de 2022 Ex,t kt CO ₂ eq	Valor absoluto de emisiones o absorciones de 2022 Ex,t kt CO ₂ eq	Evaluación de nivel Lx,t %	Total acumulativo de la columna F %
1.A.3.b.	Transporte terrestre	CO2	11,061.2	11,061.2	33.61%	33.61%
3.A.1.b.	Otros vacunos	CH4	4,344.8	4,344.8	13.20%	46.81%
1.A.2.	Industrias manufactureras y de la construcción - Líquido	CO2	4,048.3	4,048.3	12.30%	59.12%
1.A.4.b.	Residencial - Biomasa	CH4	2,586.1	2,586.1	7.86%	66.98%
2.A.1.	Producción de cemento	CO2	1,627.2	1,627.2	4.94%	71.92%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Sólido	CO2	1,485.7	1,485.7	4.51%	76.43%
1.A.4.b.	Residencial - Líquido	CO2	1,151.6	1,151.6	3.50%	79.93%
5.A.1.	Sitios de disposición de residuos gestionados	CH4	750.0	750.0	2.28%	82.21%
5.A.2.	Sitios de disposición de residuos no gestionados	CH4	553.1	553.1	1.68%	83.89%
2.F.1.	Refrigeración y aire acondicionado	HFC	527.2	527.2	1.60%	85.50%
2.A.2.	Producción de cal	CO2	442.7	442.7	1.35%	86.84%
1.A.4.b.	Residencial - Biomasa	N2O	326.3	326.3	0.99%	87.83%
3.A.1.a.	Vacas lecheras	CH4	306.8	306.8	0.93%	88.77%
3.D.1.d.	Residuos de cosechas	N2O	256.0	256.0	0.78%	89.54%
5.C.2.	Incineración abierta de residuos	CH4	222.8	222.8	0.68%	90.22%

A	B	C	D	E	F	G
Código	Categorías de fuente de gases de efecto invernadero	GEI	Emisiones o absorciones de 2022 Ex,t	Valor absoluto de emisiones o absorciones de 2022 Ex,t	Evaluación de nivel Lx,t	Total acumulativo de la columna F
			kt CO ₂ eq	kt CO ₂ eq	%	%
5.D.1.	Aguas residuales domésticas	N2O	215.0	215.0	0.65%	90.87%
5.C.2.	Incineración abierta de residuos	CO2	197.1	197.1	0.60%	91.47%
3.D.2.b.	Lixiviación y escurrimiento	N2O	195.0	195.0	0.59%	92.07%
1.A.3.b.	Transporte terrestre	N2O	144.6	144.6	0.44%	92.50%
3.F.	Quema de residuos agrícola en el campo	CH4	124.4	124.4	0.38%	92.88%
3.E.	Quema prescrita de sabanas	CH4	122.8	122.8	0.37%	93.26%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Líquido	CO2	120.8	120.8	0.37%	93.62%
3.D.1.c.	Orina y estiércol depositado por animales de pastoreo	N2O	111.0	111.0	0.34%	93.96%
3.D.1.b.i.	Estiércol animal aplicado a los suelos	N2O	106.7	106.7	0.32%	94.28%
3.E.	Quema prescrita de sabanas	N2O	106.1	106.1	0.32%	94.61%
5.D.1.	Aguas residuales domésticas	CH4	95.5	95.5	0.29%	94.90%
3.D.2.a.	Deposición atmosférica	N2O	93.3	93.3	0.28%	95.18%
1.A.3.b.	Transporte terrestre	CH4	82.1	82.1	0.25%	95.43%
3.D.1.a.	Fertilizantes inorgánicos	N2O	81.0	81.0	0.25%	95.68%
1.A.4.a.	Comercial / Institucional - Biomasa	CH4	80.0	80.0	0.24%	95.92%
3.A.4.e.	Equinos	CH4	78.7	78.7	0.24%	96.16%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Biomasa	N2O	77.8	77.8	0.24%	96.39%
3.B.1.b.	Otros vacunos	CH4	77.6	77.6	0.24%	96.63%
3.B.5.	Emisiones indirectas de N2O	N2O	75.0	75.0	0.23%	96.86%
5.B.1.	Compostaje	CH4	71.3	71.3	0.22%	97.07%
3.A.2.	Ovinos	CH4	67.7	67.7	0.21%	97.28%
5.D.2.	Aguas residuales industriales	CH4	63.1	63.1	0.19%	97.47%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Biomasa	CH4	61.6	61.6	0.19%	97.66%
1.A.4.a.	Comercial / Institucional - Líquido	CO2	58.2	58.2	0.18%	97.84%
3.B.3.	Porcinos	N2O	55.6	55.6	0.17%	98.01%
3.B.1.b.	Otros vacunos	N2O	51.4	51.4	0.16%	98.16%
5.B.1.	Compostaje	N2O	50.6	50.6	0.15%	98.32%
2.C.1.	Producción de hierro y acero	CO2	48.8	48.8	0.15%	98.46%
5.C.2.	Incineración abierta de residuos	N2O	48.7	48.7	0.15%	98.61%
3.A.3.	Porcinos	CH4	41.5	41.5	0.13%	98.74%
3.B.3.	Porcinos	CH4	41.5	41.5	0.13%	98.86%
3.B.4.g.	Aves de corral	CH4	39.7	39.7	0.12%	98.98%
2.D.1.	Uso de lubricantes	CO2	35.2	35.2	0.11%	99.09%
3.H.	Aplicación de urea	CO2	32.4	32.4	0.10%	99.19%
3.F.	Quema de residuos agrícola en el campo	N2O	30.5	30.5	0.09%	99.28%
2.A.4.	Otros usos de carbonatos en los procesos	CO2	28.3	28.3	0.09%	99.37%
3.B.1.a.	Vacas lecheras	N2O	26.2	26.2	0.08%	99.45%
3.B.4.g.	Aves de corral	N2O	23.3	23.3	0.07%	99.52%
3.C.2.	Alimentadas a lluvia	CH4	21.4	21.4	0.06%	99.58%
2.A.3.	Producción de vidrio	CO2	19.8	19.8	0.06%	99.64%
3.A.4.f.	Mulas y asnos	CH4	14.1	14.1	0.04%	99.69%
3.A.4.d.	Caprinos	CH4	12.9	12.9	0.04%	99.73%
3.D.1.b.iii.	Otros fertilizantes orgánicos aplicados a los suelos	N2O	12.5	12.5	0.04%	99.76%
1.A.4.a.	Comercial / Institucional - Biomasa	N2O	10.1	10.1	0.03%	99.80%
2.D.2.	Uso de la cera de parafina	CO2	9.8	9.8	0.03%	99.83%
3.B.4.e.	Equinos	CH4	7.2	7.2	0.02%	99.85%
1.A.2.	Industrias manufactureras y de la construcción - Líquido	N2O	6.8	6.8	0.02%	99.87%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Sólido	N2O	6.2	6.2	0.02%	99.89%
3.B.4.e.	Equinos	N2O	6.0	6.0	0.02%	99.90%
1.A.3.a.	Aviación civil	CO2	5.5	5.5	0.02%	99.92%
3.A.4.a.	Búfalos	CH4	3.7	3.7	0.01%	99.93%
1.A.2.	Industrias manufactureras y de la construcción - Líquido	CH4	3.7	3.7	0.01%	99.94%
3.B.1.a.	Vacas lecheras	CH4	3.0	3.0	0.01%	99.95%
1.A.4.b.	Residencial - Líquido	CH4	2.6	2.6	0.01%	99.96%
3.C.1.	Irrigadas	CH4	2.1	2.1	0.01%	99.97%
3.B.2.	Ovinos	CH4	2.0	2.0	0.01%	99.97%
1.A.1.b.	Refinación del petróleo - Líquido	CO2	1.7	1.7	0.01%	99.98%
3.B.2.	Ovinos	N2O	1.7	1.7	0.01%	99.98%
3.B.4.f.	Mulas y asnos	CH4	1.3	1.3	0.00%	99.99%
3.B.4.f.	Mulas y asnos	N2O	1.1	1.1	0.00%	99.99%
2.C.2.	Producción de ferroaleaciones	CO2	0.6	0.6	0.00%	99.99%
1.A.4.b.	Residencial - Líquido	N2O	0.5	0.5	0.00%	99.99%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Sólido	CH4	0.4	0.4	0.00%	100.00%
3.B.4.d.	Caprinos	CH4	0.4	0.4	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	0.2	0.2	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	CH4	0.1	0.1	0.00%	100.00%
3.B.4.a.	Búfalos	N2O	0.0	0.0	0.00%	100.00%
1.A.3.a.	Aviación civil	N2O	0.0	0.0	0.00%	100.00%
1.B.2.a.	Petróleo	CH4	0.0	0.0	0.00%	100.00%
1.A.1.b.	Refinación del petróleo - Líquido	N2O	0.0	0.0	0.00%	100.00%
1.A.1.b.	Refinación del petróleo - Líquido	CH4	0.0	0.0	0.00%	100.00%
1.A.3.a.	Aviación civil	CH4	0.0	0.0	0.00%	100.00%

A	B	C	D	E	F	G
Código	Categorías de fuente de gases de efecto invernadero	GEI	Emisiones o absorciones de 2022 Ex,t	Valor absoluto de emisiones o absorciones de 2022 Ex,t	Evaluación de nivel Lx,t	Total acumulativo de la columna F
			kt CO ₂ eq	kt CO ₂ eq	%	%
1.B.2.a.	Petróleo	CO2	0.0	0.0	0.00%	100.00%
	Total		32,908.8	32,908.2	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 2022 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 2022 Ex,t	Valor absoluto de emisiones o absorciones de 2022 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	28,940.9	28,940.9	32.53%	33.07%	10.76%	21.22%	32.53%
1.A.4.b.	Residencial - Biomasa	CH4	2,586.1	2,586.1	2.91%	233.48%	6.79%	13.39%	35.44%
4.A.2.b.	Pastizales convertidos en tierras forestales	CO2	-10,707.6	10,707.6	12.04%	49.16%	5.92%	11.67%	47.48%
4.C.2.a.	Tierras forestales convertidas en pastizales	CO2	10,291.3	10,291.3	11.57%	49.16%	5.69%	11.22%	59.04%
3.A.1.b.	Otros vacunos	CH4	4,344.8	4,344.8	4.88%	54.08%	2.64%	5.21%	63.93%
4.B.2.a.	Tierras forestales convertidas en tierras de cultivo	CO2	3,259.4	3,259.4	3.66%	49.16%	1.80%	3.55%	67.59%
5.A.1.	Sitios de disposición de residuos gestionados	CH4	750.0	750.0	0.84%	202.30%	1.71%	3.36%	68.44%
3.D.2.b.	Lixiviación y escurrimiento	N2O	195.0	195.0	0.22%	604.67%	1.33%	2.61%	68.65%
5.A.2.	Sitios de disposición de residuos no gestionados	CH4	553.1	553.1	0.62%	204.27%	1.27%	2.51%	69.28%
1.A.3.b.	Transporte terrestre	CO2	11,061.2	11,061.2	12.43%	8.60%	1.07%	2.11%	81.71%
1.A.4.b.	Residencial - Biomasa	N2O	326.3	326.3	0.37%	275.41%	1.01%	1.99%	82.08%
3.D.1.d.	Residuos de cosechas	N2O	256.0	256.0	0.29%	309.23%	0.89%	1.76%	82.36%
4.A.2.a.	Tierras de cultivo convertidas en tierras forestales	CO2	-1,290.3	1,290.3	1.45%	49.16%	0.71%	1.41%	83.81%
3.D.2.a.	Deposición atmosférica	N2O	93.3	93.3	0.10%	505.59%	0.53%	1.05%	83.92%
5.C.2.	Incineración abierta de residuos	CH4	222.8	222.8	0.25%	200.00%	0.50%	0.99%	84.17%
4.A.1.	Tierras forestales que permanecen como tales	CH4	450.3	450.3	0.51%	91.55%	0.46%	0.91%	84.68%
3.B.5.	Emisiones indirectas de N2O	N2O	75.0	75.0	0.08%	522.02%	0.44%	0.87%	84.76%
3.D.1.c.	Orina y estiércol depositado por animales de pastoreo	N2O	111.0	111.0	0.12%	337.14%	0.42%	0.83%	84.89%
2.F.1.	Refrigeración y aire acondicionado	HFC	527.2	527.2	0.59%	69.25%	0.41%	0.81%	85.48%
5.C.2.	Incineración abierta de residuos	CO2	197.1	197.1	0.22%	177.76%	0.39%	0.78%	85.70%
1.A.2.	Industrias manufactureras y de la construcción - Líquido	CO2	4,048.3	4,048.3	4.55%	8.60%	0.39%	0.77%	90.25%
1.A.3.b.	Transporte terrestre	N2O	144.6	144.6	0.16%	240.05%	0.39%	0.77%	90.41%
3.D.1.b.i.	Estiércol animal aplicado a los suelos	N2O	106.7	106.7	0.12%	306.96%	0.37%	0.73%	90.53%
3.D.1.a.	Fertilizantes inorgánicos	N2O	81.0	81.0	0.09%	300.67%	0.27%	0.54%	90.62%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Biomasa	N2O	77.8	77.8	0.09%	275.02%	0.24%	0.47%	90.71%
4.B.2.b.	Pastizales convertidos en tierras de cultivo	CO2	-242.3	242.3	0.27%	87.85%	0.24%	0.47%	90.98%
5.D.1.	Aguas residuales domésticas	N2O	215.0	215.0	0.24%	96.03%	0.23%	0.46%	91.23%
1.A.4.b.	Residencial - Líquido	CO2	1,151.6	1,151.6	1.29%	16.55%	0.21%	0.42%	92.52%
1.A.3.b.	Transporte terrestre	CH4	82.1	82.1	0.09%	230.05%	0.21%	0.42%	92.61%
1.A.4.a.	Comercial / Institucional - Biomasa	CH4	80.0	80.0	0.09%	233.48%	0.21%	0.41%	92.70%
3.A.1.a.	Vacas lecheras	CH4	306.8	306.8	0.34%	54.08%	0.19%	0.37%	93.05%
3.F.	Quema de residuos agrícola en el campo	CH4	124.4	124.4	0.14%	128.06%	0.18%	0.35%	93.19%
4.F.2.a.	Tierras forestales convertidas en otras tierras	CO2	307.8	307.8	0.35%	49.16%	0.17%	0.34%	93.53%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Biomasa	CH4	61.6	61.6	0.07%	233.02%	0.16%	0.32%	93.60%
3.E.	Quema prescrita de sabanas	CH4	122.8	122.8	0.14%	116.30%	0.16%	0.32%	93.74%
3.E.	Quema prescrita de sabanas	N2O	106.1	106.1	0.12%	116.30%	0.14%	0.27%	93.86%
5.D.1.	Aguas residuales domésticas	CH4	95.5	95.5	0.11%	124.10%	0.13%	0.26%	93.97%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Sólido	CO2	1,485.7	1,485.7	1.67%	7.62%	0.13%	0.25%	95.64%
4.A.1.	Tierras forestales que permanecen como tales	NO2	125.4	125.4	0.14%	87.80%	0.12%	0.24%	95.78%
5.B.1.	Compostaje	CH4	71.3	71.3	0.08%	141.42%	0.11%	0.22%	95.86%
5.C.2.	Incineración abierta de residuos	N2O	48.7	48.7	0.05%	200.00%	0.11%	0.22%	95.91%
2.A.1.	Producción de cemento	CO2	1,627.2	1,627.2	1.83%	5.83%	0.11%	0.21%	97.74%
3.B.3.	Porcinos	N2O	55.6	55.6	0.06%	161.55%	0.10%	0.20%	97.80%
3.B.1.b.	Otros vacunos	N2O	51.4	51.4	0.06%	156.60%	0.09%	0.18%	97.86%
5.B.1.	Compostaje	N2O	50.6	50.6	0.06%	141.42%	0.08%	0.16%	97.92%
5.D.2.	Aguas residuales industriales	CH4	63.1	63.1	0.07%	112.41%	0.08%	0.16%	97.99%
4.E.2.a.	Tierras forestales convertidas en asentamientos	CO2	122.6	122.6	0.14%	49.16%	0.07%	0.13%	98.13%
4.B.1.	Tierras de cultivo que permanecen como tales	CO2	66.5	66.5	0.07%	87.85%	0.07%	0.13%	98.20%
3.B.1.b.	Otros vacunos	CH4	77.6	77.6	0.09%	67.27%	0.06%	0.12%	98.29%
3.C.2.	Alimentadas a lluvia	CH4	21.4	21.4	0.02%	231.70%	0.06%	0.11%	98.31%
3.A.4.e.	Equinos	CH4	78.7	78.7	0.09%	58.31%	0.05%	0.10%	98.40%
3.A.2.	Dvinos	CH4	67.7	67.7	0.08%	67.08%	0.05%	0.10%	98.48%
3.B.1.a.	Vacas lecheras	N2O	26.2	26.2	0.03%	156.60%	0.05%	0.09%	98.51%
3.F.	Quema de residuos agrícola en el campo	N2O	30.5	30.5	0.03%	128.06%	0.04%	0.09%	98.54%
3.B.4.g.	Aves de corral	N2O	23.3	23.3	0.03%	167.71%	0.04%	0.09%	98.57%
4.D.2.a.	Tierras forestales convertidas en humedales	CO2	78.6	78.6	0.09%	49.16%	0.04%	0.09%	98.66%
3.D.1.b.iii.	Otros fertilizantes orgánicos aplicados a los suelos	N2O	12.5	12.5	0.01%	306.96%	0.04%	0.09%	98.67%
3.B.4.g.	Aves de corral	CH4	39.7	39.7	0.04%	90.14%	0.04%	0.08%	98.72%
3.B.3.	Porcinos	CH4	41.5	41.5	0.05%	78.10%	0.04%	0.07%	98.76%

A Código	B Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero	C GEI	D Emisiones o absorciones de 2022 Ex,t	E Valor absoluto de emisiones o absorciones de 2022 Ex,t		F Evaluación de nivel Lx,t	G Incertidumbre combinada Ux,t	H (Lx,t * Ux,t)	I Evaluación de Nivel de 2018 con incertidumbre LUx,t	J Total acumulativo de la columna F				
				kt CO ₂ eq	kt CO ₂ eq						%	%	%	%
4.F.2.c.	Pastizales convertidos en otras tierras	CO2	35.1	35.1	0.04%	87.85%	0.03%	0.07%	98.80%					
2.A.2.	Producción de cal	CO2	442.7	442.7	0.50%	6.32%	0.03%	0.06%	99.30%					
3.A.3.	Porcinos	CH4	41.5	41.5	0.05%	67.08%	0.03%	0.06%	99.35%					
1.A.4.a.	Comercial / Institucional - Biomasa	N2O	10.1	10.1	0.01%	275.41%	0.03%	0.06%	99.36%					
4.C.2.b.	Tierras de cultivo convertidas en pastizales	CO2	24.2	24.2	0.03%	87.85%	0.02%	0.05%	99.38%					
4.E.2.b.	Tierras de cultivo convertidas en asentamientos	CO2	24.0	24.0	0.03%	87.85%	0.02%	0.05%	99.41%					
4.C.2.e.	Otras tierras convertidas en pastizales	CO2	-22.7	22.7	0.03%	87.85%	0.02%	0.04%	99.44%					
4.E.2.c.	Pastizales convertidos en asentamientos	CO2	21.1	21.1	0.02%	87.85%	0.02%	0.04%	99.46%					
2.D.1.	Uso de lubricantes	CO2	35.2	35.2	0.04%	52.29%	0.02%	0.04%	99.50%					
3.H.	Aplicación de urea	CO2	32.4	32.4	0.04%	53.85%	0.02%	0.04%	99.54%					
1.A.2.	Industrias manufactureras y de la construcción - Líquido	N2O	6.8	6.8	0.01%	233.05%	0.02%	0.04%	99.54%					
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Sólido	N2O	6.2	6.2	0.01%	233.02%	0.02%	0.03%	99.55%					
4.C.2.c.	Humedales convertidos en pastizales	CO2	-15.9	15.9	0.02%	87.85%	0.02%	0.03%	99.57%					
2.C.1.	Producción de hierro y acero	CO2	48.8	48.8	0.05%	26.93%	0.01%	0.03%	99.62%					
2.A.3.	Producción de vidrio	CO2	19.8	19.8	0.02%	60.21%	0.01%	0.03%	99.65%					
2.D.2.	Uso de la cera de parafina	CO2	9.8	9.8	0.01%	101.24%	0.01%	0.02%	99.66%					
1.A.4.a.	Comercial / Institucional - Líquido	CO2	58.2	58.2	0.07%	16.55%	0.01%	0.02%	99.72%					
3.B.4.e.	Equinos	N2O	6.0	6.0	0.01%	158.11%	0.01%	0.02%	99.73%					
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Líquido	CO2	120.8	120.8	0.14%	7.62%	0.01%	0.02%	99.87%					
1.A.2.	Industrias manufactureras y de la construcción - Líquido	CH4	3.7	3.7	0.00%	233.05%	0.01%	0.02%	99.87%					
4.D.2.c.	Pastizales convertidos en humedales	CO2	8.8	8.8	0.01%	87.85%	0.01%	0.02%	99.88%					
3.A.4.d.	Caprinos	CH4	12.9	12.9	0.01%	58.31%	0.01%	0.02%	99.89%					
3.A.4.f.	Mulas y asnos	CH4	14.1	14.1	0.02%	42.43%	0.01%	0.01%	99.91%					
1.A.4.b.	Residencial - Líquido	CH4	2.6	2.6	0.00%	233.48%	0.01%	0.01%	99.91%					
3.A.4.a.	Búfalos	CH4	3.7	3.7	0.00%	152.97%	0.01%	0.01%	99.92%					
3.B.4.e.	Equinos	CH4	7.2	7.2	0.01%	70.71%	0.01%	0.01%	99.92%					
3.C.1.	Irrigadas	CH4	2.1	2.1	0.00%	231.70%	0.01%	0.01%	99.93%					
4.B.2.e.	Otras tierras convertidas en tierras de cultivo	CO2	-4.1	4.1	0.00%	87.85%	0.00%	0.01%	99.93%					
4.D.2.b.	Tierras de cultivo convertidas en humedales	CO2	3.5	3.5	0.00%	87.85%	0.00%	0.01%	99.94%					
4.F.2.b.	Tierras de cultivo convertidas en otras tierras	CO2	3.5	3.5	0.00%	87.85%	0.00%	0.01%	99.94%					
3.B.2.	Dvinos	N2O	1.7	1.7	0.00%	161.55%	0.00%	0.01%	99.94%					
4.B.2.d.	Asentamientos convertidos en tierras de cultivo	CO2	-2.6	2.6	0.00%	87.85%	0.00%	0.00%	99.94%					
3.B.1.a.	Vacas lecheras	CH4	3.0	3.0	0.00%	67.27%	0.00%	0.00%	99.95%					
4.C.2.d.	Asentamientos convertidos en pastizales	CO2	-2.3	2.3	0.00%	87.85%	0.00%	0.00%	99.95%					
2.A.4.	Otros usos de carbonatos en los procesos	CO2	28.3	28.3	0.03%	6.56%	0.00%	0.00%	99.98%					
3.B.4.f.	Mulas y asnos	N2O	1.1	1.1	0.00%	152.97%	0.00%	0.00%	99.98%					
3.B.2.	Dvinos	CH4	2.0	2.0	0.00%	78.10%	0.00%	0.00%	99.99%					
4.B.2.c.	Humedales convertidos en tierras de cultivo	CO2	-1.5	1.5	0.00%	87.85%	0.00%	0.00%	99.99%					
1.A.4.b.	Residencial - Líquido	N2O	0.5	0.5	0.00%	233.48%	0.00%	0.00%	99.99%					
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Sólido	CH4	0.4	0.4	0.00%	200.02%	0.00%	0.00%	99.99%					
3.B.4.f.	Mulas y asnos	CH4	1.3	1.3	0.00%	58.31%	0.00%	0.00%	99.99%					
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Líquido	N2O	0.2	0.2	0.00%	233.02%	0.00%	0.00%	99.99%					
1.A.3.a.	Aviación civil	CO2	5.5	5.5	0.01%	8.60%	0.00%	0.00%	100.00%					
1.A.4.a.	Comercial / Institucional - Líquido	CH4	0.2	0.2	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%					
3.B.4.d.	Caprinos	CH4	0.4	0.4	0.00%	70.71%	0.00%	0.00%	100.00%					
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%	100.00%					
1.A.4.a.	Comercial / Institucional - Líquido	N2O	0.1	0.1	0.00%	233.48%	0.00%	0.00%	100.00%					
2.C.2.	Producción de ferroaleaciones	CO2	0.6	0.6	0.00%	25.50%	0.00%	0.00%	100.00%					
1.A.1.b.	Refinación del petróleo - Líquido	CO2	1.7	1.7	0.00%	7.62%	0.00%	0.00%	100.00%					
3.B.4.a.	Búfalos	N2O	0.0	0.0	0.00%	212.13%	0.00%	0.00%	100.00%					
3.B.4.a.	Búfalos	CH4	0.1	0.1	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%					
1.B.2.a.	Petróleo	CH4	0.0	0.0	0.00%	75.06%	0.00%	0.00%	100.00%					
1.A.1.b.	Refinación del petróleo - Líquido	N2O	0.0	0.0	0.00%	233.02%	0.00%	0.00%	100.00%					
1.A.1.b.	Refinación del petróleo - Líquido	CH4	0.0	0.0	0.00%	233.02%	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%					
	Total		64,382.5	88,960.4	100.00%	16557.08%	50.69%	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 2022 sin UTCUTS, aplicando el Método 2

A	B	C	D	E		F	G	H	I	J
				Emisiones o absorciones de 2022 Ex,t	Valor absoluto de emisiones o absorciones de 2022 Ex,t					
Código	Categorías de fuente de gases de efecto invernadero	GEI	kt CO ₂ eq	kt CO ₂ eq	%	%	%	%	%	%
1.A.4.b.	Residencial - Biomasa	CH4	2,586.1	2,586.1	7.86%	233.48%	18.35%	27.73%	7.86%	
3.A.1.b.	Dtros vacunos	CH4	4,344.8	4,344.8	13.20%	54.08%	7.14%	10.79%	21.06%	
5.A.1.	Sitios de disposición de residuos gestionados	CH4	750.0	750.0	2.28%	202.30%	4.61%	6.97%	23.34%	
3.D.2.b.	Lixiviación y escurrimiento	N2O	195.0	195.0	0.59%	604.67%	3.58%	5.42%	23.93%	
5.A.2.	Sitios de disposición de residuos no gestionados	CH4	553.1	553.1	1.68%	204.27%	3.43%	5.19%	25.61%	
1.A.3.b.	Transporte terrestre	CO2	11,061.2	11,061.2	33.61%	8.60%	2.89%	4.37%	59.23%	
1.A.4.b.	Residencial - Biomasa	N2O	326.3	326.3	0.99%	275.41%	2.73%	4.13%	60.22%	
3.D.1.d.	Residuos de cosechas	N2O	256.0	256.0	0.78%	309.23%	2.41%	3.64%	61.00%	
3.D.2.a.	Deposición atmosférica	N2O	93.3	93.3	0.28%	505.59%	1.43%	2.17%	61.28%	
5.C.2.	Incineración abierta de residuos	CH4	222.8	222.8	0.68%	200.00%	1.35%	2.05%	61.96%	
3.B.5.	Emisiones indirectas de N2O	N2O	75.0	75.0	0.23%	522.02%	1.19%	1.80%	62.18%	
3.D.1.c.	Orina y estiércol depositado por animales de pastoreo	N2O	111.0	111.0	0.34%	337.14%	1.14%	1.72%	62.52%	
2.F.1.	Refrigeración y aire acondicionado	HFC	527.2	527.2	1.60%	69.25%	1.11%	1.68%	64.12%	
5.C.2.	Incineración abierta de residuos	CO2	197.1	197.1	0.60%	177.76%	1.06%	1.61%	64.72%	
1.A.2.	Industrias manufactureras y de la construcción - Líquido	CO2	4,048.3	4,048.3	12.30%	8.60%	1.06%	1.60%	77.02%	
1.A.3.b.	Transporte terrestre	N2O	144.6	144.6	0.44%	240.05%	1.06%	1.59%	77.46%	
3.D.1.b.i.	Estiércol animal aplicado a los suelos	N2O	106.7	106.7	0.32%	306.96%	1.00%	1.50%	77.79%	
3.D.1.a.	Fertilizantes inorgánicos	N2O	81.0	81.0	0.25%	300.67%	0.74%	1.12%	78.03%	
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Biomasa	N2O	77.8	77.8	0.24%	275.02%	0.65%	0.98%	78.27%	
5.D.1.	Aguas residuales domésticas	N2O	215.0	215.0	0.65%	96.03%	0.63%	0.95%	78.92%	
1.A.4.b.	Residencial - Líquido	CO2	1,151.6	1,151.6	3.50%	16.55%	0.58%	0.88%	82.42%	
1.A.3.b.	Transporte terrestre	CH4	82.1	82.1	0.25%	230.05%	0.57%	0.87%	82.67%	
1.A.4.a.	Comercial / Institucional - Biomasa	CH4	80.0	80.0	0.24%	233.48%	0.57%	0.86%	82.92%	
3.A.1.a.	Vacas lecheras	CH4	306.8	306.8	0.93%	54.08%	0.50%	0.76%	83.85%	
3.F.	Quema de residuos agrícola en el campo	CH4	124.4	124.4	0.38%	128.06%	0.48%	0.73%	84.23%	
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Biomasa	CH4	61.6	61.6	0.19%	233.02%	0.44%	0.66%	84.41%	
3.E.	Quema prescrita de sabanas	CH4	122.8	122.8	0.37%	116.30%	0.43%	0.66%	84.79%	
3.E.	Quema prescrita de sabanas	N2O	106.1	106.1	0.32%	116.30%	0.37%	0.57%	85.11%	
5.D.1.	Aguas residuales domésticas	CH4	95.5	95.5	0.29%	124.10%	0.36%	0.54%	85.40%	
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Sólido	CO2	1,485.7	1,485.7	4.51%	7.62%	0.34%	0.52%	89.91%	
5.B.1.	Compostaje	CH4	71.3	71.3	0.22%	141.42%	0.31%	0.46%	90.13%	
5.C.2.	Incineración abierta de residuos	N2O	48.7	48.7	0.15%	200.00%	0.30%	0.45%	90.28%	
2.A.1.	Producción de cemento	CO2	1,627.2	1,627.2	4.94%	5.83%	0.29%	0.44%	95.22%	
3.B.3.	Porcinos	N2O	55.6	55.6	0.17%	161.55%	0.27%	0.41%	95.39%	
3.B.1.b.	Dtros vacunos	N2O	51.4	51.4	0.16%	156.60%	0.24%	0.37%	95.55%	
5.B.1.	Compostaje	N2O	50.6	50.6	0.15%	141.42%	0.22%	0.33%	95.70%	
5.D.2.	Aguas residuales industriales	CH4	63.1	63.1	0.19%	112.41%	0.22%	0.33%	95.89%	
3.B.1.b.	Dtros vacunos	CH4	77.6	77.6	0.24%	67.27%	0.16%	0.24%	96.13%	
3.C.2.	Alimentadas a lluvia	CH4	21.4	21.4	0.06%	231.70%	0.15%	0.23%	96.19%	
3.A.4.e.	Equinos	CH4	78.7	78.7	0.24%	58.31%	0.14%	0.21%	96.43%	
3.A.2.	Dvinos	CH4	67.7	67.7	0.21%	67.08%	0.14%	0.21%	96.64%	
3.B.1.a.	Vacas lecheras	N2O	26.2	26.2	0.08%	156.60%	0.12%	0.19%	96.72%	
3.F.	Quema de residuos agrícola en el campo	N2O	30.5	30.5	0.09%	128.06%	0.12%	0.18%	96.81%	
3.B.4.g.	Aves de corral	N2O	23.3	23.3	0.07%	167.71%	0.12%	0.18%	96.88%	
3.D.1.b.iii.	Dtros fertilizantes orgánicos aplicados a los suelos	N2O	12.5	12.5	0.04%	306.96%	0.12%	0.18%	96.92%	
3.B.4.g.	Aves de corral	CH4	39.7	39.7	0.12%	90.14%	0.11%	0.16%	97.04%	
3.B.3.	Porcinos	CH4	41.5	41.5	0.13%	78.10%	0.10%	0.15%	97.17%	
2.A.2.	Producción de cal	CO2	442.7	442.7	1.35%	6.32%	0.09%	0.13%	98.51%	
3.A.3.	Porcinos	CH4	41.5	41.5	0.13%	67.08%	0.08%	0.13%	98.64%	
1.A.4.a.	Comercial / Institucional - Biomasa	N2O	10.1	10.1	0.03%	275.41%	0.08%	0.13%	98.67%	
2.D.1.	Uso de lubricantes	CO2	35.2	35.2	0.11%	52.29%	0.06%	0.08%	98.78%	
3.H.	Aplicación de urea	CO2	32.4	32.4	0.10%	53.85%	0.05%	0.08%	98.87%	
1.A.2.	Industrias manufactureras y de la construcción - Líquido	N2O	6.8	6.8	0.02%	233.05%	0.05%	0.07%	98.90%	
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Sólido	N2O	6.2	6.2	0.02%	233.02%	0.04%	0.07%	98.91%	
2.C.1.	Producción de hierro y acero	CO2	48.8	48.8	0.15%	26.93%	0.04%	0.06%	99.06%	
2.A.3.	Producción de vidrio	CO2	19.8	19.8	0.06%	60.21%	0.04%	0.05%	99.12%	
2.D.2.	Uso de la cera de parafina	CO2	9.8	9.8	0.03%	101.24%	0.03%	0.05%	99.15%	
1.A.4.a.	Comercial / Institucional - Líquido	CO2	58.2	58.2	0.18%	16.55%	0.03%	0.04%	99.33%	
3.B.4.e.	Equinos	N2O	6.0	6.0	0.02%	158.11%	0.03%	0.04%	99.35%	
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Líquido	CO2	120.8	120.8	0.37%	7.62%	0.03%	0.04%	99.71%	
1.A.2.	Industrias manufactureras y de la construcción - Líquido	CH4	3.7	3.7	0.01%	233.05%	0.03%	0.04%	99.73%	
3.A.4.d.	Caprinos	CH4	12.9	12.9	0.04%	58.31%	0.02%	0.03%	99.77%	
3.A.4.f.	Mulas y asnos	CH4	14.1	14.1	0.04%	42.43%	0.02%	0.03%	99.81%	
1.A.4.b.	Residencial - Líquido	CH4	2.6	2.6	0.01%	233.48%	0.02%	0.03%	99.82%	
3.A.4.a.	Búfalos	CH4	3.7	3.7	0.01%	152.97%	0.02%	0.03%	99.83%	
3.B.4.e.	Equinos	CH4	7.2	7.2	0.02%	70.71%	0.02%	0.02%	99.85%	
3.C.1.	Irrigadas	CH4	2.1	2.1	0.01%	231.70%	0.01%	0.02%	99.86%	
3.B.2.	Dvinos	N2O	1.7	1.7	0.01%	161.55%	0.01%	0.01%	99.86%	
3.B.1.a.	Vacas lecheras	CH4	3.0	3.0	0.01%	67.27%	0.01%	0.01%	99.87%	
2.A.4.	Dtros usos de carbonatos en los procesos	CO2	28.3	28.3	0.09%	6.56%	0.01%	0.01%	99.96%	
3.B.4.f.	Mulas y asnos	N2O	1.1	1.1	0.00%	152.97%	0.00%	0.01%	99.96%	

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
			kt CO ₂ eq	kt CO ₂ eq	%	%	%	%	%
3.B.2.	Dvinos	CH4	2.0	2.0	0.01%	78.10%	0.00%	0.01%	99.96%
1.A.4.b.	Residencial - Líquido	N2O	0.5	0.5	0.00%	233.48%	0.00%	0.01%	99.97%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Sólido	CH4	0.4	0.4	0.00%	200.02%	0.00%	0.00%	99.97%
3.B.4.f.	Mulas y asnos	CH4	1.3	1.3	0.00%	58.31%	0.00%	0.00%	99.97%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Líquido	N2O	0.2	0.2	0.00%	233.02%	0.00%	0.00%	99.97%
1.A.3.a.	Aviación civil	CO2	5.5	5.5	0.02%	8.60%	0.00%	0.00%	99.99%
1.A.4.a.	Comercial / Institucional - Líquido	CH4	0.2	0.2	0.00%	233.48%	0.00%	0.00%	99.99%
3.B.4.d.	Caprinos	N2O	0.3	0.3	0.00%	158.11%	0.00%	0.00%	99.99%
3.B.4.d.	Caprinos	CH4	0.4	0.4	0.00%	70.71%	0.00%	0.00%	99.99%
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%	99.99%
1.A.4.a.	Comercial / Institucional - Líquido	N2O	0.1	0.1	0.00%	233.48%	0.00%	0.00%	99.99%
2.C.2.	Producción de ferroaleaciones	CO2	0.6	0.6	0.00%	25.50%	0.00%	0.00%	99.99%
1.A.1.b.	Refinación del petróleo - Líquido	CO2	1.7	1.7	0.01%	7.62%	0.00%	0.00%	100.00%
3.B.4.a.	Búfalos	N2O	0.0	0.0	0.00%	212.13%	0.00%	0.00%	100.00%
3.B.4.a.	Búfalos	CH4	0.1	0.1	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%
1.B.2.a.	Petróleo	CH4	0.0	0.0	0.00%	75.06%	0.00%	0.00%	100.00%
1.A.1.b.	Refinación del petróleo - Líquido	N2O	0.0	0.0	0.00%	233.02%	0.00%	0.00%	100.00%
1.A.1.b.	Refinación del petróleo - Líquido	CH4	0.0	0.0	0.00%	233.02%	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%
Total			32,908.8	32,908.8	100.00%	14682.73%	66.16%	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 1990-2022 con UTCUTS, aplicando el Método 1

A	B	C	D	E	F	G	H
			kt CO ₂ eq	kt CO ₂ eq	%	%	%
4.A.2.b.	Pastizales convertidos en tierras forestales	CO2	835.8	-10,707.6	27.60%	23.13%	23.13%
4.C.2.a.	Tierras forestales convertidas en pastizales	CO2	13,340.2	10,291.3	22.05%	18.48%	41.61%
1.A.3.b.	Transporte terrestre	CO2	2,199.9	11,061.2	17.99%	15.08%	56.69%
4.A.1.	Tierras forestales que permanecen como tales	CO2	15,533.8	28,940.9	13.49%	11.30%	68.00%
1.A.2.	Industrias manufactureras y de la construcción - Líquido	CO2	770.9	4,048.3	6.70%	5.62%	73.61%
4.B.2.a.	Tierras forestales convertidas en tierras de cultivo	CO2	1,023.5	3,259.4	4.01%	3.36%	76.98%
1.A.1.b.	Refinación del petróleo - Líquido	CO2	1,070.2	1.7	3.67%	3.08%	80.05%
4.A.2.a.	Tierras de cultivo convertidas en tierras forestales	CO2	114.3	-1,290.3	3.37%	2.83%	82.88%
1.A.4.b.	Residencial - Biomasa	CH4	911.1	2,586.1	2.84%	2.38%	85.26%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Sólido	CO2	-	1,485.7	2.31%	1.93%	87.20%
2.A.1.	Producción de cemento	CO2	410.5	1,627.2	2.35%	1.97%	89.17%
1.A.4.b.	Residencial - Líquido	CO2	287.5	1,151.6	1.67%	1.40%	90.57%
4.B.2.b.	Pastizales convertidos en tierras de cultivo	CO2	128.3	-242.3	1.00%	0.84%	91.41%
2.F.1.	Refrigeración y aire acondicionado	HFC	-	527.2	0.82%	0.69%	92.09%
5.A.1.	Sitios de disposición de residuos gestionados	CH4	270.8	750.0	0.80%	0.67%	92.76%
5.A.2.	Sitios de disposición de residuos no gestionados	CH4	141.4	553.1	0.79%	0.66%	93.43%
3.D.1.a.	Fertilizantes inorgánicos	N2O	232.7	81.0	0.61%	0.51%	93.94%
2.A.2.	Producción de cal	CO2	149.3	442.7	0.51%	0.43%	94.37%
3.E.	Quema prescrita de sabanas	CH4	216.7	122.8	0.46%	0.39%	94.75%
3.E.	Quema prescrita de sabanas	N2O	187.3	106.1	0.40%	0.33%	95.09%
1.A.4.b.	Residencial - Biomasa	N2O	115.0	326.3	0.36%	0.30%	95.39%
3.D.1.d.	Residuos de cosechas	N2O	69.6	256.0	0.35%	0.30%	95.68%
5.C.2.	Incineración abierta de residuos	CH4	56.8	222.8	0.32%	0.27%	95.95%
4.C.2.b.	Tierras de cultivo convertidas en pastizales	CO2	109.0	24.2	0.32%	0.27%	96.22%
4.F.2.a.	Tierras forestales convertidas en otras tierras	CO2	122.7	307.8	0.29%	0.24%	96.46%
5.C.2.	Incineración abierta de residuos	CO2	50.3	197.1	0.28%	0.24%	96.70%
5.D.1.	Aguas residuales domésticas	N2O	68.1	215.0	0.26%	0.22%	96.92%
1.A.3.b.	Transporte terrestre	N2O	29.0	144.6	0.23%	0.20%	97.11%
4.E.2.a.	Tierras forestales convertidas en asentamientos	CO2	14.9	122.6	0.23%	0.19%	97.31%
4.A.1.	Tierras forestales que permanecen como tales	CH4	241.3	450.3	0.21%	0.18%	97.49%
3.A.1.b.	Otros vacunos	CH4	2,871.1	4,344.8	0.17%	0.15%	97.63%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Biomasa	N2O	6.0	77.8	0.16%	0.13%	97.76%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Líquido	CO2	128.3	120.8	0.16%	0.14%	97.90%
5.B.1.	Compostaje	CH4	4.0	71.3	0.15%	0.13%	98.03%
1.A.3.b.	Transporte terrestre	CH4	14.5	82.1	0.14%	0.12%	98.14%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Biomasa	CH4	4.8	61.6	0.13%	0.11%	98.25%
1.A.4.a.	Comercial / Institucional - Biomasa	CH4	-	80.0	0.12%	0.10%	98.35%
5.B.1.	Compostaje	N2O	2.8	50.6	0.11%	0.09%	98.44%

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	Emisiones o absorciones de 2022 Ex,t	Evaluación de tendencia Tx,t	% de aporte a la tendencia	Total acumulativo de la columna G
			kt CO ₂ eq	kt CO ₂ eq	%	%	%
3.A.4.e.	Equinos	CH4	83.2	78.7	0.10%	0.09%	98.53%
2.C.1.	Producción de hierro y acero	CO2	4.4	48.8	0.10%	0.08%	98.61%
1.A.4.a.	Comercial / Institucional - Líquido	CO2	67.1	58.2	0.10%	0.08%	98.69%
3.A.2.	Ovinos	CH4	71.5	67.7	0.09%	0.07%	98.77%
4.B.1.	Tierras de cultivo que permanecen como tales	CO2	66.2	66.5	0.07%	0.06%	98.83%
5.D.2.	Aguas residuales industriales	CH4	21.5	63.1	0.07%	0.06%	98.89%
2.D.1.	Uso de lubricantes	CO2	2.7	35.2	0.07%	0.06%	98.95%
5.C.2.	Incineración abierta de residuos	N2O	12.4	48.7	0.07%	0.06%	99.01%
3.C.2.	Alimentadas a lluvia	CH4	34.6	21.4	0.07%	0.06%	99.07%
5.D.1.	Aguas residuales domésticas	CH4	46.8	95.5	0.06%	0.05%	99.12%
3.D.1.b.i.	Estiércol animal aplicado a los suelos	N2O	54.4	106.7	0.06%	0.05%	99.17%
4.A.1.	Tierras forestales que permanecen como tales	NO2	67.2	125.4	0.06%	0.05%	99.22%
2.A.4.	Otros usos de carbonatos en los procesos	CO2	2.5	28.3	0.06%	0.05%	99.26%
4.C.2.e.	Otras tierras convertidas en pastizales	CO2	0.7	-22.7	0.05%	0.05%	99.31%
3.D.2.a.	Deposición atmosférica	N2O	77.8	93.3	0.05%	0.04%	99.35%
4.F.2.c.	Pastizales convertidos en otras tierras	CO2	8.7	35.1	0.05%	0.04%	99.40%
3.D.2.b.	Lixiviación y escurrimiento	N2O	145.5	195.0	0.05%	0.04%	99.44%
4.E.2.b.	Tierras de cultivo convertidas en asentamientos	CO2	1.8	24.0	0.05%	0.04%	99.48%
4.E.2.c.	Pastizales convertidos en asentamientos	CO2	1.6	21.1	0.04%	0.04%	99.51%
3.B.5.	Emisiones indirectas de N2O	N2O	38.4	75.0	0.04%	0.03%	99.55%
3.H.	Aplicación de urea	CO2	10.4	32.4	0.04%	0.03%	99.58%
4.C.2.c.	Humedales convertidos en pastizales	CO2	0.5	-15.9	0.04%	0.03%	99.61%
3.B.4.g.	Aves de corral	CH4	16.5	39.7	0.03%	0.03%	99.64%
2.A.3.	Producción de vidrio	CO2	3.5	19.8	0.03%	0.03%	99.67%
3.B.3.	Porcinos	N2O	28.9	55.6	0.03%	0.02%	99.70%
4.D.2.a.	Tierras forestales convertidas en humedales	CO2	61.2	78.6	0.03%	0.02%	99.72%
3.A.4.f.	Mulas y asnos	CH4	16.1	14.1	0.02%	0.02%	99.74%
3.A.3.	Porcinos	CH4	21.6	41.5	0.02%	0.02%	99.76%
3.B.3.	Porcinos	CH4	21.6	41.5	0.02%	0.02%	99.78%
3.B.4.g.	Aves de corral	N2O	9.7	23.3	0.02%	0.02%	99.79%
2.D.2.	Uso de la cera de parafina	CO2	1.0	9.8	0.02%	0.02%	99.81%
3.F.	Quema de residuos agrícola en el campo	CH4	88.3	124.4	0.02%	0.01%	99.82%
3.A.4.d.	Caprinos	CH4	13.3	12.9	0.02%	0.01%	99.84%
1.A.4.a.	Comercial / Institucional - Biomasa	N2O	-	10.1	0.02%	0.01%	99.85%
3.D.1.b.iii.	Otros fertilizantes orgánicos aplicados a los suelos	N2O	3.9	12.5	0.02%	0.01%	99.86%
3.A.1.a.	Vacas lecheras	CH4	202.8	306.8	0.01%	0.01%	99.87%
1.A.2.	Industrias manufactureras y de la construcción - Líquido	N2O	1.5	6.8	0.01%	0.01%	99.88%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Sólido	N2O	-	6.2	0.01%	0.01%	99.89%
3.B.4.e.	Equinos	CH4	7.6	7.2	0.01%	0.01%	99.90%
4.B.2.e.	Otras tierras convertidas en tierras de cultivo	CO2	0.0	-4.1	0.01%	0.01%	99.90%
1.B.2.a.	Petróleo	CH4	2.4	0.0	0.01%	0.01%	99.91%
1.A.1.b.	Refinación del petróleo - Líquido	N2O	2.3	0.0	0.01%	0.01%	99.92%
3.B.4.e.	Equinos	N2O	6.3	6.0	0.01%	0.01%	99.92%
1.A.2.	Industrias manufactureras y de la construcción - Biomasa	N2O	2.3	-	0.01%	0.01%	99.93%
1.A.2.	Industrias manufactureras y de la construcción - Biomasa	CH4	1.8	-	0.01%	0.01%	99.94%
4.B.2.d.	Asentamientos convertidos en tierras de cultivo	CO2	0.0	-2.6	0.01%	0.00%	99.94%
4.D.2.c.	Pastizales convertidos en humedales	CO2	4.2	8.8	0.01%	0.00%	99.95%
1.A.2.	Industrias manufactureras y de la construcción - Líquido	CH4	0.8	3.7	0.01%	0.00%	99.95%
4.C.2.d.	Asentamientos convertidos en pastizales	CO2	0.1	-2.3	0.01%	0.00%	99.96%
4.F.2.b.	Tierras de cultivo convertidas en otras tierras	CO2	0.9	3.5	0.01%	0.00%	99.96%
1.A.1.b.	Refinación del petróleo - Líquido	CH4	1.2	0.0	0.00%	0.00%	99.96%
3.A.4.a.	Búfalos	CH4	3.7	3.7	0.00%	0.00%	99.97%
3.F.	Quema de residuos agrícola en el campo	N2O	21.7	30.5	0.00%	0.00%	99.97%
4.B.2.c.	Humedales convertidos en tierras de cultivo	CO2	0.0	-1.5	0.00%	0.00%	99.97%
1.A.3.a.	Aviación civil	CO2	2.7	5.5	0.00%	0.00%	99.98%
1.A.4.b.	Residencial - Líquido	CH4	0.8	2.6	0.00%	0.00%	99.98%
3.B.1.b.	Otros vacunos	CH4	51.3	77.6	0.00%	0.00%	99.98%
3.C.1.	Irrigadas	CH4	2.2	2.1	0.00%	0.00%	99.98%
3.B.2.	Ovinos	CH4	2.1	2.0	0.00%	0.00%	99.99%
4.D.2.b.	Tierras de cultivo convertidas en humedales	CO2	1.7	3.5	0.00%	0.00%	99.99%
3.B.2.	Ovinos	N2O	1.8	1.7	0.00%	0.00%	99.99%
3.B.4.f.	Mulas y asnos	CH4	1.5	1.3	0.00%	0.00%	99.99%
3.B.1.b.	Otros vacunos	N2O	34.0	51.4	0.00%	0.00%	99.99%
3.D.1.c.	Orina y estiércol depositado por animales de pastoreo	N2O	74.0	111.0	0.00%	0.00%	99.99%
3.B.4.f.	Mulas y asnos	N2O	1.2	1.1	0.00%	0.00%	100.00%
3.B.1.a.	Vacas lecheras	N2O	17.3	26.2	0.00%	0.00%	100.00%
2.C.2.	Producción de ferroaleaciones	CO2	-	0.6	0.00%	0.00%	100.00%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Sólido	CH4	-	0.4	0.00%	0.00%	100.00%
3.B.4.d.	Caprinos	CH4	0.5	0.4	0.00%	0.00%	100.00%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Líquido	N2O	0.3	0.2	0.00%	0.00%	100.00%
3.B.4.d.	Caprinos	N2O	0.3	0.3	0.00%	0.00%	100.00%
1.A.4.a.	Comercial / Institucional - Líquido	CH4	0.2	0.2	0.00%	0.00%	100.00%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Líquido	CH4	0.1	0.1	0.00%	0.00%	100.00%
1.A.4.b.	Residencial - Líquido	N2O	0.3	0.5	0.00%	0.00%	100.00%
3.B.1.a.	Vacas lecheras	CH4	2.0	3.0	0.00%	0.00%	100.00%
1.A.4.a.	Comercial / Institucional - Líquido	N2O	0.1	0.1	0.00%	0.00%	100.00%
3.B.4.a.	Búfalos	CH4	0.1	0.1	0.00%	0.00%	100.00%

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	Emisiones o absorciones de 2022 Ex,t	Evaluación de tendencia Tx,t	% de aporte a la tendencia	Total acumulativo de la columna G
			kt CO ₂ eq	kt CO ₂ eq	%	%	%
3.B.4.a.	Búfalos	N ₂ O	0.0	0.0	0.00%	0.00%	100.00%
1.A.3.a.	Aviación civil	N ₂ O	0.0	0.0	0.00%	0.00%	100.00%
1.A.3.a.	Aviación civil	CH ₄	0.0	0.0	0.00%	0.00%	100.00%
1.B.2.a.	Petróleo	CO ₂	0.0	0.0	0.00%	0.00%	100.00%
	Total		43,292.1	64,381.9	119.33%	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 1990-2022 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	Emisiones o absorciones de 2022 Ex,t	Evaluación de tendencia Tx,t	% de aporte a la tendencia	Total acumulativo de la columna G
			kt CO ₂ eq	kt CO ₂ eq	%	%	%
1.A.3.b.	Transporte terrestre	CO ₂	2,199.9	11,061.2	41.57%	24.80%	24.80%
3.A.1.b.	Otros vacunos	CH ₄	2,871.1	4,344.8	32.64%	19.47%	44.26%
1.A.1.b.	Refinación del petróleo - Líquido	CO ₂	1,070.2	1.7	26.10%	15.57%	59.83%
1.A.2.	Industrias manufactureras y de la construcción - Líquido	CO ₂	770.9	4,048.3	16.05%	9.57%	69.40%
3.D.1.a.	Fertilizantes inorgánicos	N ₂ O	232.7	81.0	4.98%	2.97%	72.37%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Sólido	CO ₂	-	1,485.7	4.51%	2.69%	75.07%
3.E.	Quema prescrita de sabanas	CH ₄	216.7	122.8	4.23%	2.52%	77.59%
2.A.1.	Producción de cemento	CO ₂	410.5	1,627.2	4.00%	2.38%	79.97%
3.E.	Quema prescrita de sabanas	N ₂ O	187.3	106.1	3.66%	2.18%	82.15%
1.A.4.b.	Residencial - Líquido	CO ₂	287.5	1,151.6	2.90%	1.73%	83.89%
3.A.1.a.	Vacas lecheras	CH ₄	202.8	306.8	2.31%	1.37%	85.26%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Líquido	CO ₂	128.3	120.8	2.09%	1.25%	86.51%
3.D.2.b.	Lixiviación y escurrimiento	N ₂ O	145.5	195.0	1.87%	1.12%	87.62%
2.F.1.	Refrigeración y aire acondicionado	HFC	-	527.2	1.60%	0.96%	88.58%
3.A.4.e.	Equinos	CH ₄	83.2	78.7	1.35%	0.81%	89.39%
5.A.2.	Sitios de disposición de residuos no gestionados	CH ₄	141.4	553.1	1.31%	0.78%	90.17%
3.A.2.	Ovinos	CH ₄	71.5	67.7	1.16%	0.69%	90.86%
1.A.4.a.	Comercial / Institucional - Líquido	CO ₂	67.1	58.2	1.14%	0.68%	91.54%
3.D.2.a.	Deposición atmosférica	N ₂ O	77.8	93.3	1.10%	0.65%	92.19%
3.F.	Quema de residuos agrícola en el campo	CH ₄	88.3	124.4	1.08%	0.65%	92.84%
3.D.1.c.	Orina y estiércol depositado por animales de pastoreo	N ₂ O	74.0	111.0	0.85%	0.51%	93.35%
3.C.2.	Alimentadas a lluvia	CH ₄	34.6	21.4	0.66%	0.39%	93.74%
3.B.1.b.	Otros vacunos	CH ₄	51.3	77.6	0.58%	0.35%	94.09%
1.A.3.b.	Transporte terrestre	N ₂ O	29.0	144.6	0.54%	0.32%	94.41%
5.C.2.	Incineración abierta de residuos	CH ₄	56.8	222.8	0.53%	0.32%	94.73%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Biomasa	N ₂ O	6.0	77.8	0.52%	0.31%	95.04%
5.B.1.	Compostaje	CH ₄	4.0	71.3	0.52%	0.31%	95.35%
3.D.1.d.	Residuos de cosechas	N ₂ O	69.6	256.0	0.51%	0.30%	95.65%
5.C.2.	Incineración abierta de residuos	CO ₂	50.3	197.1	0.47%	0.28%	95.93%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Biomasa	CH ₄	4.8	61.6	0.41%	0.25%	96.18%
3.D.1.b.i.	Estiércol animal aplicado a los suelos	N ₂ O	54.4	106.7	0.41%	0.24%	96.42%
3.B.1.b.	Otros vacunos	N ₂ O	34.0	51.4	0.39%	0.23%	96.65%
5.B.1.	Compostaje	N ₂ O	2.8	50.6	0.37%	0.22%	96.87%
1.A.3.b.	Transporte terrestre	CH ₄	14.5	82.1	0.35%	0.21%	97.08%
5.D.1.	Aguas residuales domésticas	CH ₄	46.8	95.5	0.32%	0.19%	97.27%
2.C.1.	Producción de hierro y acero	CO ₂	4.4	48.8	0.31%	0.19%	97.46%
3.B.5.	Emisiones indirectas de N ₂ O	N ₂ O	38.4	75.0	0.29%	0.17%	97.63%
3.A.4.f.	Mulas y asnos	CH ₄	16.1	14.1	0.27%	0.16%	97.79%
3.F.	Quema de residuos agrícola en el campo	N ₂ O	21.7	30.5	0.27%	0.16%	97.95%
1.A.4.a.	Comercial / Institucional - Biomasa	CH ₄	-	80.0	0.24%	0.14%	98.10%
2.D.1.	Uso de lubricantes	CO ₂	2.7	35.2	0.24%	0.14%	98.24%
3.B.3.	Porcinos	N ₂ O	28.9	55.6	0.23%	0.14%	98.37%
3.A.4.d.	Caprinos	CH ₄	13.3	12.9	0.21%	0.13%	98.50%
3.B.1.a.	Vacas lecheras	N ₂ O	17.3	26.2	0.20%	0.12%	98.62%
5.D.1.	Aguas residuales domésticas	N ₂ O	68.1	215.0	0.19%	0.11%	98.73%
2.A.4.	Otros usos de carbonatos en los procesos	CO ₂	2.5	28.3	0.18%	0.11%	98.84%
3.A.3.	Porcinos	CH ₄	21.6	41.5	0.17%	0.10%	98.94%
3.B.3.	Porcinos	CH ₄	21.6	41.5	0.17%	0.10%	99.04%
2.A.2.	Producción de cal	CO ₂	149.3	442.7	0.17%	0.10%	99.14%
5.A.1.	Sitios de disposición de residuos gestionados	CH ₄	270.8	750.0	0.15%	0.09%	99.23%
3.B.4.e.	Equinos	CH ₄	7.6	7.2	0.12%	0.07%	99.31%
5.C.2.	Incineración abierta de residuos	N ₂ O	12.4	48.7	0.12%	0.07%	99.38%
3.B.4.e.	Equinos	N ₂ O	6.3	6.0	0.10%	0.06%	99.44%
2.A.3.	Producción de vidrio	CO ₂	3.5	19.8	0.08%	0.05%	99.49%
3.B.4.g.	Aves de corral	CH ₄	16.5	39.7	0.06%	0.04%	99.52%
2.D.2.	Uso de la cera de parafina	CO ₂	1.0	9.8	0.06%	0.04%	99.56%
3.A.4.a.	Búfalos	CH ₄	3.7	3.7	0.06%	0.03%	99.59%

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	Emisiones o absorciones de 2022 Ex,t	Evaluación de tendencia Tx,t	% de aporte a la tendencia	Total acumulativo de la columna G
			kt CO ₂ eq	kt CO ₂ eq	%	%	%
1.B.2.a.	Petróleo	CH4	2.4	0.0	0.06%	0.03%	99.63%
1.A.1.b.	Refinación del petróleo - Líquido	N2O	2.3	0.0	0.06%	0.03%	99.66%
1.A.2.	Industrias manufactureras y de la construcción - Biomasa	N2O	2.3	-	0.06%	0.03%	99.70%
1.A.2.	Industrias manufactureras y de la construcción - Biomasa	CH4	1.8	-	0.04%	0.03%	99.72%
3.B.4.g.	Aves de corral	N2O	9.7	23.3	0.04%	0.02%	99.74%
3.C.1.	Irrigadas	CH4	2.2	2.1	0.04%	0.02%	99.76%
3.B.2.	Ovinos	CH4	2.1	2.0	0.03%	0.02%	99.79%
1.A.4.a.	Comercial / Institucional - Biomasa	N2O	-	10.1	0.03%	0.02%	99.80%
1.A.1.b.	Refinación del petróleo - Líquido	CH4	1.2	0.0	0.03%	0.02%	99.82%
3.B.2.	Ovinos	N2O	1.8	1.7	0.03%	0.02%	99.84%
3.B.4.f.	Mulas y asnos	CH4	1.5	1.3	0.02%	0.01%	99.85%
3.H.	Aplicación de urea	CO2	10.4	32.4	0.02%	0.01%	99.87%
3.B.1.a.	Vacas lecheras	CH4	2.0	3.0	0.02%	0.01%	99.88%
1.A.2.	Industrias manufactureras y de la construcción - Líquido	N2O	1.5	6.8	0.02%	0.01%	99.89%
3.B.4.f.	Mulas y asnos	N2O	1.2	1.1	0.02%	0.01%	99.91%
1.A.3.a.	Aviación civil	CO2	2.7	5.5	0.02%	0.01%	99.92%
5.D.2.	Aguas residuales industriales	CH4	21.5	63.1	0.02%	0.01%	99.93%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Sólido	N2O	-	6.2	0.02%	0.01%	99.94%
1.A.2.	Industrias manufactureras y de la construcción - Líquido	CH4	0.8	3.7	0.01%	0.01%	99.95%
3.D.1.b.iii.	Otros fertilizantes orgánicos aplicados a los suelos	N2O	3.9	12.5	0.01%	0.01%	99.95%
3.B.4.d.	Caprinos	CH4	0.5	0.4	0.01%	0.00%	99.96%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Líquido	N2O	0.3	0.2	0.00%	0.00%	99.96%
3.B.4.d.	Caprinos	N2O	0.3	0.3	0.00%	0.00%	99.96%
1.A.4.a.	Comercial / Institucional - Líquido	CH4	0.2	0.2	0.00%	0.00%	99.97%
1.A.4.b.	Residencial - Líquido	N2O	0.3	0.5	0.00%	0.00%	99.97%
1.A.4.b.	Residencial - Líquido	CH4	0.8	2.6	0.00%	0.00%	99.97%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Líquido	CH4	0.1	0.1	0.00%	0.00%	99.97%
2.C.2.	Producción de ferroaleaciones	CO2	-	0.6	0.00%	0.00%	99.97%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Sólido	CH4	-	0.4	0.00%	0.00%	99.97%
1.A.4.a.	Comercial / Institucional - Líquido	N2O	0.1	0.1	0.00%	0.00%	99.97%
3.B.4.a.	Búfalos	CH4	0.1	0.1	0.00%	0.00%	99.97%
3.B.4.a.	Búfalos	N2O	0.0	0.0	0.00%	0.00%	99.97%
1.A.4.b.	Residencial - Biomasa	CH4	911.1	2,586.1	0.04%	0.02%	100.00%
1.A.3.a.	Aviación civil	N2O	0.0	0.0	0.00%	0.00%	100.00%
1.A.4.b.	Residencial - Biomasa	N2O	115.0	326.3	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			11,613.6	32,908.2	167.65%	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 1990-2022 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 2022 Ex,t	Evaluación de tendencia Tx,t	Incertidumbre combinada Ux,t	Evaluación de tendencia de 2022 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	-10,707.6	27.60%	49.16%	13.57%	23.08%	23.08%
4.C.2.a.	Tierras forestales convertidas en pastizales	CO2	13,340.2	10,291.3	22.05%	49.16%	10.84%	18.44%	41.51%
1.A.4.b.	Residencial - Biomasa	CH4	911.1	2,586.1	2.84%	233.48%	6.64%	11.29%	52.80%
4.A.1.	Tierras forestales que permanecen como tales	CO2	15,533.8	28,940.9	13.49%	33.07%	4.46%	7.59%	60.39%
4.B.2.a.	Tierras forestales convertidas en tierras de cultivo	CO2	1,023.5	3,259.4	4.01%	49.16%	1.97%	3.35%	63.74%
3.D.1.a.	Fertilizantes inorgánicos	N2O	232.7	81.0	0.61%	300.67%	1.84%	3.13%	66.87%
4.A.2.a.	Tierras de cultivo convertidas en tierras forestales	CO2	114.3	-1,290.3	3.37%	49.16%	1.66%	2.82%	69.69%
5.A.1.	Sitios de disposición de residuos gestionados	CH4	270.8	750.0	0.80%	202.30%	1.62%	2.76%	72.45%
5.A.2.	Sitios de disposición de residuos no gestionados	CH4	141.4	553.1	0.79%	204.27%	1.62%	2.75%	75.20%
1.A.3.b.	Transporte terrestre	CO2	2,199.9	11,061.2	17.99%	8.60%	1.55%	2.63%	77.83%
3.D.1.d.	Residuos de cosechas	N2O	69.6	256.0	0.35%	309.23%	1.09%	1.85%	79.68%
1.A.4.b.	Residencial - Biomasa	N2O	115.0	326.3	0.36%	275.41%	0.99%	1.68%	81.37%
4.B.2.b.	Pastizales convertidos en tierras de cultivo	CO2	128.3	-242.3	1.00%	87.85%	0.88%	1.49%	82.86%
5.C.2.	Incineración abierta de residuos	CH4	56.8	222.8	0.32%	200.00%	0.64%	1.09%	83.95%
1.A.2.	Industrias manufactureras y de la construcción - Líquido	CO2	770.9	4,048.3	6.70%	8.60%	0.58%	0.98%	84.93%
2.F.1.	Refrigeración y aire acondicionado	HFC	-	527.2	0.82%	69.25%	0.57%	0.96%	85.89%
1.A.3.b.	Transporte terrestre	N2O	29.0	144.6	0.23%	240.05%	0.56%	0.96%	86.85%
3.E.	Quema prescrita de sabanas	CH4	216.7	122.8	0.46%	116.30%	0.54%	0.91%	87.76%
5.C.2.	Incineración abierta de residuos	CO2	50.3	197.1	0.28%	177.76%	0.50%	0.85%	88.61%
3.E.	Quema prescrita de sabanas	N2O	187.3	106.1	0.40%	116.30%	0.46%	0.79%	89.40%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Biomasa	N2O	6.0	77.8	0.16%	275.02%	0.44%	0.74%	90.14%
1.A.3.b.	Transporte terrestre	CH4	14.5	82.1	0.14%	230.05%	0.32%	0.55%	90.69%
3.D.2.b.	Lixiviación y escurrimiento	N2O	145.5	195.0	0.05%	604.67%	0.30%	0.51%	91.20%

A Código	B Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero	C GEI	D	E	F	G	H	I	J
			Emisiones o absorciones de 1990 Ex,0 kt CO ₂ eq	Emisiones o absorciones de 2022 Ex,t kt CO ₂ eq	Evaluación de tendencia Tx,t %	Incertidumbre combinada Ux,t %	Evaluación de tendencia de 2022 con incertidumbre TUx,t %	% de aporte a la tendencia	Total acumulativo de la columna I
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Biomasa	CH4	4.8	61.6	0.13%	233.02%	0.29%	0.50%	91.70%
1.A.4.a.	Comercial / Institucional - Biomasa	CH4	-	80.0	0.12%	233.48%	0.29%	0.49%	92.19%
4.C.2.b.	Tierras de cultivo convertidas en pastizales	CO2	109.0	24.2	0.32%	87.85%	0.28%	0.48%	92.67%
1.A.1.b.	Refinación del petróleo - Líquido	CO2	1,070.2	1.7	3.67%	7.62%	0.28%	0.48%	93.14%
1.A.4.b.	Residencial - Líquido	CO2	287.5	1,151.6	1.67%	16.55%	0.28%	0.47%	93.61%
3.D.2.a.	Deposición atmosférica	N2O	77.8	93.3	0.05%	505.59%	0.26%	0.45%	94.06%
5.D.1.	Aguas residuales domésticas	N2O	68.1	215.0	0.26%	96.03%	0.25%	0.43%	94.49%
3.B.5.	Emisiones indirectas de N2O	N2O	38.4	75.0	0.04%	522.02%	0.22%	0.37%	94.86%
5.B.1.	Compostaje	CH4	4.0	71.3	0.15%	141.42%	0.21%	0.36%	95.22%
4.A.1.	Tierras forestales que permanecen como tales	CH4	241.3	450.3	0.21%	91.55%	0.19%	0.33%	95.55%
3.D.1.b.i.	Estiércol animal aplicado a los suelos	N2O	54.4	106.7	0.06%	306.96%	0.18%	0.31%	95.86%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Sólido	CO2	-	1,485.7	2.31%	7.62%	0.18%	0.30%	96.16%
3.C.2.	Alimentadas a lluvia	CH4	34.6	21.4	0.07%	231.70%	0.16%	0.27%	96.43%
5.B.1.	Compostaje	N2O	2.8	50.6	0.11%	141.42%	0.15%	0.26%	96.69%
4.F.2.a.	Tierras forestales convertidas en otras tierras	CO2	122.7	307.8	0.29%	49.16%	0.14%	0.24%	96.93%
5.C.2.	Incineración abierta de residuos	N2O	12.4	48.7	0.07%	200.00%	0.14%	0.24%	97.17%
2.A.1.	Producción de cemento	CO2	410.5	1,627.2	2.35%	5.83%	0.14%	0.23%	97.40%
4.E.2.a.	Tierras forestales convertidas en asentamientos	CO2	14.9	122.6	0.23%	49.16%	0.11%	0.19%	97.59%
3.A.1.b.	Otros vacunos	CH4	2,871.1	4,344.8	0.17%	54.08%	0.09%	0.16%	97.75%
5.D.2.	Aguas residuales industriales	CH4	21.5	63.1	0.07%	112.41%	0.08%	0.14%	97.89%
5.D.1.	Aguas residuales domésticas	CH4	46.8	95.5	0.06%	124.10%	0.07%	0.13%	98.02%
4.B.1.	Tierras de cultivo que permanecen como tales	CO2	66.2	66.5	0.07%	87.85%	0.06%	0.11%	98.13%
3.A.4.e.	Equinos	CH4	83.2	78.7	0.10%	58.31%	0.06%	0.10%	98.23%
3.A.2.	Ovinos	CH4	71.5	67.7	0.09%	67.08%	0.06%	0.10%	98.33%
4.A.1.	Tierras forestales que permanecen como tales	N2O	67.2	125.4	0.06%	87.80%	0.05%	0.09%	98.42%
4.C.2.e.	Otras tierras convertidas en pastizales	CO2	0.7	-22.7	0.05%	87.85%	0.05%	0.08%	98.50%
3.D.1.b.iii.	Otros fertilizantes orgánicos aplicados a los suelos	N2O	3.9	12.5	0.02%	306.96%	0.05%	0.08%	98.58%
3.B.3.	Porcinos	N2O	28.9	55.6	0.03%	161.55%	0.05%	0.08%	98.66%
4.F.2.c.	Pastizales convertidos en otras tierras	CO2	8.7	35.1	0.05%	87.85%	0.05%	0.08%	98.74%
4.E.2.b.	Tierras de cultivo convertidas en asentamientos	CO2	1.8	24.0	0.05%	87.85%	0.04%	0.07%	98.81%
1.A.4.a.	Comercial / Institucional - Biomasa	N2O	-	10.1	0.02%	275.41%	0.04%	0.07%	98.89%
4.E.2.c.	Pastizales convertidos en asentamientos	CO2	1.6	21.1	0.04%	87.85%	0.04%	0.06%	98.95%
2.D.1.	Uso de lubricantes	CO2	2.7	35.2	0.07%	52.29%	0.04%	0.06%	99.01%
3.B.4.g.	Aves de corral	N2O	9.7	23.3	0.02%	167.71%	0.03%	0.06%	99.07%
4.C.2.c.	Humedales convertidos en pastizales	CO2	0.5	-15.9	0.04%	87.85%	0.03%	0.06%	99.13%
2.A.2.	Producción de cal	CO2	149.3	442.7	0.51%	6.32%	0.03%	0.05%	99.18%
3.B.4.g.	Aves de corral	CH4	16.5	39.7	0.03%	90.14%	0.03%	0.05%	99.24%
2.C.1.	Producción de hierro y acero	CO2	4.4	48.8	0.10%	26.93%	0.03%	0.04%	99.28%
1.A.2.	Industrias manufactureras y de la construcción - Líquido	N2O	1.5	6.8	0.01%	233.05%	0.02%	0.04%	99.32%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Sólido	N2O	-	6.2	0.01%	233.02%	0.02%	0.04%	99.36%
1.A.2.	Industrias manufactureras y de la construcción - Biomasa	N2O	2.3	-	0.01%	275.05%	0.02%	0.04%	99.40%
3.H.	Aplicación de urea	CO2	10.4	32.4	0.04%	53.85%	0.02%	0.04%	99.44%
3.F.	Quema de residuos agrícola en el campo	CH4	88.3	124.4	0.02%	128.06%	0.02%	0.03%	99.47%
2.A.3.	Producción de vidrio	CO2	3.5	19.8	0.03%	60.21%	0.02%	0.03%	99.50%
2.D.2.	Uso de la cera de parafina	CO2	1.0	9.8	0.02%	101.24%	0.02%	0.03%	99.54%
1.A.1.b.	Refinación del petróleo - Líquido	N2O	2.3	0.0	0.01%	233.02%	0.02%	0.03%	99.57%
3.B.3.	Porcinos	CH4	21.6	41.5	0.02%	78.10%	0.02%	0.03%	99.60%
1.A.4.a.	Comercial / Institucional - Líquido	CO2	67.1	58.2	0.10%	16.55%	0.02%	0.03%	99.63%
3.A.3.	Porcinos	CH4	21.6	41.5	0.02%	67.08%	0.01%	0.02%	99.65%
1.A.2.	Industrias manufactureras y de la construcción - Biomasa	CH4	1.8	-	0.01%	233.05%	0.01%	0.02%	99.68%
4.D.2.a.	Tierras forestales convertidas en humedales	CO2	61.2	78.6	0.03%	49.16%	0.01%	0.02%	99.70%
1.A.2.	Industrias manufactureras y de la construcción - Líquido	CH4	0.8	3.7	0.01%	233.05%	0.01%	0.02%	99.72%
3.B.4.e.	Equinos	N2O	6.3	6.0	0.01%	158.11%	0.01%	0.02%	99.74%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Líquido	CO2	128.3	120.8	0.16%	7.62%	0.01%	0.02%	99.76%
1.A.1.b.	Refinación del petróleo - Líquido	CH4	1.2	0.0	0.00%	233.02%	0.01%	0.02%	99.78%
3.A.4.f.	Mulas y asnos	CH4	16.1	14.1	0.02%	42.43%	0.01%	0.02%	99.80%
3.A.4.d.	Caprinos	CH4	13.3	12.9	0.02%	58.31%	0.01%	0.02%	99.81%
4.B.2.e.	Otras tierras convertidas en tierras de cultivo	CO2	0.0	-4.1	0.01%	87.85%	0.01%	0.01%	99.83%
1.A.4.b.	Residencial - Líquido	CH4	0.8	2.6	0.00%	233.48%	0.01%	0.01%	99.84%
3.B.4.e.	Equinos	CH4	7.6	7.2	0.01%	70.71%	0.01%	0.01%	99.85%
3.A.4.a.	Búfalos	CH4	3.7	3.7	0.00%	152.97%	0.01%	0.01%	99.86%
3.C.1.	Irrigadas	CH4	2.2	2.1	0.00%	231.70%	0.01%	0.01%	99.87%
3.A.1.a.	Vacas lecheras	CH4	202.8	306.8	0.01%	54.08%	0.01%	0.01%	99.88%
3.D.1.c.	Orina y estiércol depositado por animales de pastoreo	N2O	74.0	111.0	0.00%	337.14%	0.01%	0.01%	99.90%
1.B.2.a.	Petróleo	CH4	2.4	0.0	0.01%	75.06%	0.01%	0.01%	99.91%
4.B.2.d.	Asentamientos convertidos en tierras de cultivo	CO2	21.0	-2.6	0.01%	87.85%	0.01%	0.01%	99.91%
3.F.	Quema de residuos agrícola en el campo	N2O	0.7	30.5	0.00%	128.06%	0.01%	0.01%	99.92%
4.D.2.c.	Pastizales convertidos en humedales	CO2	4.2	8.8	0.01%	87.85%	0.01%	0.01%	99.93%
4.C.2.d.	Asentamientos convertidos en pastizales	CO2	0.1	-2.3	0.01%	87.85%	0.00%	0.01%	99.94%
4.F.2.b.	Tierras de cultivo convertidas en otras tierras	CO2	0.9	3.5	0.01%	87.85%	0.00%	0.01%	99.95%
2.A.4.	Otros usos de carbonatos en los procesos	CO2	2.5	28.3	0.06%	6.56%	0.00%	0.01%	99.95%
3.B.2.	Ovinos	N2O	1.8	1.7	0.00%	161.55%	0.00%	0.01%	99.96%
4.B.2.c.	Humedales convertidos en tierras de cultivo	CO2	0.0	-1.5	0.00%	87.85%	0.00%	0.01%	99.97%
3.B.1.b.	Otros vacunos	N2O	34.0	51.4	0.00%	156.60%	0.00%	0.01%	99.97%
3.B.4.f.	Mulas y asnos	N2O	1.2	1.1	0.00%	152.97%	0.00%	0.00%	99.98%
3.B.2.	Ovinos	CH4	2.1	2.0	0.00%	78.10%	0.00%	0.00%	99.98%

A Código	B Categorías de fuente y sumidero de gases de efecto invernadero	C GEI	D	E	F	G	H	I	J
			Emisiones o absorciones de 1990 Ex,0 kt CO ₂ eq	Emisiones o absorciones de 2022 Ex,t kt CO ₂ eq	Evaluación de tendencia Tx,t %	Incertidumbre combinada Ux,t %	Evaluación de tendencia de 2022 con incertidumbre TUx,t %	% de aporte a la tendencia	Total acumulativo de la columna I %
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%
3.B.1.b	Otros vacunos	CH4	51.3	77.6	0.00%	67.27%	0.00%	0.00%	99.99%
3.B.1.a	Vacas lecheras	N2O	17.3	26.2	0.00%	156.60%	0.00%	0.00%	99.99%
1.A.4.a	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Sólido	CH4	-	0.4	0.00%	200.02%	0.00%	0.00%	99.99%
3.B.4.f	Mulas y asnos	CH4	1.5	1.3	0.00%	58.31%	0.00%	0.00%	99.99%
1.A.1.a	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Líquido	N2O	0.3	0.2	0.00%	233.02%	0.00%	0.00%	99.99%
1.A.4.a	Comercial / Institucional - Líquido	CH4	0.2	0.2	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	0.1	0.00%	233.02%	0.00%	0.00%	100.00%
3.B.4.d	Caprinos	CH4	0.5	0.4	0.00%	70.71%	0.00%	0.00%	100.00%
1.A.4.b	Residencial - Líquido	N2O	0.3	0.5	0.00%	233.48%	0.00%	0.00%	100.00%
1.A.3.a	Aviación civil	CO2	2.7	5.5	0.00%	8.60%	0.00%	0.00%	100.00%
2.C.2	Producción de ferroaleaciones	CO2	-	0.6	0.00%	25.50%	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%
3.B.4.a	Búfalos	N2O	0.0	0.0	0.00%	212.13%	0.00%	0.00%	100.00%
3.B.4.a	Búfalos	CH4	0.1	0.1	0.00%	158.11%	0.00%	0.00%	100.00%
3.B.1.a	Vacas lecheras	CH4	2.0	3.0	0.00%	67.27%	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.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%
Total			43,292.1	64,381.9	119.33%	16557.08%	58.81%	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 Código	B Categorías de fuente de gases de efecto invernadero	C GEI	D	E	F	G	H	I	J
			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.A.1.b	Otros vacunos	CH4	2,871.1	4,344.8	32.64%	54.08%	17.65%	18.10%	18.10%
3.D.1.a	Fertilizantes inorgánicos	N2O	232.7	81.0	4.98%	300.67%	14.97%	15.35%	33.46%
3.D.2.b	Lixiviación y escurrimiento	N2O	145.5	195.0	1.87%	604.67%	11.31%	11.60%	45.05%
3.D.2.a	Deposición atmosférica	N2O	77.8	93.3	1.10%	505.59%	5.54%	5.68%	50.74%
3.E	Quema prescrita de sabanas	CH4	216.7	122.8	4.23%	116.30%	4.92%	5.05%	55.78%
3.E	Quema prescrita de sabanas	N2O	187.3	106.1	3.66%	116.30%	4.25%	4.36%	60.14%
1.A.3.b	Transporte terrestre	CO2	2,199.9	11,061.2	41.57%	8.60%	3.58%	3.67%	63.81%
3.D.1.c	Orina y estiércol depositado por animales de pastoreo	N2O	74.0	111.0	0.85%	337.14%	2.87%	2.94%	66.75%
5.A.2	Sitios de disposición de residuos no gestionados	CH4	141.4	553.1	1.31%	204.27%	2.68%	2.75%	69.50%
1.A.1.b	Refinación del petróleo - Líquido	CO2	1,070.2	1.7	26.10%	7.62%	1.99%	2.04%	71.54%
3.D.1.d	Residuos de cosechas	N2O	69.6	256.0	0.51%	309.23%	1.57%	1.61%	73.14%
3.C.2	Alimentadas a lluvia	CH4	34.6	21.4	0.66%	231.70%	1.53%	1.57%	74.71%
3.B.5	Emisiones indirectas de N2O	N2O	38.4	75.0	0.29%	522.02%	1.52%	1.56%	76.27%
1.A.1.a	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Biomasa	N2O	6.0	77.8	0.52%	275.02%	1.44%	1.47%	77.74%
3.F	Quema de residuos agrícola en el campo	CH4	88.3	124.4	1.08%	128.06%	1.39%	1.42%	79.17%
1.A.2	Industrias manufactureras y de la construcción - Líquido	CO2	770.9	4,048.3	16.05%	8.60%	1.38%	1.42%	80.58%
1.A.3.b	Transporte terrestre	N2O	29.0	144.6	0.54%	240.05%	1.29%	1.32%	81.90%
3.D.1.b.i	Estiércol animal aplicado a los suelos	N2O	54.4	106.7	0.41%	306.96%	1.26%	1.29%	83.19%
3.A.1.a	Vacas lecheras	CH4	202.8	306.8	2.31%	54.08%	1.25%	1.28%	84.47%
2.F.1	Refrigeración y aire acondicionado	HFC	-	527.2	1.60%	69.25%	1.11%	1.14%	85.61%
5.C.2	Incineración abierta de residuos	CH4	56.8	222.8	0.53%	200.00%	1.06%	1.09%	86.70%
1.A.1.a	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Biomasa	CH4	4.8	61.6	0.41%	233.02%	0.97%	0.99%	87.69%
5.C.2	Incineración abierta de residuos	CO2	50.3	197.1	0.47%	177.76%	0.84%	0.86%	88.55%
1.A.3.b	Transporte terrestre	CH4	14.5	82.1	0.35%	230.05%	0.81%	0.83%	89.38%
3.A.4.e	Equinos	CH4	83.2	78.7	1.35%	58.31%	0.79%	0.81%	90.19%
3.A.2	Ovinos	CH4	71.5	67.7	1.16%	67.08%	0.78%	0.80%	90.99%
5.B.1	Compostaje	CH4	4.0	71.3	0.52%	141.42%	0.73%	0.75%	91.74%
3.B.1.b	Otros vacunos	N2O	34.0	51.4	0.39%	156.60%	0.61%	0.62%	92.36%
1.A.4.a	Comercial / Institucional - Biomasa	CH4	-	80.0	0.24%	233.48%	0.57%	0.58%	92.94%
5.B.1	Compostaje	N2O	2.8	50.6	0.37%	141.42%	0.52%	0.53%	93.47%
1.A.4.b	Residencial - Líquido	CO2	287.5	1,151.6	2.90%	16.55%	0.48%	0.49%	93.96%
5.D.1	Aguas residuales domésticas	CH4	46.8	95.5	0.32%	124.10%	0.40%	0.41%	94.37%
3.B.1.b	Otros vacunos	CH4	51.3	77.6	0.58%	67.27%	0.39%	0.40%	94.78%
3.B.3	Porcinos	N2O	28.9	55.6	0.23%	161.55%	0.37%	0.38%	95.15%
1.A.1.a	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Sólido	CO2	-	1,485.7	4.51%	7.62%	0.34%	0.35%	95.50%
3.F	Quema de residuos agrícola en el campo	N2O	21.7	30.5	0.27%	128.06%	0.34%	0.35%	95.85%
5.A.1	Sitios de disposición de residuos gestionados	CH4	270.8	750.0	0.15%	202.30%	0.30%	0.31%	96.16%
3.B.1.a	Vacas lecheras	N2O	17.3	26.2	0.20%	156.60%	0.31%	0.32%	96.48%

A Código	B Categorías de fuente de gases de efecto invernadero	C GEI	D	E	F	G	H	I	J
			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	%	%	%	%	
2.A.1.	Producción de cemento	CO2	410.5	1,627.2	4.00%	5.83%	0.23%	0.24%	96.72%
5.C.2.	Incineración abierta de residuos	N2O	12.4	48.7	0.12%	200.00%	0.23%	0.24%	96.96%
1.A.4.a.	Comercial / Institucional - Líquido	CO2	67.1	58.2	1.14%	16.55%	0.19%	0.19%	97.15%
5.D.1.	Aguas residuales domésticas	N2O	68.1	215.0	0.19%	96.03%	0.18%	0.19%	97.34%
3.B.4.e.	Equinos	N2O	6.3	6.0	0.10%	158.11%	0.16%	0.17%	97.50%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Líquido	CO2	128.3	120.8	2.09%	7.62%	0.16%	0.16%	97.67%
1.A.2.	Industrias manufactureras y de la construcción - Biomasa	N2O	2.3	-	0.06%	275.05%	0.15%	0.16%	97.82%
3.B.3.	Porcinos	CH4	21.6	41.5	0.17%	78.10%	0.13%	0.14%	97.96%
1.A.1.b.	Refinación del petróleo - Líquido	N2O	2.3	0.0	0.06%	233.02%	0.13%	0.13%	98.09%
3.A.4.d.	Caprinos	CH4	13.3	12.9	0.21%	58.31%	0.13%	0.13%	98.22%
2.D.1.	Uso de lubricantes	CO2	2.7	35.2	0.24%	52.29%	0.12%	0.13%	98.35%
3.A.4.f.	Mulas y asnos	CH4	16.1	14.1	0.27%	42.43%	0.12%	0.12%	98.47%
3.A.3.	Porcinos	CH4	21.6	41.5	0.17%	67.08%	0.11%	0.12%	98.58%
1.A.2.	Industrias manufactureras y de la construcción - Biomasa	CH4	1.8	-	0.04%	233.05%	0.10%	0.10%	98.69%
3.A.4.a.	Búfalos	CH4	3.7	3.7	0.06%	152.97%	0.09%	0.09%	98.78%
3.B.4.e.	Equinos	CH4	7.6	7.2	0.12%	70.71%	0.09%	0.09%	98.87%
1.A.4.a.	Comercial / Institucional - Biomasa	N2O	-	10.1	0.03%	275.41%	0.08%	0.09%	98.96%
2.C.1.	Producción de hierro y acero	CO2	4.4	48.8	0.31%	26.93%	0.08%	0.09%	99.04%
3.C.1.	Irrigadas	CH4	2.2	2.1	0.04%	231.70%	0.08%	0.08%	99.13%
1.A.1.b.	Refinación del petróleo - Líquido	CH4	1.2	0.0	0.03%	233.02%	0.07%	0.07%	99.20%
2.D.2.	Uso de la cera de parafina	CO2	1.0	9.8	0.06%	101.24%	0.06%	0.06%	99.26%
3.B.4.g.	Aves de corral	N2O	9.7	23.3	0.04%	167.71%	0.06%	0.06%	99.32%
3.B.4.g.	Aves de corral	CH4	16.5	39.7	0.06%	90.14%	0.05%	0.06%	99.38%
2.A.3.	Producción de vidrio	CO2	3.5	19.8	0.08%	60.21%	0.05%	0.05%	99.43%
1.A.2.	Industrias manufactureras y de la construcción - Líquido	N2O	1.5	6.8	0.02%	233.05%	0.05%	0.05%	99.48%
3.B.2.	Ovinos	N2O	1.8	1.7	0.03%	161.55%	0.05%	0.05%	99.53%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Sólido	N2O	-	6.2	0.02%	233.02%	0.04%	0.05%	99.58%
1.B.2.a.	Petróleo	CH4	2.4	0.0	0.06%	75.06%	0.04%	0.04%	99.62%
3.D.1.b.iii.	Otros fertilizantes orgánicos aplicados a los suelos	N2O	3.9	12.5	0.01%	306.96%	0.04%	0.04%	99.66%
3.B.4.f.	Mulas y asnos	N2O	1.2	1.1	0.02%	152.97%	0.03%	0.03%	99.69%
3.B.2.	Ovinos	CH4	2.1	2.0	0.03%	78.10%	0.03%	0.03%	99.72%
1.A.2.	Industrias manufactureras y de la construcción - Líquido	CH4	0.8	3.7	0.01%	233.05%	0.03%	0.03%	99.74%
5.D.2.	Aguas residuales industriales	CH4	21.5	63.1	0.02%	112.41%	0.02%	0.02%	99.77%
3.B.1.a.	Vacas lecheras	CH4	2.0	3.0	0.02%	67.27%	0.02%	0.02%	99.78%
3.B.4.f.	Mulas y asnos	CH4	1.5	1.3	0.02%	58.31%	0.01%	0.01%	99.80%
3.H.	Aplicación de urea	CO2	10.4	32.4	0.02%	53.85%	0.01%	0.01%	99.81%
2.A.4.	Otros usos de carbonatos en los procesos	CO2	2.5	28.3	0.18%	6.56%	0.01%	0.01%	99.82%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Líquido	N2O	0.3	0.2	0.00%	233.02%	0.01%	0.01%	99.83%
2.A.2.	Producción de cal	CO2	149.3	442.7	0.17%	6.32%	0.01%	0.01%	99.84%
1.A.4.a.	Comercial / Institucional - Líquido	CH4	0.2	0.2	0.00%	233.48%	0.01%	0.01%	99.85%
3.B.4.d.	Caprinos	N2O	0.3	0.3	0.00%	158.11%	0.01%	0.01%	99.86%
1.A.4.b.	Residencial - Líquido	N2O	0.3	0.5	0.00%	233.48%	0.01%	0.01%	99.87%
1.A.4.b.	Residencial - Líquido	CH4	0.8	2.6	0.00%	233.48%	0.01%	0.01%	99.87%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Líquido	CH4	0.1	0.1	0.00%	233.02%	0.01%	0.01%	99.88%
3.B.4.d.	Caprinos	CH4	0.5	0.4	0.01%	70.71%	0.01%	0.01%	99.88%
1.A.4.a.	Comercial / Institucional - Líquido	N2O	0.1	0.1	0.00%	233.48%	0.00%	0.00%	99.89%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Sólido	CH4	-	0.4	0.00%	200.02%	0.00%	0.00%	99.89%
1.A.3.a.	Aviación civil	CO2	2.7	5.5	0.02%	8.60%	0.00%	0.00%	99.89%
3.B.4.a.	Búfalos	N2O	0.0	0.0	0.00%	212.13%	0.00%	0.00%	99.89%
1.A.4.b.	Residencial - Biomasa	CH4	911.1	2,586.1	0.04%	233.48%	0.09%	0.09%	99.98%
3.B.4.a.	Búfalos	CH4	0.1	0.1	0.00%	158.11%	0.00%	0.00%	99.99%
2.C.2.	Producción de ferroaleaciones	CO2	-	0.6	0.00%	25.50%	0.00%	0.00%	99.99%
1.A.4.b.	Residencial - Biomasa	N2O	115.0	326.3	0.00%	275.41%	0.01%	0.01%	100.00%
1.A.3.a.	Aviación civil	N2O	0.0	0.0	0.00%	150.08%	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%
Total			11,613.6	32,908.2	167.65%	14682.73%	97.51%	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 2022 y la tendencia de 1990-2022 del país por categoría y gas

Código	Categorías de fuente y sumidero de GEI	GEI	Emisiones o absorciones de 1990	Emisiones o absorciones de 2022	Incertidumbre de los datos de actividad		Incertidumbre del factor de emisión		Incertidumbre combinada		Contribución a la varianza por categoría en 2022	Tendencia del inventario en las emisiones nacionales para el incremento de 2022 respecto a 1990	Incertidumbre introducida en la tendencia en las emisiones nacionales totales respecto a 2022	
					(-) %	(+) %	(-) %	(+) %	(-) %	(+) %			(fracción)	(% de 1990)
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Líquido	CO ₂	128.3	120.8	3.0%	3.0%	7.0%	7.0%	7.6%	7.6%	0.000	-5.9%	0.0%	0.0%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Líquido	CH ₄	0.1	0.1	3.0%	3.0%	233.0%	233.0%	233.0%	233.0%	0.000	-7.6%	0.0%	0.0%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Líquido	N ₂ O	0.3	0.2	3.0%	3.0%	233.0%	233.0%	233.0%	233.0%	0.000	-7.6%	0.0%	0.0%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Sólido	CO ₂	-	1,485.7	3.0%	3.0%	7.0%	7.0%	7.6%	7.6%	0.000	NA	0.0%	0.0%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Sólido	CH ₄	-	0.4	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	-	6.2	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	4.8	61.6	3.0%	3.0%	233.0%	233.0%	233.0%	233.0%	0.000	1189.2%	0.0%	0.0%
1.A.1.a.	Producción de electricidad y calor como actividad principal - Biomasa	N ₂ O	6.0	77.8	3.0%	3.0%	275.0%	275.0%	275.0%	275.0%	0.000	1189.1%	0.0%	0.0%
1.A.1.b.	Refinación del petróleo - Líquido	CO ₂	1,070.2	1.7	3.0%	3.0%	7.0%	7.0%	7.6%	7.6%	0.000	-99.8%	0.0%	0.0%
1.A.1.b.	Refinación del petróleo - Líquido	CH ₄	1.2	0.0	3.0%	3.0%	233.0%	233.0%	233.0%	233.0%	0.000	-99.8%	0.0%	0.0%
1.A.1.b.	Refinación del petróleo - Líquido	N ₂ O	2.3	0.0	3.0%	3.0%	233.0%	233.0%	233.0%	233.0%	0.000	-99.8%	0.0%	0.0%
1.A.2.	Industrias manufactureras y de la construcción - Líquido	CO ₂	770.9	4,048.3	5.0%	5.0%	7.0%	7.0%	8.6%	8.6%	0.001	425.1%	0.0%	0.0%
1.A.2.	Industrias manufactureras y de la construcción - Líquido	CH ₄	0.8	3.7	5.0%	5.0%	233.0%	233.0%	233.1%	233.1%	0.000	346.1%	0.0%	0.0%
1.A.2.	Industrias manufactureras y de la construcción - Líquido	N ₂ O	1.5	6.8	5.0%	5.0%	233.0%	233.0%	233.1%	233.1%	0.000	342.5%	0.0%	0.0%
1.A.2.	Industrias manufactureras y de la construcción - Biomasa	CH ₄	1.8	-	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	2.3	-	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	5.5	5.0%	5.0%	7.0%	7.0%	8.6%	8.6%	0.000	101.7%	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	101.7%	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	101.7%	0.0%	0.0%
1.A.3.b.	Transporte terrestre	CO ₂	2,199.9	11,061.2	5.0%	5.0%	7.0%	7.0%	8.6%	8.6%	0.005	402.8%	0.0%	0.0%
1.A.3.b.	Transporte terrestre	CH ₄	14.5	82.1	5.0%	5.0%	230.0%	230.0%	230.1%	230.1%	0.000	465.5%	0.0%	0.0%
1.A.3.b.	Transporte terrestre	N ₂ O	29.0	144.6	5.0%	5.0%	240.0%	240.0%	240.1%	240.1%	0.001	398.0%	0.0%	0.0%
1.A.4.a.	Comercial / Institucional - Líquido	CO ₂	67.1	58.2	15.0%	15.0%	7.0%	7.0%	16.6%	16.6%	0.000	-13.3%	0.0%	0.0%
1.A.4.a.	Comercial / Institucional - Líquido	CH ₄	0.2	0.2	15.0%	15.0%	233.0%	233.0%	233.5%	233.5%	0.000	-9.2%	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	-2.8%	0.0%	0.0%
1.A.4.a.	Comercial / Institucional - Biomasa	CH ₄	-	80.0	15.0%	15.0%	233.0%	233.0%	233.5%	233.5%	0.000	NA	0.0%	0.0%

Código	A Categorías de fuente y sumidero de GEI	B GEI	C Emisiones o absorciones de 1990	D Emisiones o absorciones de 2022	E Incertidumbre de los datos de actividad		F Incertidumbre del factor de emisión		G Incertidumbre combinada		H Contribución a la varianza por categoría en 2022	I Tendencia del inventario en las emisiones nacionales para el incremento de 2022 respecto a 1990	J Incertidumbre introducida en la tendencia en las emisiones nacionales totales respecto a 2022	
					(-) %	(+) %	(-) %	(+) %	(-) %	(+) %			(fracción)	(% de 1990)
1.A.4.a.	Comercial / Institucional - Biomasa	N ₂ O	-	10.1	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	1,151.6	15.0 %	15.0 %	7.0 %	7.0 %	16.6 %	16.6 %	0.000	300.6 %	0.0 %	0.0 %
1.A.4.b.	Residencial - Líquido	CH ₄	0.8	2.6	15.0 %	15.0 %	233.0 %	233.0 %	233.5 %	233.5 %	0.000	222.6 %	0.0 %	0.0 %
1.A.4.b.	Residencial - Líquido	N ₂ O	0.3	0.5	15.0 %	15.0 %	233.0 %	233.0 %	233.5 %	233.5 %	0.000	69.4 %	0.0 %	0.0 %
1.A.4.b.	Residencial - Biomasa	CH ₄	911.1	2,586.1	15.0 %	15.0 %	233.0 %	233.0 %	233.5 %	233.5 %	0.183	183.8 %	0.5 %	0.5 %
1.A.4.b.	Residencial - Biomasa	N ₂ O	115.0	326.3	15.0 %	15.0 %	275.0 %	275.0 %	275.4 %	275.4 %	0.004	183.8 %	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	246.2 %	0.0 %	0.0 %
1.B.2.a.	Petróleo	CH ₄	2.4	0.0	3.0 %	3.0 %	75.0 %	75.0 %	75.1 %	75.1 %	0.000	-98.6 %	0.0 %	0.0 %
2.A.1.	Producción de cemento	CO ₂	410.5	1,627.2	2.0 %	2.0 %	5.5 %	5.5 %	5.8 %	5.8 %	0.000	296.4 %	0.0 %	0.0 %
2.A.2.	Producción de cal	CO ₂	149.3	442.7	6.0 %	6.0 %	2.0 %	2.0 %	6.3 %	6.3 %	0.000	196.5 %	0.0 %	0.0 %
2.A.3.	Producción de vidrio	CO ₂	3.5	19.8	5.0 %	5.0 %	60.0 %	60.0 %	60.2 %	60.2 %	0.000	461.0 %	0.0 %	0.0 %
2.A.4.	Otros usos de carbonatos en los procesos	CO ₂	2.5	28.3	5.8 %	5.8 %	3.0 %	3.0 %	6.6 %	6.6 %	0.000	1049.9 %	0.0 %	0.0 %
2.C.1.	Producción de hierro y acero	CO ₂	4.4	48.8	10.0 %	10.0 %	25.0 %	25.0 %	26.9 %	26.9 %	0.000	997.4 %	0.0 %	0.0 %
2.C.2.	Producción de ferroleaciones	CO ₂	-	0.6	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	35.2	15.0 %	15.0 %	50.1 %	50.1 %	52.3 %	52.3 %	0.000	1197.6 %	0.0 %	0.0 %
2.D.2.	Uso de la cera de parafina	CO ₂	1.0	9.8	15.0 %	15.0 %	100.1 %	100.1 %	101.2 %	101.2 %	0.000	917.9 %	0.0 %	0.0 %
2.F.1.	Refrigeración y aire acondicionado	HFC	-	527.2	10.0 %	10.0 %	68.5 %	68.5 %	69.2 %	69.2 %	0.001	NA	0.0 %	0.0 %
3.A.1.a.	Vacas lecheras	CH ₄	202.8	306.8	45.0 %	45.0 %	30.0 %	30.0 %	54.1 %	54.1 %	0.000	51.3 %	0.0 %	0.0 %
3.A.1.b.	Otros vacunos	CH ₄	2,871.1	4,344.8	45.0 %	45.0 %	30.0 %	30.0 %	54.1 %	54.1 %	0.028	51.3 %	0.4 %	0.4 %
3.A.2.	Ovinos	CH ₄	71.5	67.7	60.0 %	60.0 %	30.0 %	30.0 %	67.1 %	67.1 %	0.000	-5.3 %	0.0 %	0.0 %
3.A.3.	Porcinos	CH ₄	21.6	41.5	60.0 %	60.0 %	30.0 %	30.0 %	67.1 %	67.1 %	0.000	92.4 %	0.0 %	0.0 %
3.A.4.a.	Búfalos	CH ₄	3.7	3.7	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	13.3	12.9	50.0 %	50.0 %	30.0 %	30.0 %	58.3 %	58.3 %	0.000	-3.4 %	0.0 %	0.0 %
3.A.4.e.	Equinos	CH ₄	83.2	78.7	50.0 %	50.0 %	30.0 %	30.0 %	58.3 %	58.3 %	0.000	-5.4 %	0.0 %	0.0 %
3.A.4.f.	Mulas y asnos	CH ₄	16.1	14.1	30.0 %	30.0 %	30.0 %	30.0 %	42.4 %	42.4 %	0.000	-12.3 %	0.0 %	0.0 %
3.B.1.a.	Vacas lecheras	CH ₄	2.0	3.0	45.0 %	45.0 %	50.0 %	50.0 %	67.3 %	67.3 %	0.000	51.3 %	0.0 %	0.0 %
3.B.1.a.	Vacas lecheras	N ₂ O	17.3	26.2	45.0 %	45.0 %	150.0 %	150.0 %	156.6 %	156.6 %	0.000	51.3 %	0.0 %	0.0 %
3.B.1.b.	Otros vacunos	CH ₄	51.3	77.6	45.0 %	45.0 %	50.0 %	50.0 %	67.3 %	67.3 %	0.000	51.3 %	0.0 %	0.0 %
3.B.1.b.	Otros vacunos	N ₂ O	34.0	51.4	45.0 %	45.0 %	150.0 %	150.0 %	156.6 %	156.6 %	0.000	51.3 %	0.0 %	0.0 %

Código	Categorías de fuente y sumidero de GEI	GEI	Emisiones o absorciones de 1990		Emisiones o absorciones de 2022		Incertidumbre de los datos de actividad		Incertidumbre del factor de emisión		Incertidumbre combinada		Contribución a la varianza por categoría en 2022	Tendencia del inventario en las emisiones nacionales para el incremento de 2022 respecto a 1990	Incertidumbre introducida en la tendencia en las emisiones nacionales totales respecto a 2022	
			kt CO ₂ e	kt CO ₂ e	(-) %	(+) %	(-) %	(+) %	(-) %	(+) %	(-) %	(+) %			(fracción)	(% de 1990)
3.B.2.	Ovinos	CH ₄	2.1	2.0	60.0 %	60.0 %	50.0 %	50.0 %	78.1 %	78.1 %	0.000	-5.3 %	0.0 %	0.0 %		
3.B.2.	Ovinos	N ₂ O	1.8	1.7	60.0 %	60.0 %	150.0 %	150.0 %	161.6 %	161.6 %	0.000	-5.3 %	0.0 %	0.0 %		
3.B.3.	Porcinos	CH ₄	21.6	41.5	60.0 %	60.0 %	50.0 %	50.0 %	78.1 %	78.1 %	0.000	92.4 %	0.0 %	0.0 %		
3.B.3.	Porcinos	N ₂ O	28.9	55.6	60.0 %	60.0 %	150.0 %	150.0 %	161.6 %	161.6 %	0.000	92.4 %	0.0 %	0.0 %		
3.B.4.a.	Búfalos	CH ₄	0.1	0.1	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	0.0	0.0	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	0.5	0.4	50.0 %	50.0 %	50.0 %	50.0 %	70.7 %	70.7 %	0.000	-3.4 %	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	-3.4 %	0.0 %	0.0 %		
3.B.4.e.	Equinos	CH ₄	7.6	7.2	50.0 %	50.0 %	50.0 %	50.0 %	70.7 %	70.7 %	0.000	-5.4 %	0.0 %	0.0 %		
3.B.4.e.	Equinos	N ₂ O	6.3	6.0	50.0 %	50.0 %	150.0 %	150.0 %	158.1 %	158.1 %	0.000	-5.4 %	0.0 %	0.0 %		
3.B.4.f.	Mulas y asnos	CH ₄	1.5	1.3	30.0 %	30.0 %	50.0 %	50.0 %	58.3 %	58.3 %	0.000	-12.3 %	0.0 %	0.0 %		
3.B.4.f.	Mulas y asnos	N ₂ O	1.2	1.1	30.0 %	30.0 %	150.0 %	150.0 %	153.0 %	153.0 %	0.000	-12.3 %	0.0 %	0.0 %		
3.B.4.g.	Aves de corral	CH ₄	16.5	39.7	75.0 %	75.0 %	50.0 %	50.0 %	90.1 %	90.1 %	0.000	140.5 %	0.0 %	0.0 %		
3.B.4.g.	Aves de corral	N ₂ O	9.7	23.3	75.0 %	75.0 %	150.0 %	150.0 %	167.7 %	167.7 %	0.000	140.5 %	0.0 %	0.0 %		
3.B.5.	Emisiones indirectas de N ₂ O	N ₂ O	38.4	75.0	150.0 %	150.0 %	500.0 %	500.0 %	522.0 %	522.0 %	0.001	95.4 %	0.0 %	0.0 %		
3.C.1.	Irrigadas	CH ₄	2.2	2.1	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	34.6	21.4	28.0 %	28.0 %	230.0 %	230.0 %	231.7 %	231.7 %	0.000	-38.2 %	0.0 %	0.0 %		
3.D.1.a.	Fertilizantes inorgánicos	N ₂ O	232.7	81.0	20.0 %	20.0 %	300.0 %	300.0 %	300.7 %	300.7 %	0.000	-65.2 %	0.0 %	0.0 %		
3.D.1.b.i.	Estiércol animal aplicado a los suelos	N ₂ O	54.4	106.7	65.0 %	65.0 %	300.0 %	300.0 %	307.0 %	307.0 %	0.001	96.1 %	0.0 %	0.0 %		
3.D.1.b.iii.	Otros fertilizantes orgánicos aplicados a los suelos	N ₂ O	3.9	12.5	65.0 %	65.0 %	300.0 %	300.0 %	307.0 %	307.0 %	0.000	217.4 %	0.0 %	0.0 %		
3.D.1.c.	Orina y estiércol depositado por animales de pastoreo	N ₂ O	74.0	111.0	69.0 %	69.0 %	330.0 %	330.0 %	337.1 %	337.1 %	0.001	49.9 %	0.0 %	0.0 %		
3.D.1.d.	Residuos de cosechas	N ₂ O	69.6	256.0	75.0 %	75.0 %	300.0 %	300.0 %	309.2 %	309.2 %	0.003	267.9 %	0.0 %	0.0 %		
3.D.2.a.	Deposición atmosférica	N ₂ O	77.8	93.3	75.0 %	75.0 %	500.0 %	500.0 %	505.6 %	505.6 %	0.001	19.8 %	0.0 %	0.0 %		
3.D.2.b.	Lixiviación y escurrimiento	N ₂ O	145.5	195.0	75.0 %	75.0 %	600.0 %	600.0 %	604.7 %	604.7 %	0.007	34.0 %	0.0 %	0.0 %		
3.E.	Quema prescrita de sabanas	CH ₄	216.7	122.8	105.0 %	105.0 %	50.0 %	50.0 %	116.3 %	116.3 %	0.000	-43.4 %	0.0 %	0.0 %		
3.E.	Quema prescrita de sabanas	N ₂ O	187.3	106.1	105.0 %	105.0 %	50.0 %	50.0 %	116.3 %	116.3 %	0.000	-43.4 %	0.0 %	0.0 %		
3.F.	Quema de residuos agrícola en el campo	CH ₄	88.3	124.4	80.0 %	80.0 %	100.0 %	100.0 %	128.1 %	128.1 %	0.000	40.8 %	0.0 %	0.0 %		
3.F.	Quema de residuos agrícola en el campo	N ₂ O	21.7	30.5	80.0 %	80.0 %	100.0 %	100.0 %	128.1 %	128.1 %	0.000	40.8 %	0.0 %	0.0 %		
3.H.	Aplicación de urea	CO ₂	10.4	32.4	20.0 %	20.0 %	50.0 %	50.0 %	53.9 %	53.9 %	0.000	210.6 %	0.0 %	0.0 %		

Código	A Categorías de fuente y sumidero de GEI	B GEI	C Emisiones o absorciones de 1990	D Emisiones o absorciones de 2022	E Incertidumbre de los datos de actividad		F Incertidumbre del factor de emisión		G Incertidumbre combinada		H Contribución a la varianza por categoría en 2022	I Tendencia del inventario en las emisiones nacionales para el incremento de 2022 respecto a 1990	J Incertidumbre introducida en la tendencia en las emisiones nacionales totales respecto a 2022	
					(-) %	(+) %	(-) %	(+) %	(-) %	(+) %			(fracción)	(% de 1990)
			kt CO ₂ eq	kt CO ₂ eq										
4.A.1.	Tierras forestales que permanecen como tales	CO ₂	15,533.8	28,940.9	23.4 %	23.4 %	23.4 %	23.4 %	33.1 %	33.1 %	0.460	86.3 %	5.0 %	5.0 %
4.A.1.	Tierras forestales que permanecen como tales	CH ₄	241.3	450.3	70.0 %	70.0 %	59.0 %	59.0 %	91.5 %	91.5 %	0.001	86.6 %	0.0 %	0.0 %
4.A.1.	Tierras forestales que permanecen como tales	N ₂ O	67.2	125.4	70.0 %	70.0 %	53.0 %	53.0 %	87.8 %	87.8 %	0.000	86.6 %	0.0 %	0.0 %
4.A.2.a.	Tierras de cultivo convertidas en tierras forestales	CO ₂	114.3	-1,290.3	45.8 %	45.8 %	18.0 %	18.0 %	49.2 %	49.2 %	0.002	-1229.3 %	0.0 %	0.0 %
4.A.2.b.	Pastizales convertidos en tierras forestales	CO ₂	835.8	-10,707.6	45.8 %	45.8 %	18.0 %	18.0 %	49.2 %	49.2 %	0.139	-1381.1 %	2.8 %	2.8 %
4.B.1.	Tierras de cultivo que permanecen como tales	CO ₂	66.2	66.5	45.8 %	45.8 %	75.0 %	75.0 %	87.9 %	87.9 %	0.000	0.4 %	0.0 %	0.0 %
4.B.2.a.	Tierras forestales convertidas en tierras de cultivo	CO ₂	1,023.5	3,259.4	45.8 %	45.8 %	18.0 %	18.0 %	49.2 %	49.2 %	0.013	218.5 %	0.2 %	0.2 %
4.B.2.b.	Pastizales convertidos en tierras de cultivo	CO ₂	128.3	-242.3	45.8 %	45.8 %	75.0 %	75.0 %	87.9 %	87.9 %	0.000	-288.9 %	0.0 %	0.0 %
4.B.2.c.	Humedales convertidos en tierras de cultivo	CO ₂	0.0	-1.5	45.8 %	45.8 %	75.0 %	75.0 %	87.9 %	87.9 %	0.000	-8823.4 %	0.0 %	0.0 %
4.B.2.d.	Asentamientos convertidos en tierras de cultivo	CO ₂	0.0	-2.6	45.8 %	45.8 %	75.0 %	75.0 %	87.9 %	87.9 %	0.000	-38038.8 %	0.0 %	0.0 %
4.B.2.e.	Otras tierras convertidas en tierras de cultivo	CO ₂	0.0	-4.1	45.8 %	45.8 %	75.0 %	75.0 %	87.9 %	87.9 %	0.000	-17051.5 %	0.0 %	0.0 %
4.C.2.a.	Tierras forestales convertidas en pastizales	CO ₂	13,340.2	10,291.3	45.8 %	45.8 %	18.0 %	18.0 %	49.2 %	49.2 %	0.128	-22.9 %	2.5 %	2.5 %
4.C.2.b.	Tierras de cultivo convertidas en pastizales	CO ₂	109.0	24.2	45.8 %	45.8 %	75.0 %	75.0 %	87.9 %	87.9 %	0.000	-77.8 %	0.0 %	0.0 %
4.C.2.c.	Humedales convertidos en pastizales	CO ₂	0.5	-15.9	45.8 %	45.8 %	75.0 %	75.0 %	87.9 %	87.9 %	0.000	-3588.3 %	0.0 %	0.0 %
4.C.2.d.	Asentamientos convertidos en pastizales	CO ₂	0.1	-2.3	45.8 %	45.8 %	75.0 %	75.0 %	87.9 %	87.9 %	0.000	-3588.3 %	0.0 %	0.0 %
4.C.2.e.	Otras tierras convertidas en pastizales	CO ₂	0.7	-22.7	45.8 %	45.8 %	75.0 %	75.0 %	87.9 %	87.9 %	0.000	-3588.3 %	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 %
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	270.8	750.0	173.2 %	173.2 %	104.5 %	104.5 %	202.3 %	202.3 %	0.012	176.9 %	0.2 %	0.2 %
5.A.2.	Sitios de disposición de residuos no gestionados	CH ₄	141.4	553.1	173.2 %	173.2 %	108.3 %	108.3 %	204.3 %	204.3 %	0.006	291.1 %	0.1 %	0.1 %
5.B.1.	Compostaje	CH ₄	4.0	71.3	100.0 %	100.0 %	100.0 %	100.0 %	141.4 %	141.4 %	0.000	1687.8 %	0.0 %	0.0 %

Código	Categorías de fuente y sumidero de GEI	GEI	Emisiones o absorciones		Incertidumbre de los datos de actividad		Incertidumbre del factor de emisión		Incertidumbre combinada		Contribución a la varianza por categoría en 2022	Tendencia del inventario en las emisiones nacionales para el incremento de 2022 respecto a 1990	Incertidumbre introducida en la tendencia en las emisiones nacionales totales respecto a 2022	
			1990	2022	(-) %	(+) %	(-) %	(+) %	(-) %	(+) %			(fracción)	(% de 1990)
5.B.1.	Compostaje	N ₂ O	2.8	50.6	100.0 %	100.0 %	100.0 %	100.0 %	141.4 %	141.4 %	0.000	1687.8 %	0.0 %	0.0 %
5.C.2.	Incineración abierta de residuos	CO ₂	50.3	197.1	173.2 %	173.2 %	40.0 %	40.0 %	177.8 %	177.8 %	0.001	292.2 %	0.0 %	0.0 %
5.C.2.	Incineración abierta de residuos	CH ₄	56.8	222.8	173.2 %	173.2 %	100.0 %	100.0 %	200.0 %	200.0 %	0.001	292.2 %	0.0 %	0.0 %
5.C.2.	Incineración abierta de residuos	N ₂ O	12.4	48.7	173.2 %	173.2 %	100.0 %	100.0 %	200.0 %	200.0 %	0.000	292.2 %	0.0 %	0.0 %
5.D.1.	Aguas residuales domésticas	CH ₄	46.8	95.5	87.7 %	87.7 %	87.7 %	87.7 %	124.1 %	124.1 %	0.000	103.8 %	0.0 %	0.0 %
5.D.1.	Aguas residuales domésticas	N ₂ O	68.1	215.0	33.5 %	33.5 %	90.0 %	90.0 %	96.0 %	96.0 %	0.000	215.6 %	0.0 %	0.0 %
5.D.2.	Aguas residuales industriales	CH ₄	21.5	63.1	103.1 %	103.1 %	44.8 %	44.8 %	112.4 %	112.4 %	0.000	194.2 %	0.0 %	0.0 %
	Total		43,292.1	64,382.5					21.9 %	21.9 %	1.000	48.7 %	34.6 %	34.6 %

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 1990-2022 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	T1, NE, NO	CS, D, DR, NE, NO	NO	NO	NO, NE	NO, NE	T1a, NO, IE	D, NO, IE
2.A.	Industria de los minerales	T1	CS, D						
2.B.	Industria química	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
2.C.	Industria de los metales	T1, NE	DR, 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						

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
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		
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		
	Emisiones 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	NE	NE						
	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 T1a 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 del inventario presentados previamente por Guatemala

Tabla A.4.1.

Resumen del inventario nacional de gases de efecto invernadero por sector, categoría y gas 2018 (1IBA de Guatemala)

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)	kt CO ₂ eq
0.	Todas las emisiones y las absorciones nacionales	50,101.9	333.1	9.8	713.6	NO	NE, NO	NO	62,058.6
1.	Energía	18,100.9	91.2	1.9					20,958.1
1.A.	Actividades de quema de combustible	18,100.9	91.2	1.9					20,957.5
1.A.1.	Industrias de la energía	5,517.9	1.6	0.3					5,642.2
1.A.2.	Industrias manufactureras y de la construcción	1,943.7	0.1	0.0					1,949.1
1.A.3.	Transporte	9,683.2	2.5	0.5					9,889.0
1.A.4.	Otros sectores	956.2	87.0	1.2					3,477.2
1.A.5.	Otros (especificar)	NO	NO	NO					-
1.B.	Emisiones fugitivas de combustibles	0.0	0.0	-					0.5
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	-					0.5
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	1,992.8
2.A.	Industria de los minerales	1,223.3							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	24.3
2.D.	Productos no energéticos de combustibles y uso de solventes	31.5	NO	NO					31.5
2.E.	Industria electrónica				NO	NO	NO	NO	-
2.F.	Uso de productos sustitutos de las SAO				713.6	NO	NO	NO	713.6
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					6,552.9
3.A.	Fermentación entérica		167.6						4,191.1
3.B.	Gestión del estiércol		5.9	0.9					406.8
3.C.	Cultivo del arroz		0.7						18.3
3.D.	Suelos agrícolas			5.1					1,532.6
3.E.	Quema prescrita de sabanas		3.7	0.3					195.6
3.F.	Quema de residuos agrícola en el campo		5.2	0.1					171.1
3.G.	Encalado	NE							-
3.H.	Aplicación de urea	37.3							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					30,804.0
4.A.	Tierras forestales	16,036.8	8.6	0.3					16,327.8
4.B.	Tierras de cultivo	3,475.3	IE	IE					3,475.3
4.C.	Pastizales	10,396.0	IE	IE					10,396.0
4.D.	Humedales	90.9	NE	NE					90.9
4.E.	Asentamientos	167.6	NO	NO					167.6
4.F.	Otras tierras	346.4	NO	NO					346.4
4.G.	Productos de madera recolectada	NE							-
4.H.	Otros (especificar)	NO	NO	NO					-
5.	Residuos	171.5	50.0	1.1					1,750.8
5.A.	Disposición de residuos sólidos	NA	36.2						904.4
5.B.	Tratamiento biológico de residuos sólidos		1.8	0.1					85.5
5.C.	Incineración y quema abierta de residuos	171.5	6.9	0.2					392.1
5.D.	Tratamiento y descarga de aguas residuales		5.1	0.8					368.8
5.E.	Otros (especificar)	NO	NO	NO					-
	Elementos informativos								
	Tanque internacional	316.1	0.0	0.0					318.8
	Aviación internacional	316.1	0.0	0.0					318.8
	Navegación internacional	IE	IE	IE					-
	Operaciones multilaterales	NO	NO	NO					-

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)	kt CO ₂ eq
	Emisiones de CO ₂ de la biomasa	37,542.3							37,542.3
	CO ₂ capturado	NO							-
	Almacenamiento a largo plazo de C en sitios de disposición de residuos	77.3							77.3
	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

Constante	Valor	Unidad de medida	Descripción	Fuente
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)
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)

Constante	Valor	Unidad de medida	Descripción	Fuente
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) -CO ₂	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.
Factores de emisión para la materia seca quemada (Gef) - CH ₄	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) - N ₂ O	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.

<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) - 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

Us o 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

Us o 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	-	4,501,372.8
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

Us o 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	53,241.1	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

Us o 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	53,241.1	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

Us o 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

Us o 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

Us o 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

Us o 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	232,791.1	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	-	47,186.6	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

Us o fin al	Categoría final	Estrato final	TF					TC			PA	HU	AS	OT	Subtota l usos finales	
			Bosque				Plantaciones coniferas	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	-	-	-	1,589,2 88.6
TF	Bosque	Estrato II	-	1,010, 930.9	-	-	-	-	7,422. 7	-	-	66,804. 5	-	-	-	1,085,1 58.2
TF	Bosque	Estrato III	-	-	735,6 32.0	-	-	-	4,491. 6	-	-	28,072. 6	-	-	-	768,196 .2
TF	Bosque	Estrato IV	-	-	-	392,6 01.8	-	-	2,314. 6	-	-	11,573. 1	-	-	-	406,489 .5
TF	Plantaciones coniferas	Plantaciones coniferas	-	-	-	-	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	1,336,4 70.8
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	460,8 06.4	6,268. 7	-	-	-	479,961 .8
P A	PA	PA	115,45 2.3	94,377 .7	40,31 6.7	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	5,68 6.5	4,564,7 86.1
H U	HU	HU	596.8	596.8	-	-	-	-	740.8	-	-	1,851. 9	231,6 91.6	370.4	1,11 1.1	236,959 .4
AS	AS	AS	93.2	93.2	-	93.2	-	-	347.1	57.9	57.9	694.2	-	135,0 56.5	-	136,493 .2
O T	OT	OT	305.5	1,221. 9	305.5	611.0	-	-	379.2	-	-	3,791. 6	568.7	-	46,2 46.4	53,429. 6
Subtotal usos iniciales			1,639, 439.0	1,115, 810.4	780,7 11.1	405,9 26.3	40,963. 7	28,803. 6	1,331, 104.2	159,869 .6	468,5 87.1	4,492, 044.4	236,3 91.5	136,0 25.0	53,2 24.1	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

Us o fin al	Categoría final	Estrato final	TF					TC			PA	HU	AS	OT	Subtota l usos finales	
			Bosque				Plantaciones coniferas	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	-	-	-	1,583,0 19.8
TF	Bosque	Estrato II	-	997,82 1.0	-	-	-	-	8,350. 6	-	-	75,155. 1	-	-	-	1,081,3 26.7
TF	Bosque	Estrato III	-	-	729,9 97.1	-	-	-	5,053. 1	-	-	31,581. 7	-	-	-	766,631 .9
TF	Bosque	Estrato IV	-	-	-	390,9 36.3	-	-	2,603. 9	-	-	13,019. 7	-	-	-	406,559 .9
TF	Plantaciones coniferas	Plantaciones coniferas	-	-	-	-	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	1,337,1 41.6
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	459,8 33.8	7,052. 3	-	-	-	481,383 .7
P A	PA	PA	129,88 3.8	106,17 4.9	45,35 6.3	10,30 8.2	2,061.6	5,154.1	28,787 .9	639.7	3,838. 4	4,230, 158.7	4,478. 1	639.7	6,39 7.3	4,573,8 78.8
H U	HU	HU	671.4	671.4	-	-	-	-	833.3	-	-	2,083. 4	231,1 04.2	416.7	1,25 0.0	237,030 .4
AS	AS	AS	104.9	104.9	-	104.9	-	-	390.5	65.1	65.1	781.0	-	134,9 35.4	-	136,551 .7
O T	OT	OT	343.7	1,374. 6	343.7	687.3	-	-	426.6	-	-	4,265. 5	639.8	-	45,3 74.1	53,455. 3
Subtotal usos iniciales			1,639, 439.0	1,115, 810.4	780,7 11.1	405,9 26.3	40,963. 7	28,803. 6	1,331, 104.2	159,869 .6	468,5 87.1	4,492, 044.4	236,3 91.5	136,0 25.0	53,2 24.1	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

Us o fin al	Categoría final	Estrato final	TF						TC			PA	HU	AS	OT	Subtota l 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, 51.0
TF	Bosque	Estrato II	-	984,71 1.1	-	-	-	-	9,278. 4	-	-	83,505. 7	-	-	-	1,077, 95.2
TF	Bosque	Estrato III	-	-	724,3 62.3	-	-	-	5,614. 5	-	-	35,090. 8	-	-	-	765,067. 5
TF	Bosque	Estrato IV	-	-	-	389,2 70.7	-	-	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, 12.4
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	458,8 61.2	7,835. 9	-	-	-	482,805. 5
P A	PA	PA	144,31 5.3	117,97 2.1	50,39 5.8	11,45 3.6	2,290.7	5,726.8	31,986. 6	710.8	4,264. 9	4,201, 060.3	4,975. 7	710.8	7,10 8.1	4,582, 71.6
H U	HU	HU	746.0	746.0	-	-	-	-	925.9	-	-	2,314. 9	230,5 16.7	463.0	1,38 8.9	237,101. 3
AS	AS	AS	116.5	116.5	-	116.5	-	-	433.9	72.3	72.3	867.8	-	134,8 14.4	-	136,610. 2
O T	OT	OT	381.8	1,527. 4	381.8	763.7	-	-	473.9	-	-	4,739. 5	710.9	-	44,5 01.9	53,481. 0
Subtotal usos iniciales			1,639, 439.0	1,115, 810.4	780,7 11.1	405,9 26.3	40,963. 7	28,803. 6	1,331, 104.2	159,869. 6	468,5 87.1	4,492, 044.4	236,3 91.5	136,0 25.0	53,2 24.1	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

Us o fin al	Categoría final	Estrato final	TF						TC			PA	HU	AS	OT	Subtota l 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, 82.2
TF	Bosque	Estrato II	-	971,60 1.1	-	-	-	-	10,206. 2	-	-	91,856. 2	-	-	-	1,073, 63.6
TF	Bosque	Estrato III	-	-	718,7 27.4	-	-	-	6,176. 0	-	-	38,599. 8	-	-	-	763,503. 2
TF	Bosque	Estrato IV	-	-	-	387,6 05.2	-	-	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, 83.3
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	457,8 88.7	8,619. 5	-	-	-	484,227. 4
P A	PA	PA	158,74 6.9	129,76 9.3	55,43 5.4	12,59 9.0	2,519.8	6,299.5	35,185. 2	781.9	4,691. 4	4,171, 961.9	5,473. 3	781.9	7,81 8.9	4,592, 64.3
H U	HU	HU	820.6	820.6	-	-	-	-	1,018. 5	-	-	2,546. 3	229,9 29.2	509.3	1,52 7.8	237,172. 3
AS	AS	AS	128.2	128.2	-	128.2	-	-	477.3	79.5	79.5	954.5	-	134,6 93.3	-	136,668. 7
O T	OT	OT	420.0	1,680. 1	420.0	840.1	-	-	521.3	-	-	5,213. 4	782.0	-	43,6 29.7	53,506. 7
Subtotal usos iniciales			1,639, 439.0	1,115, 810.4	780,7 11.1	405,9 26.3	40,963. 7	28,803. 6	1,331, 104.2	159,869. 6	468,5 87.1	4,492, 044.4	236,3 91.5	136,0 25.0	53,2 24.1	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

Us o fin al	Categoría final	Estrato final	TF					TC			PA	HU	AS	OT	Subtota l usos finales	
			Bosque				Plantaciones coniferas	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	-	-	-	1,564,2 13.4
TF	Bosque	Estrato II	-	958,49 1.2	-	-	-	-	11,134. 1	-	-	100,20 6.8	-	-	-	1,069,8 32.1
TF	Bosque	Estrato III	-	-	713,0 92.5	-	-	-	6,737. 4	-	-	42,108. 9	-	-	-	761,938 .8
TF	Bosque	Estrato IV	-	-	-	385,9 39.6	-	-	3,471. 9	-	-	17,359. 6	-	-	-	406,771 .1
TF	Plantaciones coniferas	Plantaciones coniferas	-	-	-	-	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	1,339,1 54.1
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	456,9 16.1	9,403. 1	-	-	-	485,649 .2
P A	PA	PA	173,17 8.4	141,56 6.5	60,47 5.0	13,74 4.3	2,748.9	6,872.2	38,383. 9	853.0	5,117. 8	4,142, 863.5	5,970. 8	853.0	8,52 9.7	4,601,1 57.0
H U	HU	HU	895.2	895.2	-	-	-	-	1,111. 1	-	-	2,777. 8	229,3 41.7	555.6	1,66 6.7	237,243 .3
AS	AS	AS	139.8	139.8	-	139.8	-	-	520.7	86.8	86.8	1,041. 3	-	134,5 72.2	-	136,727 .2
O T	OT	OT	458.2	1,832. 9	458.2	916.4	-	-	568.7	-	-	5,687. 4	853.1	-	42,7 57.5	53,532. 4
Subtotal usos iniciales			1,639, 439.0	1,115, 810.4	780,7 11.1	405,9 26.3	40,963. 7	28,803. 6	1,331, 104.2	159,869 .6	468,5 87.1	4,492, 044.4	236,3 91.5	136,0 25.0	53,2 24.1	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

Us o fin al	Categoría final	Estrato final	TF					TC			PA	HU	AS	OT	Subtota l usos finales	
			Bosque				Plantaciones coniferas	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	104,45 3.1	-	-	-	1,557,9 44.6
TF	Bosque	Estrato II	-	945,38 1.3	-	-	-	-	12,061. 9	-	-	108,55 7.4	-	-	-	1,066,0 00.6
TF	Bosque	Estrato III	-	-	707,4 57.6	-	-	-	7,298. 9	-	-	45,618. 0	-	-	-	760,374 .5
TF	Bosque	Estrato IV	-	-	-	384,2 74.0	-	-	3,761. 2	-	-	18,806. 2	-	-	-	406,841 .5
TF	Plantaciones coniferas	Plantaciones coniferas	-	-	-	-	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	1,339,8 24.9
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	455,9 43.5	10,186. 7	-	-	-	487,071 .1
P A	PA	PA	187,60 9.9	153,36 3.7	65,51 4.6	14,88 9.7	2,977.9	7,444.8	41,582. 5	924.1	5,544. 3	4,113, 765.1	6,468. 4	924.1	9,24 0.6	4,610,2 49.7
H U	HU	HU	969.8	969.8	-	-	-	-	1,203. 7	-	-	3,009. 3	228,7 54.2	601.9	1,80 5.6	237,314 .3
AS	AS	AS	151.5	151.5	-	151.5	-	-	564.0	94.0	94.0	1,128. 1	-	134,4 51.2	-	136,785 .7
O T	OT	OT	496.4	1,985. 6	496.4	992.8	-	-	616.1	-	-	6,161. 3	924.2	-	41,8 85.3	53,558. 1
Subtotal usos iniciales			1,639, 439.0	1,115, 810.4	780,7 11.1	405,9 26.3	40,963. 7	28,803. 6	1,331, 104.2	159,869 .6	468,5 87.1	4,492, 044.4	236,3 91.5	136,0 25.0	53,2 24.1	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

Us o fin al	Categoría final	Estrato final	TF					TC			PA	HU	AS	OT	Subtota l 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

Us o fin al	Categoría final	Estrato final	TF					TC			PA	HU	AS	OT	Subtota l 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

Us o 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	5,120.1	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	4,637,278.8
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

Us o 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

Us o 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	1,386,610.0
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

Us o 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	1,409,729.9
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

Us o 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	1,431,847.7
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	4,531,237.7
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

Us o 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

Us o fin al	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

Us o fin al	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

Us o fin al	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	18,244.4	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

Us o fin al	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	-	27,010.9	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

Us o 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

Us o 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

Us o fi nal	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	4,344,414.4
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	1,331,937.7	159,869.6	468,587.1	4,492,857.1	236,339.5	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.5.4.31

Matriz de uso y cambio de uso de la tierra 2019

Us o fi nal	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	1,232,273.2	-	-	-	-	-	13,627.4	-	3,406.9	194,190.7	-	-	-	1,443,498.1
TF	Bosque	Estrato II	-	728,361.8	-	-	-	-	1,150.0	20,605.0	-	185,444.8	-	-	-	935,561.6
TF	Bosque	Estrato III	-	-	612,782.3	-	-	-	-	13,589.0	-	84,931.5	-	-	-	711,302.8
TF	Bosque	Estrato IV	-	-	-	346,163.5	-	-	-	6,932.2	-	34,661.1	-	-	-	387,756.8
TF	Plantaciones coníferas	Plantaciones coníferas	-	3,450.1	1,150.0	2,300.1	31,817.9	-	4,168.9	-	2,779.3	15,286.0	-	-	-	60,952.4
TF	Plantaciones latifoliadas	Plantaciones latifoliadas	1,150.0	1,150.0	-	-	-	11,117.1	4,791.9	-	-	19,167.4	-	-	-	37,376.5
TC	Cultivos anuales	Cultivos anuales	17,992.1	34,348.6	19,627.8	11,449.5	-	1,635.6	1,087,559.2	13,911.4	24,674.0	397,686.9	1,451.4	-	1,451.4	1,611,788.1
TC	Cultivos permanentes	Cultivos permanentes	3,735.7	17,433.3	8,716.7	3,735.7	1,245.2	-	30,228.0	138,197.1	15,718.6	171,695.2	-	1,209.1	1,209.1	393,123.7
TC	SAF	SAF	3,917.3	13,710.4	5,875.9	7,834.5	1,958.6	-	33,037.1	4,307.3	407,307.6	41,296.4	-	-	-	519,245.3
PA	PA	PA	375,954.8	307,328.1	131,285.8	23,019.8	5,967.5	14,918.8	102,962.6	2,288.1	13,728.3	3,295,262.2	16,016.4	2,288.1	22,880.6	4,313,901.1
HU	HU	HU	2,344.4	2,344.4	-	-	-	-	3,782.5	-	-	9,456.3	214,834.4	1,891.3	5,673.8	239,976.1
AS	AS	AS	1,336.6	1,336.6	-	1,336.6	-	-	7,594.9	1,265.8	1,265.8	15,189.8	-	130,218.8	-	160,047.9
OT	OT	OT	1,761.4	7,045.5	1,761.4	3,522.8	-	-	3,058.9	-	-	30,588.8	4,588.3	-	22,042.5	74,369.6
Subtotal usos iniciales			1,640,465.5	1,116,509.0	781,799.9	399,362.6	40,989.3	28,821.6	1,331,937.7	159,969.7	468,880.5	4,494,857.1	236,339.5	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.5.4.32

Matriz de uso y cambio de uso de la tierra 2020

Us o 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	1,218,238.1	-	-	-	-	-	14,010.3	-	3,502.6	199,646.3	-	-	-	1,435,397.3
TF	Bosque	Estrato II	-	713,482.0	-	-	-	1,245.8	21,083.4	-	-	189,750.7	-	-	-	925,562.0
TF	Bosque	Estrato III	-	-	606,244.0	-	-	-	13,971.9	-	-	87,324.3	-	-	-	707,540.3
TF	Bosque	Estrato IV	-	-	-	343,372.2	-	-	7,123.6	-	-	35,618.2	-	-	-	386,114.0
TF	Plantaciones coníferas	Plantaciones coníferas	-	3,737.5	1,245.8	2,491.7	31,433.5	-	4,456.3	-	2,970.8	16,339.6	-	-	-	62,675.2
TF	Plantaciones latifoliadas	Plantaciones latifoliadas	1,245.8	1,245.8	-	-	-	10,445.9	5,079.2	-	-	20,316.7	-	-	-	38,333.5
TC	Cultivos anuales	Cultivos anuales	19,045.7	36,359.9	20,777.1	12,120.0	-	1,731.4	1,075,925.0	14,869.2	26,302.3	423,931.3	1,547.2	-	1,547.2	1,634,156.4
TC	Cultivos permanentes	Cultivos permanentes	4,023.1	18,774.4	9,387.2	4,023.1	1,341.0	-	32,622.8	136,850.5	16,963.9	185,297.5	-	1,304.9	1,304.9	411,893.3
TC	SAF	SAF	4,108.8	14,380.8	6,163.2	8,217.6	2,054.4	-	34,952.7	4,498.9	403,459.9	43,690.8	-	-	-	521,527.0
PA	PA	PA	388,016.6	317,188.2	135,497.9	24,360.7	6,159.0	15,397.5	107,271.5	2,383.8	14,302.9	3,234,004.3	16,686.7	2,383.8	23,381.1	4,287,490.8
HU	HU	HU	2,440.1	2,440.1	-	-	-	-	3,974.1	-	-	9,935.1	213,421.7	1,987.0	5,961.1	240,159.3
AS	AS	AS	1,432.4	1,432.4	-	1,432.4	-	-	8,169.6	1,361.6	1,361.6	16,339.3	-	130,429.7	-	161,959.0
OT	OT	OT	1,857.2	7,428.6	1,857.2	3,714.3	-	-	3,250.4	-	-	32,504.4	4,875.7	-	20,604.2	76,092.0
Subtotal usos iniciales			1,640,407.8	1,116,469.7	781,172.4	399,731.8	40,987.9	28,820.6	1,331,890.8	159,964.0	468,640.0	4,494,698.8	236,531.2	136,105.4	53,255.5	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.5.4.33

Matriz de uso y cambio de uso de la tierra 2021

Us o 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	1,204,204.0	-	-	-	-	-	14,393.1	-	3,598.3	205,101.6	-	-	-	1,427,297.0
TF	Bosque	Estrato II	-	698,603.1	-	-	-	1,341.6	21,561.8	-	-	194,056.4	-	-	-	915,563.0
TF	Bosque	Estrato III	-	-	599,706.2	-	-	-	14,354.7	-	-	89,717.0	-	-	-	703,778.0
TF	Bosque	Estrato IV	-	-	-	340,581.0	-	-	7,315.0	-	-	36,575.2	-	-	-	384,471.3
TF	Plantaciones coníferas	Plantaciones coníferas	-	4,024.9	1,341.6	2,683.2	31,049.0	-	4,743.6	-	3,162.4	17,393.2	-	-	-	64,398.0
TF	Plantaciones latifoliadas	Plantaciones latifoliadas	1,341.6	1,341.6	-	-	-	9,774.7	5,366.5	-	-	21,466.0	-	-	-	39,290.4
TC	Cultivos anuales	Cultivos anuales	20,099.1	38,371.1	21,926.3	12,790.4	-	1,827.2	1,064,291.7	15,827.0	27,930.5	450,173.9	1,643.0	-	1,643.0	1,656,523.2
TC	Cultivos permanentes	Cultivos permanentes	4,310.4	20,115.3	10,057.7	4,310.4	1,436.8	-	35,017.4	135,504.1	18,209.1	198,898.9	-	1,400.7	1,400.7	430,661.5
TC	SAF	SAF	4,300.3	15,051.1	6,450.5	8,600.6	2,150.2	-	36,868.0	4,690.4	399,612.5	46,085.0	-	-	-	523,808.6
PA	PA	PA	400,077.6	327,047.5	139,709.6	5,701.4	6,350.4	15,876.1	111,580.0	2,479.6	14,877.3	3,172,750.7	17,356.9	2,479.6	24,795.6	4,261,082.4
HU	HU	HU	2,535.9	2,535.9	-	-	-	-	4,165.6	-	-	10,413.9	212,360.0	2,082.8	6,248.4	240,342.5
AS	AS	AS	1,528.2	1,528.2	-	1,528.2	-	-	8,744.3	1,457.4	1,457.4	17,488.7	-	130,137.6	-	163,869.9
OT	OT	OT	1,952.9	7,811.7	1,952.9	3,905.8	-	-	3,442.0	-	-	34,419.9	5,163.0	-	19,166.1	77,814.2
Subtotal usos iniciales			1,640,350.0	1,116,430.4	781,144.9	400,101.1	40,986.4	28,819.6	1,331,843.9	159,958.4	468,475.0	4,494,540.6	236,522.9	136,100.6	53,253.7	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.5.4.34

Matriz de uso y cambio de uso de la tierra 2022

Us o fin al	Categoría final	Estrato final	TF						TC			PA	HU	AS	OT	Subtota l usos finales
			Bosque				Plantac iones conifer as	Plantac iones latifolia das	Cultivos anuales	Cultivos perman entes	SAF					
			Estrato I	Estrato II	Estrat o III	Estrat o IV										
TF	Bosque	Estrato I	1,190, 170.9	-	-	-	-	-	14,775 .9	-	3,694. 0	210,55 6.6	-	-	-	1,419,1 97.3
TF	Bosque	Estrato II	-	683,72 5.4	-	-	-	1,437.4	22,040 .2	-	-	198,36 1.8	-	-	-	905,564 .8
TF	Bosque	Estrato III	-	-	593,1 68.9	-	-	-	14,737 .5	-	-	92,109 .5	-	-	-	700,016 .0
TF	Bosque	Estrato IV	-	-	-	337,7 90.0	-	-	7,506. 4	-	-	37,532 .2	-	-	-	382,828 .7
TF	Plantaciones coníferas	Plantaciones coníferas	-	4,312. 2	1,437. 4	2,874. 8	30,664. 6	-	5,030. 9	-	3,353. 9	18,446 .7	-	-	-	66,120. 6
TF	Plantaciones latifoliadas	Plantaciones latifoliadas	1,437. 4	1,437. 4	-	-	-	9,103.6	5,653. 8	-	-	22,615 .2	-	-	-	40,247. 3
TC	Cultivos anuales	Cultivos anuales	21,152 .5	40,382 .1	23,07 5.5	13,46 0.7	-	1,923.0	1,052, 659.2	16,784. 7	29,55 8.6	476,41 4.6	1,738. 7	-	1,73 8.7	1,678,8 88.4
TC	Cultivos permanentes	Cultivos permanentes	4,597. 8	21,456 .2	10,72 8.1	4,597. 8	1,532.6	-	37,411 .9	134,157 .7	19,45 4.2	212,49 9.3	-	1,496. 5	1,49 6.5	449,428 .4
TC	SAF	SAF	4,491. 8	15,721 .4	6,737. 7	8,983. 6	2,245.9	-	38,783 .3	4,881.8	395,7 65.4	48,479 .1	-	-	-	526,090 .0
P A	PA	PA	412,13 7.7	336,90 6.2	143,9 21.1	27,04 2.1	6,541.9	16,354. 7	115,88 8.3	2,575.3	15,45 1.8	3,111, 501.4	18,02 7.1	2,575. 3	25,7 53.0	4,234,6 75.8
H U	HU	HU	2,631. 6	2,631. 6	-	-	-	-	4,357. 1	-	-	10,892 .7	211,2 98.5	2,178. 5	6,53 5.6	240,525 .7
AS	AS	AS	1,623. 9	1,623. 9	-	1,623. 9	-	-	9,319. 0	1,553.2	1,553. 2	18,638 .0	-	129,8 45.5	-	165,780 .6
O T	OT	OT	2,048. 7	8,194. 7	2,048. 7	4,097. 3	-	-	3,633. 5	-	-	36,335 .2	5,450. 3	-	17,7 28.0	79,536. 4
Subtotal usos iniciales			1,640, 292.3	1,116, 391.1	781,1 17.4	400,4 70.3	40,985. 0	28,818. 6	1,331, 797.0	159,952 .8	468,8 30.9	4,494, 382.4	236,5 14.5	136,0 95.8	53,2 51.8	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

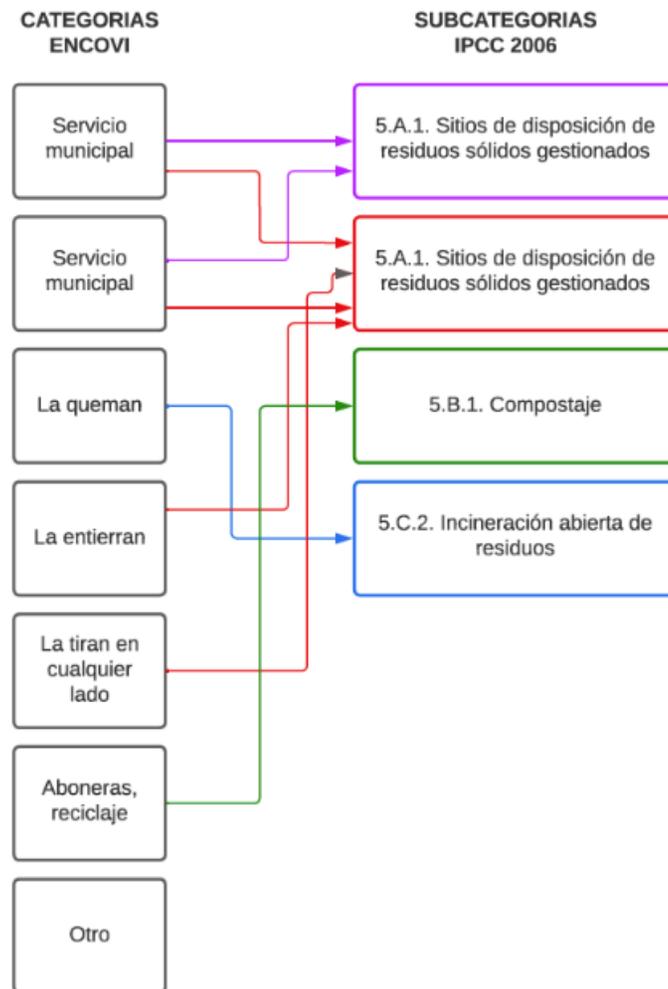
Los datos de actividad para las categorías 5.A, 5.B y 5.C se obtienen a partir del tipo de tratamiento que se les da a los residuos a nivel hogar reportadas en las ENCOVI de 2000, 2006, 2011 y 2014. Esta información se obtiene utilizando la boleta de la ENCOVI y se encuentra en el Capítulo I. La Vivienda 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 homogenizan¹² 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.

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

¹² 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.

<i>Año</i>	<i>No pobre</i>	<i>No Extremo</i>	<i>Pobre extremo</i>
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

Año	No pobre	No Extremo	Pobre extremo
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

Año	No pobre	No Extremo	Pobre extremo
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
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

Año	Área rural
2001	0.15
2002	0.16
2003	0.17
2004	0.17
2005	0.18
2006	0.19
2007	0.2

<i>Año</i>	<i>Área rural</i>
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
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

<i>Año</i>	<i>Población</i>	<i>kg/hab_día</i>
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
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](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 taxomómica 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.