



Juntos transformemos  
**Yucatán**  
GOBIERNO DEL ESTADO

**SDS**  
SECRETARÍA DE  
DESARROLLO  
SUSTENTABLE



# INVENTARIO DE EMISIONES DE GASES Y COMPUESTOS DE EFECTO INVERNADERO DEL ESTADO DE YUCATÁN 2010-2023









# INVENTARIO DE EMISIONES DE GASES Y COMPUESTOS DE EFECTO INVERNADERO DEL ESTADO DE YUCATÁN 2010-2023



Juntos transformemos  
**Yucatán**  
GOBIERNO DEL ESTADO

**SDS**  
SECRETARÍA DE  
DESARROLLO  
SUSTENTABLE

**Inventario de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero del Estado de Yucatán, 2010-2023**

**Secretaría de Desarrollo Sustentable (SDS)**

**Gobierno del Estado de Yucatán**

**Calle 64, Número 437 por 53 y 47A, Colonia Centro, Mérida Yucatán, México**

**Citación sugerida: Inventario Estatal de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero de Yucatán, 2010-2023. Yucatán 2024. Disponible en Secretaría de Desarrollo Sustentable (SDS Yucatán) ([www.sds.yucatan.gob.mx](http://www.sds.yucatan.gob.mx))**



**Este estudio fue homologado de acuerdo a los criterios de estilo institucional definidos para las publicaciones digitales de la SDS. El texto y los contenidos se mantienen como fueron entregados por su(s) autor(es).**

## Contenido

Agradecimientos .....	1
DIRECTORIO .....	2
Resumen ejecutivo.....	3
Tendencias agregadas de las emisiones y la absorción.....	5
Evolución de las emisiones por sector y por gas .....	5
Carbono negro.....	6
Introducción.....	7
Información básica sobre los inventarios de gases de efecto invernadero y cambio climático.....	7
Descripción del sistema del inventario .....	8
Disposiciones institucionales, jurídicas y de procedimiento .....	8
Arreglo institucional .....	11
Aseguramiento y control de calidad (AC/CC) y verificación del inventario .....	12
Cambios en el sistema del inventario desde el anterior IEEGYCEI .....	12
Preparación del IEEGYCEI .....	13
Visión general de las metodologías y fuentes de datos utilizadas.....	17
Breve descripción de las categorías clave .....	18
Evaluación general de la incertidumbre .....	19
Evaluación general de la exhaustividad.....	20
Emisiones de GEI 2023 y tendencia histórica.....	22
Principales indicadores socioeconómicos.....	22
Descripción e interpretación de las tendencias agregadas de las emisiones .....	23
Descripción e interpretación de las emisiones por sectores .....	27
Descripción e interpretación de las tendencias para el carbono negro .....	36
Capítulo 1: Energía.....	39
1 Visión general del sector .....	39
1A. Actividades de quema del combustible .....	40
1A1. Industrias de la energía .....	40
1A1.1. Descripción de la categoría.....	40
1A1.2. Metodología .....	42
1A1.3. Datos de actividad (DA).....	43
1A1.4. Factores de Emisión (FE) .....	43

1A1.5. Incertidumbres y coherencia de las series temporales .....	44
1A1.6. QA/QC de la categoría y verificación .....	44
1A1.7. Mejoras previstas específicas de cada categoría .....	44
1A2. Industrias manufactureras y de la construcción. ....	45
1A2.1. Descripción de la categoría .....	45
1A2.2. Metodología .....	46
1A2.3. Datos de Actividad (DA).....	46
1A2.4. Factores de emisión (FE).....	47
1A2.5. Incertidumbres y coherencia de las series temporales .....	47
1A2.6. QA/QC de la categoría y verificación.....	48
1A2.7. Mejoras previstas específicas de cada categoría .....	48
1A4. Otros sectores .....	48
1A4.1. Descripción de la categoría .....	48
1A4.2. Metodología .....	49
1A4.3. Datos de actividad (DA).....	49
1A4.4. Factores de emisión (FE).....	50
1A4.5. Incertidumbres y coherencia de las series temporales .....	51
1A4.6. QA/QC de la categoría y verificación.....	51
1A4.7. Mejoras previstas específicas de cada categoría .....	51
1A5. No especificado .....	52
1A5.1. Descripción de la categoría .....	52
1A5.2. Metodología.....	52
1A5.2. Datos de actividad (DA).....	52
1A5.3. Factores de emisión (FE).....	53
1A5.4. Incertidumbres y coherencia de las series temporales .....	53
1A5.5. QA/QC de la categoría y verificación.....	54
1A5.6. Mejoras previstas específicas de cada categoría .....	54
1B. Emisiones fugitivas provenientes de la fabricación de combustibles .....	54
1B1. Combustibles sólidos.....	54
1B2. Petróleo y gas natural.....	55
1B2.1. Metodología .....	56
1B2.2. Datos de actividad (DA).....	56
1B2.3. Factores de emisión (FE).....	57
1B2.4. Incertidumbres y coherencia de las series temporales .....	57
1B2.5. QA/QC de la categoría y verificación.....	58
1B2.6. Mejoras previstas .....	58

1A3. Transporte .....	58
1A3b.2. Metodología.....	61
1A3b.3. Datos de actividad (DA).....	62
1A3b.4. Padrón vehicular .....	64
1A3b.5. Actividad Vehicular.....	65
1A3b.6 Características de los combustibles .....	67
1A3b.7. Factores de emisión (FE) .....	67
1A3b.8. Incertidumbres y coherencia de las series temporales .....	69
1A3b.9. QA/QC de la categoría y verificación.....	69
1A3b.10. Mejoras previstas específicas de cada categoría.....	69
1A3ai Aviación civil internacional (elemento recordatorio) .....	70
1A3ai.1 Metodología.....	70
1A3ai.2 Datos de actividad (DA) .....	70
1A3ai.3 Factores de Emisión .....	71
1A3ai.4 Resultados .....	71
Capítulo 2: Procesos industriales y uso de productos (PIUP).....	72
2.1 Visión general del sector .....	72
2A. Industria de los minerales.....	73
2A1. Producción de cemento .....	74
2A1.1 Metodología .....	74
2A1.2 Datos de actividad (DA).....	74
2A1.3 Factores de emisión (FE).....	75
2A1.4 Incertidumbres y coherencias de las series temporales .....	75
2A1.5 QA/QC de la categoría y verificación.....	75
2A1.6 Mejoras previstas específicas de cada categoría .....	75
2A2. Producción de cal .....	75
2A2.1 Metodología .....	75
2A2.2 Datos de actividad (DA).....	76
2A2.3 Factores de emisión .....	76
2A2.4 Incertidumbre y coherencia de las series temporales .....	76
2A2.5 QA/QC de la categoría y verificación.....	76
2C. Industria de los metales.....	76
2C.1 Descripción de la categoría .....	76
2C1. Producción de hierro y acero.....	77
2C1.1 Metodología .....	77
2C1.2 Datos de actividad (DA).....	77

2C1.3 Factores de emisión (FE).....	77
2C1.4 Incertidumbres y coherencia de las series temporales .....	77
2C1.5 QA/QC de la categoría y verificación.....	77
2C1.6 Mejoras previstas específicas de cada categoría .....	77
2D Uso de productos no energéticos de combustibles y de solventes.....	77
2D1 Uso de Lubricantes .....	78
2D1.1 Metodología .....	78
2D1.2 Datos de actividad (DA).....	79
2D1.3 Factores de emisión (FE) .....	79
2D1.4 Incertidumbres y coherencia de las series temporales .....	79
2D1.5 QA/QC de la categoría y verificación.....	79
2D1.6 Mejoras previstas específicas de cada categoría .....	79
2F Uso de productos sustitutos de las sustancias que agotan la capa de ozono.....	80
2F1 Refrigeración y aire acondicionado .....	80
2F1.1 Metodología .....	80
2F1.2 Datos de actividad (DA).....	81
2F1.3 Factores de emisión (FE) .....	81
2F1.4 Incertidumbres y coherencia de las series temporales .....	81
2F1.5 QA/QC de la categoría y verificación.....	82
2F1.6 Mejoras previstas específicas de cada categoría .....	82
Capítulo 3. Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra (ASOUT).....	83
3.1 Visión general del sector (Agricultura) .....	83
3A1. Fermentación entérica.....	84
3A1.1 Descripción de la categoría .....	84
3A1.2 Datos de actividad (DA).....	85
3A1.3 Factores de emisión (FE) .....	86
3A1.4 Incertidumbres y coherencia de las series temporales .....	86
3A1.5 QA/QC de la categoría y verificación.....	88
3A1.6 Mejoras previstas .....	88
3A2 Gestión de estiércol.....	88
3A2.1 Metodología.....	89
3A2.2 Datos de actividad (DA) .....	89
3A2.3 Factores de emisión (FE) .....	90
3A2.4 Incertidumbres y coherencia de las series temporales .....	90
3A2.5 QA/QC de la categoría y verificación .....	90
3A2.6 Mejoras previstas específicas de cada categoría .....	90

3C1 Emisiones de GEI por quema de biomasa.....	90
3C1.1 Metodología .....	91
3C1.2 Datos de actividad (DA).....	91
3C1.3 Factores de emisión (FE).....	92
3C1b. Emisiones por quema de biomasa en tierras de cultivo.....	92
3C1b.1 Datos de actividad (DA).....	92
3C1b.2 Factores de emisión (FE).....	93
3C1b.3 Incertidumbres y coherencia de las series temporales .....	93
3C1b.4 QA/QC de la categoría y verificación.....	93
3C1b.5 Mejoras previstas específicas de cada categoría .....	93
3C4-3C5 Suelos gestionados .....	93
3C4-3C5.1 Metodología .....	94
3C4-3C5.2 Datos de actividad (DA).....	95
Fertilizantes sintéticos nitrogenados (FSN).....	95
Estiércol depositado en pasturas y praderas por animales en pastoreo (FPRP).....	95
Residuos agrícolas (aéreos y subterráneos) reincorporados al suelo en tierras de cultivo (FCR).....	95
3C4-3C5.3 Factores de emisión (FE).....	96
3C4-3C5.4 Incertidumbres y coherencia de las series temporales .....	96
3C4-3C5.5 QA/QC de la categoría y verificación.....	96
3C4-3C5.6 Mejoras previstas específicas de cada categoría .....	97
3C3-3C6 Otras fuentes de emisión.....	97
3C3-3C6.1 Metodología .....	98
3C3-3C6.2 Datos de actividad (DA).....	98
3C3-3C6.3 Factores de emisión (FE).....	98
3C3-3C6.4 Incertidumbres y coherencia de las series temporales .....	98
3C3-3C6.5 QA/QC de la categoría y verificación.....	99
3C3-3C6.6 Mejoras previstas específicas de cada categoría .....	99
3B UTCUTS.....	100
3B.1 Descripción de la categoría Tierra .....	100
3B.2 Definición de Tierra .....	103
3B.3 Enfoque para representar superficies, y bases de datos de Tierra .....	103
3B1.1 Tierras forestales.....	108
3B1.2 Metodología .....	109
3B1.3 Datos de actividad (DA).....	110
3B1.4 Factores de emisión (FE).....	110
3B1.5 Incertidumbres y coherencia de las series temporales .....	112

3B1.6 QA/QC de la categoría y verificación.....	112
3B1.7 Mejoras previstas específicas de cada categoría .....	112
3B2-3B3 Tierras de cultivo y pastizales [3B2 y 3B3].....	112
3B2-3B3.1 Metodología .....	113
3B2-3B3.2 Datos de actividad (DA).....	114
3B2-3B3.3 Factores de emisión (FE).....	115
3B2-3B3.4 Incertidumbres y coherencia de las series temporales .....	115
3B2-3B3.5 QA/QC de la categoría y verificación .....	115
3B2-3B3.6 Mejoras previstas específicas de cada subcategoría .....	115
3B4-3B5-3B6 Otros usos de la tierra.....	115
3B4-3B5-3B6.1 Metodología.....	116
3B4-3B5-3B6.2 Datos de actividad (DA) .....	117
3B4-3B5-3B6.3 Factores de emisión (FE) .....	118
3B4-3B5-3B6.4 Incertidumbres y coherencia de las series temporales .....	118
3B4-3B5-3B6.5 QA/QC de la categoría y verificación .....	118
3B4-3B5-3B6.6 Mejoras previstas específicas de cada categoría .....	118
3D Productos de madera recolectada.....	118
3D.1 Metodología .....	119
3D.2 Datos de actividad (DA).....	119
3D.3 Factores de emisión (FE) .....	120
3D.4 Incertidumbres y coherencia de las series temporales .....	120
3D.5 QA/QC de la categoría y verificación.....	120
3D.6 Mejoras previstas.....	120
Capítulo 4: Residuos.....	121
4 Visión general del sector .....	121
4A Eliminación de residuos sólidos.....	122
4A.1 Metodología .....	123
4A.2 Datos de actividad (DA).....	124
4A.3 Parámetros de estimación.....	125
4A.4 Incertidumbres y coherencia de las series temporales .....	127
4A.5 QA/QC de la categoría y verificación.....	127
4A.6 Mejoras previstas específicas de cada categoría .....	127
4C Incineración y quema a cielo abierto de residuos sólidos .....	127
4C.1 Metodología .....	128
4C.2 Datos de actividad (DA).....	128
4C.3 Factores de emisión (FE) .....	128

4C.6 Incertidumbres y coherencia de las series temporales .....	129
4C.7 QA/QC de la categoría y verificación .....	129
4C.8 Mejoras previstas .....	129
4D Tratamiento y eliminación de aguas residuales domésticas y aguas residuales industriales ...	130
4D.1 Metodología .....	131
4D.2 Datos de actividad (DA).....	131
4D.3 Factores de emisión (FE).....	133
4D.4 Incertidumbres y coherencia de las series temporales .....	135
4D.5 QA/QC de la categoría y verificación.....	136
4D.6 Mejoras previstas específicas de cada categoría .....	136
Carbono Negro (CN).....	137
1A Industrias de la energía .....	137
Metodología.....	137
Elección de los factores de emisión .....	138
3C1 Quema de biomasa .....	141
Metodología.....	141
3C1b Quema de biomasa .....	142
Datos de actividad (DA).....	142
Factores de emisión (FE).....	142
4C2 Quema a cielo abierto de residuos sólidos .....	143
Metodología.....	144
Datos de actividad (DA).....	144
Factores de emisión (FE).....	144
Anexos 145	
Anexo I: Categorías Clave .....	145
Anexo II Evaluación de Incertidumbre.....	155
Anexo III Fuentes estimadas y no estimadas.....	158
Anexo IV: Compuestos, unidades, siglas y acrónimos .....	170
Acrónimos.....	172
Referencias y literatura citada.....	176





## Agradecimientos

La Secretaría de Desarrollo Sustentable del Estado de Yucatán desea expresar su agradecimiento a las instituciones, municipios y personas siguientes por su invaluable contribución al desarrollo y enriquecimiento de este inventario, agradeciendo la información suministrada, la disposición y las facilidades brindadas.

- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA)
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR)
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI)
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER)
- Secretaría de Energía (SENER)
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT)
- Línea Coahuila Yucatán S.A. de C.V.
- Municipios del Estado de Yucatán

y a la Dirección de Inventario y Prospectivas de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) por la revisión técnica del presente inventario.

## **DIRECTORIO**

### **Abog. María Dolores Fritz Sierra**

Gobernadora Constitucional del Estado de Yucatán

### **Mtra. Diana Pérez Jaumá**

Secretaria de Desarrollo Sustentable de Yucatán

### **Coordinadores**

M.I.A. Sergio Ricardo Aguilar Escalante

M en C. Roberto Andrés Us Vázquez

### **Consultoría**

#### **Centro Mario Molina para Estudios Estratégicos Sobre Energía y Medio Ambiente A.C.**

Ing. Graciela Hernández Cano

Coordinador

Sector Procesos Industriales y Uso de Productos (PIUP)

Mtro. Ángel Pérez Padilla

Sector Energía

Ing. Salvador Montero

Ing. Carolina González Martínez

Categoría Transporte

Lic. Nancy Hernández Valdez

Sector Agricultura, Silvicultura y Otros Usos de la Tierra (ASOUT)

Lic. Julieta Leo

Sector Residuos

Mtro. David Alberto Díaz Mata

Especialista en Derecho Ambiental

## Resumen ejecutivo

El informe del sexto ciclo de evaluación (AR6) sobre los impactos del calentamiento global, elaborado por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), aborda información científica reciente acerca del estado climático global. En dicho informe se establece que el cambio climático inducido por la actividad humana está generando perturbaciones significativas y generalizadas en el entorno natural, con repercusiones para la vida de miles de millones de personas en todo el mundo. Se subraya la existencia de una relación prácticamente lineal entre las emisiones de CO<sub>2</sub> de origen antropogénico acumuladas y el calentamiento global resultante, estimando que cada incremento de 1,000 GtCO<sub>2</sub> en las emisiones acumuladas puede producir un aumento de la temperatura global en superficie de entre 0.27°C y 0.63°C. La evidencia presentada señala que son las acciones humanas, especialmente la quema de combustibles fósiles y la deforestación, las principales responsables de estos cambios.

Dada esta evidencia, el Acuerdo de París establece el objetivo de limitar el aumento de la temperatura global a un máximo de 2°C. Este objetivo requiere una transformación significativa en los métodos de producción y consumo de bienes y servicios en las sociedades. En este contexto, México ha ratificado su compromiso de reducir las emisiones, lo cual demanda la participación de todos los sectores y estados del país responsables de dichas emisiones. Aunque el cambio climático representa uno de los desafíos más importantes para los estados y la economía mexicana, también se percibe como una oportunidad para promover la transición hacia un crecimiento sostenible y eficiente en el uso de los recursos naturales.

Para lograr lo mencionado y facilitar a los estados y municipios de la República la adopción de medidas de mitigación efectivas y beneficiosas desde un punto de vista económico, es fundamental disponer de herramientas que faciliten la cuantificación de las emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero (GYCEI) mediante la elaboración de un inventario detallado de dichas emisiones. Esta acción no solo permite identificar las actividades específicas que requieren un enfoque prioritario en las labores de mitigación, sino también establecer indicadores y objetivos que posibiliten supervisar el avance hacia su cumplimiento.

En este contexto, el Estado de Yucatán ha publicado su Inventario Estatal de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero (IEEGYCEI) correspondiente al periodo 2010-2023. Este informe se ha elaborado siguiendo las Directrices 2006 del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) y el Refinamiento 2019.

En el año 2023, las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en el Estado de Yucatán alcanzaron las 10,425.52 gigagramos en CO<sub>2</sub> equivalente (Gg CO<sub>2</sub>e), excluyendo la categoría [3B] Tierra y [3D] Productos de madera recolectada (PMR) que muestra un balance de emisiones netas de -2,685.91 GgCO<sub>2</sub>e. Este resultado se debe a la absorción de CO<sub>2</sub> por parte de los sumideros de carbono como son principalmente las tierras forestales que permanecen como tal y las tierras convertidas a tierras forestales. Considerando solo emisiones, las emisiones totales en el Estado de Yucatán ascienden a 12,948.37 GgCO<sub>2</sub>e.

En el año 2023, la principal fuente de emisión de gases de efecto invernadero (GEI), excluyendo las absorciones, proviene de las emisiones por la generación de energía eléctrica con 28.50% del total, seguidas por las emisiones por la quema de combustibles fósiles en el transporte

terrestre, con 26.51% y en menor medida le siguen las emisiones del ganado bovino con el 8.48% del total emitido.

En cuanto a las emisiones de fuentes biogénicas estas se estimaron para 2023 en 1,178.17 GgCO<sub>2</sub>e con una TMCA -0.36%, siendo la principal fuente de emisión la quema de leña en el sector residencial con el 96.69% seguido por la combustión de biomasa con el 2.21%.

El principal gas de efecto invernadero es el dióxido de carbono con una contribución del 72.02% seguido por el metano con el 17.99%, el óxido nitroso con el 6.78% y el resto corresponde a los gases "F" con el 3.21% restante.

En cuanto al carbono negro (CN), un forzador climático de vida corta, se registraron emisiones de 0.61 Gg en 2023. La principal fuente de emisión de este contaminante fue la quema de diesel en el transporte terrestre con un 74.93%, seguido por la quema de gasolina en el transporte terrestre, con un 14.92%, y en menor medida, la quema a cielo abierto de residuos, con 3.99%.

En el Estado de Yucatán, las emisiones per cápita se estiman en 4.40 toneladas de CO<sub>2</sub>e por habitante en el año 2023, lo que representa una disminución del -1.11% respecto a las emisiones per cápita en 2010 (5.08 tCO<sub>2</sub>e/hab). Estos valores sitúan al Estado por debajo de la media nacional en emisiones per cápita la cual es estimada para 2022 en 5.57 tCO<sub>2</sub>e/hab.

## Tendencias agregadas de las emisiones y la absorción

Durante el período de 2010 a 2023, las emisiones (excluyendo absorciones) aumentaron de 9,940.75 GgCO<sub>2</sub>e a 10,425.52 GgCO<sub>2</sub>e, mostrando un crecimiento constante con una tasa de crecimiento media anual (TCMA) del 0.37% (Figura 3).

La mayoría de los sectores registraron un incremento en dicho lapso. El sector residuos destacó por su mayor crecimiento, con una TCMA del 4.24%, seguido por el sector PIUP con 1.42% y el sector ASOUT (sin absorciones) con 1.04%. En contraste, el sector Energía experimentó una disminución con una TCMA de -0.15%.

Por otro lado, en relación a las absorciones, se observa que la categoría [3B] tierra aumentó su capacidad de absorción en un 0.52% durante el período mencionado. Este aumento se atribuye principalmente a tierras forestales que permanecen como tal, a tierras convertidas en tierras forestales y a los productos de madera recolectada, generando una absorción de -15,634.28 GgCO<sub>2</sub>e.

## Evolución de las emisiones por sector y por gas

En la Figura 5, se presentan las emisiones de gases de efecto invernadero por sector, conforme a la clasificación del IPCC, los sectores Energía, Procesos Industriales y Uso de Productos (PIUP) y Residuos, así como las categorías de Agricultura y Uso de la Tierra y Cambio de Uso de la Tierra y Silvicultura (UTCUS) pertenecientes al sector Agricultura, Forestal y Otros Usos de la Tierra (ASOUT); en la Tabla 9 se presentan las emisiones y absorciones en el Estado de Yucatán por nivel para el año 2023.

En el año 2023, las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en el Estado de Yucatán se estimaron en 10,425.52 GgCO<sub>2</sub>e (sin considerar absorciones), el total de absorciones en el Estado se estiman en -15,634.28 GgCO<sub>2</sub>e dando como resultado un balance negativo de -2,685.91 GgCO<sub>2</sub>e de emisiones netas.

Se observa que en Yucatán, el sector con mayor emisión de GEI es Energía seguido por Agricultura, Ganadería, Silvicultura y Otros Usos de la Tierra (ASOUT) y en menor medida el sector Procesos Industriales y Uso de Productos (PIUP) y Residuos. La tendencia durante el período de análisis se ha mantenido a lo largo del tiempo. Se puede observar que en la mayoría de los sectores se presenta un crecimiento mayor después de la pandemia de COVID-19.

El gas de efecto invernadero de mayor contribución es el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) con el 72.02% seguido del gas metano (CH<sub>4</sub>) con el 17.99%, el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) con el 6.78% y el resto corresponde a los gases "F" con el 3.21% (Tabla 1).

Tabla 1. Distribución de las emisiones de GEI por tipo de gas

Tipo de gas	Emisiones (GgCO <sub>2</sub> e)	Contribución porcentual
Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	7,508.64	72.02%
Metano (CH <sub>4</sub> )	1,875.68	17.99%
Óxido nitroso (N <sub>2</sub> O)	707.01	6.78%
Gases HFC	331.81	3.18%
Gases HCFC	2.37	0.03%
<b>Emisiones sin [3B] y [3D]</b>	<b>10,425.52</b>	
Emisiones de CO <sub>2</sub> de [3B]+[3D]	2,522.85	
<b>Emisiones totales</b>	<b>12,948.37</b>	
Absorciones de CO <sub>2</sub> de [3B]+[3D]	-15,634.28	
<b>Emisiones netas</b>	<b>-2,685.91</b>	

Fuente: Elaboración propia.

## Carbono negro

La estimación de las emisiones de carbono negro (CN) es de gran importancia, tanto en el contexto del cambio climático, debido a su condición de contaminante y forzador climático de vida corta (CFCV), como en el ámbito de la salud pública, dada la severidad de los problemas de salud que puede ocasionar su exposición a la población.

En el año 2023, se calcula que en el Estado de Yucatán se emitieron aproximadamente 0.61 Gg en CN, principalmente por la quema de diesel (74.93%) y la de gasolina (14.91%) en el transporte terrestre. (Tabla 10 y Figura 6). Al analizar la tendencia de las emisiones de carbono negro durante el periodo comprendido entre 2010 a 2023, se observa un incremento constante, proyectándose una tasa de crecimiento anual promedio del 2.59%.

## Introducción

### Información básica sobre los inventarios de gases de efecto invernadero y cambio climático

En este informe, el Estado de Yucatán presenta la actualización de su Inventario Estatal de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero (IEEGYCEI) correspondiente al periodo 2010-2023. La elaboración de dicho inventario se llevó a cabo conforme a las directrices actuales del Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), basadas en las Directrices de 2006 y el 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (en adelante Refinamiento 2019).

Se presentan las estimaciones de emisiones y absorciones de gases y compuestos de efecto invernadero (GYCEI) por fuentes y sumideros para los cuatro sectores de emisión establecidos por el IPCC: [1] Energía; [2] Procesos industriales y uso de productos (PIUP); [3] Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra (ASOUT); y [4] Residuos.

Los gases considerados son los seis especificados en el Anexo A del Protocolo de Kioto: dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>), junto con el trifluoruro de nitrógeno (NF<sub>3</sub>), utilizado principalmente en la industria electrónica. Además, se incluyen las emisiones de carbono negro (CN). Esta actualización abarca el período 2010 al 2023 y consta de capítulos estructurados según se detalla en la Tabla 2.

Tabla 2. Contenido de documento

Capítulo	Contenido
	Resumen ejecutivo
	Introducción: antecedentes generales, arreglos institucionales y el proceso de actualización del presente inventario
	Emisiones de GEI 2023 y tendencia histórica: detalle de indicadores y tendencias de las emisiones y absorciones de GYCEI
1 al 4	Información detallada y resultados de los cuatro sectores de emisión desglosados por categoría, subcategoría y fuentes de emisión
5	Emisiones de carbono negro a nivel de fuente de emisión
6 al 8	Anexos, acrónimos y referencias

Fuente: Elaboración propia.

## Descripción del sistema del inventario

### Disposiciones institucionales, jurídicas y de procedimiento

Este segmento tiene como propósito establecer el respaldo legal para la creación y emisión del Inventario Estatal de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero para el Estado de Yucatán. Este instrumento de política pública en relación al cambio climático se vincula estrechamente con la protección de los derechos humanos a la salud y a un entorno ecológico saludable, responsabilidades que representan obligaciones de salvaguardia para las autoridades de los tres niveles de gobierno en el Estado Mexicano. Específicamente, este apartado se centra en detallar el marco normativo del Estado de Yucatán, del cual se deriva la autorización legal para la creación y emisión del Inventario Estatal de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero.

La Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos establece en el artículo 1º que todas las personas gozarán de los derechos humanos reconocidos en ella y en los tratados internacionales de los que el Estado Mexicano sea parte, así como de las garantías para su protección. Además, señala que serán las autoridades en el ámbito de sus competencias, quienes tienen la obligación de promover, respetar, proteger y garantizarlos de conformidad con los principios de universalidad, interdependencia, indivisibilidad y progresividad.

En cuanto a la esfera de lo ambiental, el artículo 4º Constitucional, específicamente los párrafos cuarto y quinto, expresamente señalan que toda persona tiene derecho a la protección de la salud, así como a un medio ambiente sano para su desarrollo y bienestar.

Por su parte, el artículo 25 Constitucional en su párrafo primero, le encarga al Estado Mexicano la rectoría del desarrollo nacional, pero condicionándolo a que este sea integral y sustentable, en congruencia con el derecho humano a un ambiente sano, la protección de la salud y demás derechos relativos.

En el ámbito internacional, la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático es el referente directo (instrumento multilateral aprobado por el Senado Mexicano en fecha 03 de diciembre de 1992 y publicado en el Diario Oficial de la Federación en fecha 07 de mayo de 1993). El objeto de este tratado es lograr la estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropógenas peligrosas en el sistema climático.

Con lo anterior se pretende que los ecosistemas se adapten naturalmente al cambio climático, asegurando que la producción de alimentos no se vea amenazada y permitir que el desarrollo económico prosiga de manera sostenible. Este instrumento señala, en su artículo 4º que todas las Partes, teniendo en cuenta sus responsabilidades comunes pero diferenciadas y el carácter específico de sus prioridades nacionales y regionales de desarrollo, de sus objetivos y de sus circunstancias, deberán elaborar, actualizar periódicamente, publicar y facilitar a la Conferencia de las Partes (Órgano supremo de la Convención), los inventarios nacionales de las emisiones antropógenas por las fuentes y de la absorción por los sumideros de todos los gases de efecto invernadero no controlados por el Protocolo de Montreal, utilizando metodologías comparables, promovidas y aprobadas por esta.

En lo que respecta al Protocolo de Kyoto de la Convención Marco citada (aprobado por el Senado de la República en fecha 29 de abril del 2000 y publicado en el Diario Oficial de la Federación en fecha 24 de noviembre del mismo año) señala en el artículo 10, la importancia

de formular, donde corresponda y en la medida de lo posible, programas nacionales y, en su caso, regionales, para mejorar la calidad de los factores de emisión, datos de actividad y/o modelos locales que sean eficaces en relación con el costo y que reflejen las condiciones socioeconómicas de cada Estado Parte para la realización y la actualización periódica de los inventarios nacionales de las emisiones antropógenas por las fuentes y la absorción por los sumideros de todos los gases de efecto invernadero no controlados por el Protocolo de Montreal, utilizando las metodologías comparables en que convenga la Conferencia de las Partes y de conformidad con las directrices para la preparación de las comunicaciones nacionales adoptadas por la Conferencia de las Partes.

Por su parte, el Acuerdo de París de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (aprobado por el Senado de la República en fecha 14 de septiembre de 2016 y publicado en el Diario Oficial de la Federación en fecha 04 de noviembre de 2016) establece en el artículo 13, numeral 7, que cada Parte deberá proporcionar periódicamente un informe sobre el inventario nacional de las emisiones antropógenas por las fuentes y la absorción antropógena por los sumideros de gases de efecto invernadero, elaborado utilizando las metodologías para las buenas prácticas aceptadas por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático que hayan aprobado la Conferencia de las Partes en calidad de reunión de las Partes.

En el ámbito regional latinoamericano, el Acuerdo Regional sobre el Acceso a la Información, la Participación Pública y el Acceso a la Justicia en Asuntos Ambientales en América Latina y el Caribe (aprobado por la Cámara de Senadores del Honorable Congreso de la Unión, el cinco de noviembre de dos mil veinte y publicado en el Diario Oficial de la Federación en fecha 22 de abril de 2021), conocido como Acuerdo de Escazú, establece en el artículo 6, numerales 1, que cada parte integrante del mismo garantizará, en la medida de los recursos disponibles, que las autoridades competentes generen, recopilen, pongan a disposición del público y difundan la información ambiental relevante para sus funciones de manera sistemática, proactiva, oportuna, regular, accesible y comprensible, y que actualicen periódicamente esta información y alienten la desagregación y descentralización de la información ambiental a nivel subnacional y local, fortaleciendo la coordinación entre las diferentes autoridades del Estado.

En tanto que en el numeral 2 de ese mismo artículo del Acuerdo, señala claramente que las autoridades competentes procurarán, en la medida de lo posible, que la información ambiental sea reutilizable, procesable y esté disponible en formatos accesibles, y que no existan restricciones para su reproducción o uso, de conformidad con la legislación nacional.

Resulta importante mencionar que en materia de parámetros de divulgación y difusión de la información ambiental, el Acuerdo de Escazú, en el numeral 6 del artículo 6 citado, establece que con el objeto de facilitar que las personas o grupos en situación de vulnerabilidad accedan a la información que particularmente les afecte, cada Parte procurará, cuando corresponda, que las autoridades competentes divulguen la información ambiental en los diversos idiomas usados en el país, y elaboren formatos alternativos comprensibles para dichos grupos, por medio de canales de comunicación adecuados.

Ahora bien, en cuanto a la recepción en el derecho interno de dichos instrumentos internacional, resulta necesario hacer referencia a la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (publicada en el Diario Oficial de la Federación el 28 de enero de 1988), cuyo objeto es propiciar el desarrollo sustentable y establecer las bases para, entre otros aspectos, garantizar el derecho de toda persona a vivir en un medio ambiente sano para su

desarrollo, salud y bienestar, definir los principios de la política ambiental y los instrumentos para su aplicación, así como la preservación, la restauración y el mejoramiento del ambiente; que en el artículo 2º fracción II, señala que la formulación y ejecución de acciones de mitigación y adaptación al cambio climático, se considera de utilidad pública.

Por lo anterior, la Ley General de Cambio Climático (publicada en el Diario Oficial de la Federación el 06 de junio de 2012), cuyo objeto, de conformidad con el artículo 2º, fracciones I, II III y IV, persigue varias finalidades, entre otras las de:

- Garantizar el derecho a un medio ambiente sano y establecer la concurrencia de facultades de la federación, las entidades federativas y los municipios en la elaboración y aplicación de políticas públicas para la adaptación al cambio climático y la mitigación de emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero.
- Regular las emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero para que México contribuya a lograr la estabilización de sus concentraciones en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropógenas peligrosas en el sistema climático considerando, en su caso, lo previsto por el artículo 2 de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático y demás disposiciones derivadas de la misma.
- Regular las acciones para la mitigación y adaptación al cambio climático.
- Reducir la vulnerabilidad de la población y los ecosistemas del país frente a los efectos adversos del cambio climático, así como crear y fortalecer las capacidades nacionales de respuesta al fenómeno.

En el artículo 3º, fracción XXV, define al Inventario como el documento que contiene la estimación de las emisiones antropógenas por las fuentes y de la absorción por los sumideros; y cuyos datos de emisiones a nivel nacional o estatal, integrados al Sistema de Información sobre el Cambio Climático, servirán como indicadores clave para atender temas como proyectos de reducción de gases de efecto invernadero, la vulnerabilidad de asentamientos humanos, infraestructura, islas, zonas costeras y deltas de ríos, actividades económicas y afectaciones al medio ambiente, atribuibles al cambio climático, de conformidad con el artículo 77 de la misma.

Ahora bien, situándonos en el análisis del ámbito regulatorio de carácter local, la Constitución Política del Estado de Yucatán (publicada en el Periódico Oficial del Estado No. 69, el 29 de agosto de 2013), establece en el artículo 26 que “Las personas tienen derecho a disfrutar de un medio ambiente adecuado para su desarrollo, así como la obligación de conservarlo”. Así mismo, señala que “Las autoridades estatales y municipales desarrollarán planes y programas para la preservación y mejoramiento de los recursos naturales”.

En esa lógica, la Ley de Cambio Climático del Estado de Yucatán (publicada en el Diario Oficial del Estado de Yucatán en fecha 04 de noviembre de 2021), tiene por objeto, según el artículo 1º, fracciones I, II y IV, garantizar el derecho a un medioambiente sano, mediante la formulación, conducción y evaluación de la política estatal en materia de cambio climático; establecer la concurrencia de atribuciones del estado y sus municipios en cuanto a la elaboración y aplicación de políticas públicas para la adaptación al cambio climático y la mitigación de emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero; y, fomentar y regular las acciones para la mitigación y adaptación al cambio climático.

Para lo anterior, el artículo 61, fracción III, de la legislación en comento, señala que el Inventario Estatal de Emisiones de Compuestos y Gases de Efecto Invernadero, es un instrumento de planeación de la política estatal, misma que en términos del artículo 62 subsecuente establece que esta comprenderá la proyección en mediano y largo plazo, conforme se determine en el Plan Estatal de Desarrollo vigente, así como la proyección de los periodos constitucionales que correspondan a las administraciones estatal y municipal, para los programas correspondientes.

Inclusive, en términos del artículo 66 fracción I de la legislación en comento, señala que el Inventario Estatal deberá estar contenido en el Programa Especial de Cambio Climático, al ser un instrumento de utilidad para el diagnóstico de la situación actual del cambio climático en el Estado.

## **Arreglo institucional**

A lo anterior, la Constitución Política Estatal establece en el artículo 86, párrafo cuarto, fracciones I y III señala que El Estado, por medio de sus Poderes Públicos, garantizará el respeto al derecho humano de toda persona de gozar de un ambiente ecológicamente equilibrado y la protección de los ecosistemas que conforman el patrimonio natural de Yucatán, basado en los siguientes criterios:

- Las personas en el Estado tienen derecho a vivir en un ambiente saludable que les permita una vida digna, y a hacer uso racional de los recursos naturales con que cuenta la Entidad, para alcanzar el desarrollo sostenido, en los términos que señale la Ley de la materia;
- Las personas en el Estado tienen derecho a conocer y tener acceso a la información actualizada acerca del estado del ambiente y de los recursos naturales de la Entidad, así como a participar en las actividades destinadas a su conservación y mejoramiento.

A lo anterior, la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, señala en el artículo 7, fracción XXI, que las acciones de formulación y ejecución de acciones de mitigación y adaptación al cambio climático, son atribuciones que podrán ejercer las entidades federativas, de acuerdo a lo estipulado en su legislación local aplicable.

Por su parte, según el artículo 8, fracciones I y XII de la Ley General de Cambio Climático, corresponde a las entidades federativas, formular, conducir y evaluar la política local en materia de cambio climático en concordancia con la política nacional, así como también, elaborar e integrar la información de las categorías de fuentes emisoras de su jurisdicción para integrar el inventario estatal de emisiones, conforme a los criterios e indicadores elaborados por la federación en la materia.

En ese sentido, la Ley de Cambio Climático del Estado de Yucatán, establece en el artículo 10, fracción XXVII, que corresponde a la Secretaría de Desarrollo Sustentable, integrar el Inventario Estatal de Emisiones de Compuestos y Gases de Efecto Invernadero, conforme a los criterios e indicadores formulados por la federación en la materia, así como elaborar e integrar, en colaboración con el INECC, la información de las categorías de fuentes emisoras de jurisdicción estatal, para su incorporación al Inventario Nacional de Emisiones.

Por su parte, dicha legislación estatal, en el artículo 24, fracciones XIII y XVIII, señala que los municipios tendrán la atribución de Coadyuvar con el Gobierno del Estado en la recopilación de la información que permita la integración y actualización del Inventario Estatal de Emisiones

de Compuestos y Gases de Efecto Invernadero en pro de un mejor cumplimiento del Programa Estatal, así como elaborar e integrar, en colaboración con el Gobierno del Estado, la información de las categorías de fuentes emisoras que se originan en su territorio, para su incorporación al citado inventario, conforme a los criterios e indicadores elaborados por la federación en la materia.

Adicionalmente, la legislación local en materia de cambio climático citada en el párrafo anterior, establece una serie de disposiciones relativas a este instrumento de política pública en materia de cambio climático, a saber, en el artículo 36 que este Inventario deberá ser elaborado por la Secretaría de Desarrollo Sustentable en coordinación con la Comisión Intersecretarial de Cambio Climático; en tanto que en el artículo 37 se señala que este se integrará con la información relativa a las categorías de fuentes emisoras correspondientes a los estados según la fracción XIV del artículo 7 de la Ley General de Cambio Climático.

En cuanto a su elaboración y actualización, la Secretaría de Desarrollo Sustentable deberá observar los criterios e indicadores elaborados por la Federación en la materia, poniendo a disposición de esta los datos, documentos y registros en el marco de los procedimientos adoptados a nivel nacional para la integración y reporte de las comunicaciones nacionales correspondientes, a efecto de integrarlos a los sistemas de medición, reporte y verificación de las diferentes acciones y medidas de mitigación del cambio climático; existiendo además la obligación de actualizarlo en un periodo de cada dos años, incorporando la información del inventario a los sistemas de información en materia ambiental y de cambio climático, en los términos señalados por los artículos 38, 39 y 40 de la Ley de Cambio Climático del Estado Yucatán.

Finalmente, el artículo 45 fracción X del Código de la Administración Pública de Yucatán (publicado en Diario Oficial del Estado de Yucatán en fecha 05 de agosto de 2024) establece como atribución de la Secretaría de Desarrollo Sustentable la de coordinarse con las autoridades municipales y demás competentes en la materia, para formular y presentar acciones para combatir el cambio climático y todo aquello que conlleve al desarrollo sustentable del Estado.

## **Aseguramiento y control de calidad (AC/CC) y verificación del inventario**

El cálculo de emisiones del inventario se desarrolló conforme al sistema de gestión de calidad (SGC) con estándares internacionales, compuesto por seis microprocesos (INECC-SEMARNAT, 2018). El control de calidad (CC) se basó en la revisión cruzada de datos entre los miembros del equipo técnico del Centro Mario Molina, actores clave de cada uno de los sectores estimados, y la Unidad de Desarrollo Sustentable del Estado de Yucatán. Además, las herramientas utilizadas para estimar las emisiones incluyen controles de calidad diseñados para prevenir errores y duplicidades en el registro.

## **Cambios en el sistema del inventario desde el anterior IEEGYCEI**

Esta actualización del IEEGYCEI se ha concebido siguiendo los preceptos y la configuración del sistema de gestión de calidad (SGC) del Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero, México 1990-2019 (INEGYCEI), concebido para ajustarse a

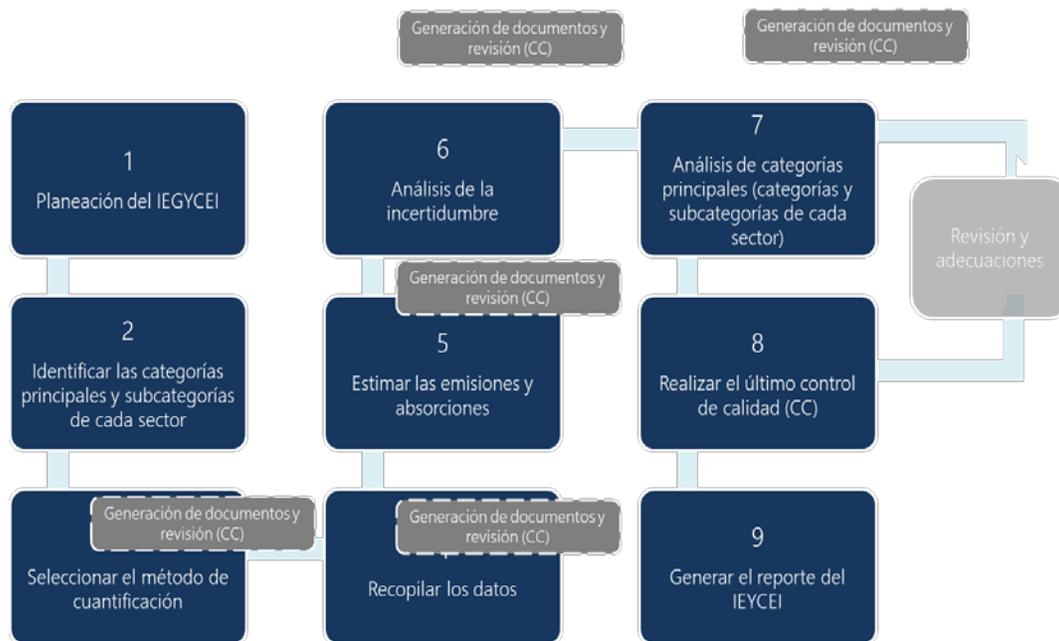
los lineamientos del IPCC. Según el INEGYCEI, el SGC se compone de seis fases fundamentales para su elaboración:

1. Planeación. Conformado por la estructuración de las etapas a través de la revisión de los inventarios anteriores y el aseguramiento de calidad para la incorporación de acciones correctivas y mejoras. Considera la proyección de actividades a realizar en el tiempo determinado para la entrega, la revisión de insumos requeridos y necesidades de información, así como el establecimiento de arreglos institucionales y la asignación de responsabilidades por tema.
2. Recopilación de información. Consiste en el envío de solicitudes de información a las entidades públicas y privadas, así como la evaluación de la información recibida.
3. Estimaciones. Comprende la elaboración de hojas de cálculo.
4. Control de calidad. Comprende las actividades mencionadas en la sección anterior (1.2.3)
5. Autorizaciones. Representa las actividades de revisión y aprobación de actores clave y la Unidad de Desarrollo Sustentable del estado de Yucatán, así como la revisión por parte del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC)
6. Integración del reporte y publicación. Elaboración de informes para el cumplimiento de obligaciones nacionales e internacionales.

## Preparación del IEEGYCEI

El proceso de preparación del inventario se ilustra en la Figura 1 e implicó la realización de reuniones y talleres con actores clave que disponen de la información pertinente para su elaboración.

Figura 1. Diagrama de proceso para la actualización del IEEGYCEI para el Estado de Yucatán.



Fuente: Elaboración propia.

Los principales expertos responsables del desarrollo del IEEGYCEI son los enlistados en la Tabla 3:

Tabla 3. Equipo responsable del IEEGYCEI

Sector	Categoría	Expertos responsables
Coordinadora del IEEGYCEI		Ing. Graciela Hernández
[1] Energía	[1]	Ing. Ángel Pérez
	[1A3] Transporte	Ing. Salvador Montero
[2] PIUP	[2]	Ing. Graciela Hernández
	[2F]	Mtra. Julieta Leo
[3] ASOUT	[3A] Ganadería.	Lic. Nancy Hernández
	[3B] Tierra	
	[3C] Fuentes agregadas y fuentes de emisión no CO <sub>2</sub> de la tierra.	
	[3D] Productos de madera recolectada (PMR)	
[4] Residuos	[4A] Eliminación de residuos sólidos.	Mtra. Julieta Leo
	[4C2] Quema a cielo abierto de residuos sólidos.	Mtra. Julieta Leo
	[4D] Tratamiento y eliminación de aguas residuales.	Ing. Graciela Hernández

Fuente: Elaboración propia.

Los días 6 y 7 de junio de 2024, se realizó el “Taller Sectorial para la Recopilación de Información con Actores Clave para la Elaboración del Inventario de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero para el Estado de Yucatán, 2010-2023”. Este evento congregó a diversos representantes de instituciones gubernamentales, entidades privadas e instituciones de investigación. A raíz de los cuatro talleres realizados, se identificaron nuevas fuentes de información y se realizaron ajustes en las metodologías, lo que contribuyó a mejorar las estimaciones de emisiones en el presente inventario.

En la Tabla 4 se presentan las principales instituciones y fuentes de información y en la Figura 2 se presentan a los actores clave por sector y subsector identificados en el Estado de Yucatán.

Tabla 4 Principales instituciones y fuentes de información

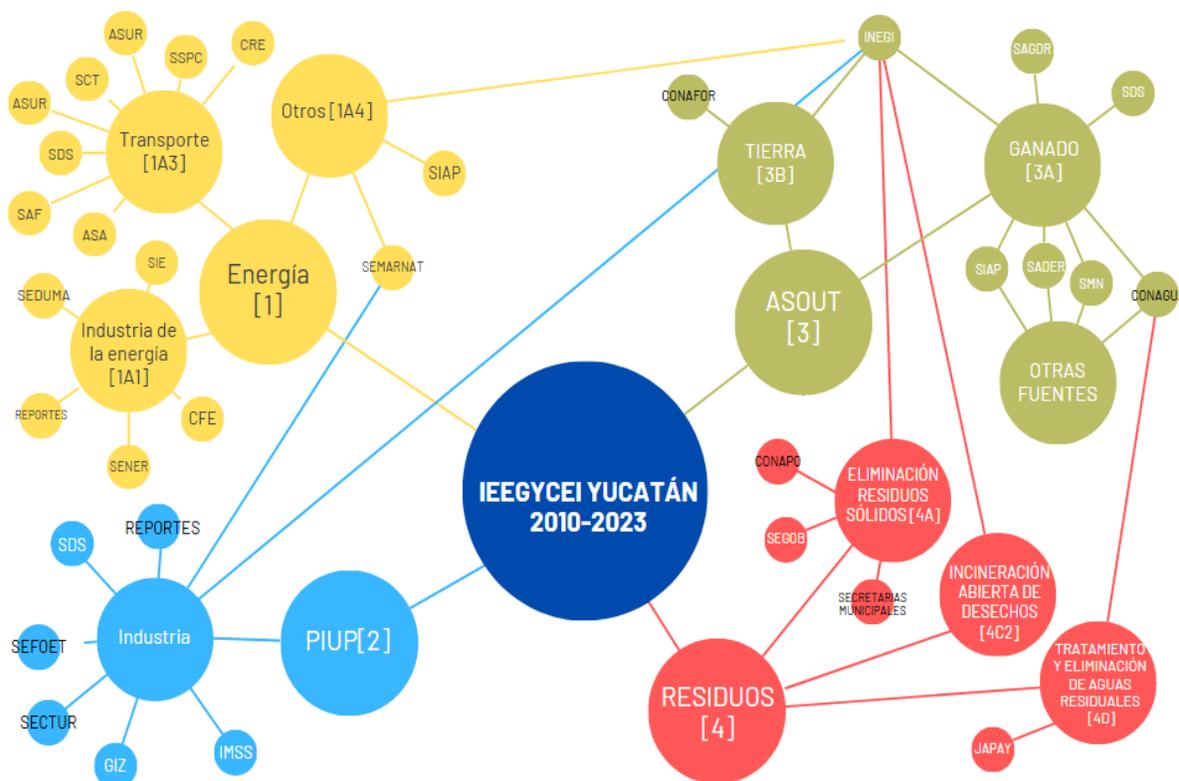
Fuente	Institución responsable	Sector o categoría en la que se emplea
Balance nacional de energía.	Sistema de información energética (SIE) de la Secretaría de Energía (SENER)	[1] Energía.
Consumo de combustibles fósiles para la producción de electricidad.	Comisión Federal de Electricidad (CFE). Sistema de información energética (SIE) de la Secretaría de Energía (SENER).	[1A1a] Generación de energía eléctrica.

	Comisión Reguladora de Energía.	
Consumo combustible aviación.	Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT). Aeropuertos y Servicios Auxiliares (ASA)	[1A3a] Aviación Civil.
Padrón vehicular	Estado de Yucatán	[1A3b] Transporte terrestre
Consumo de combustibles en el transporte terrestre	Comisión Reguladora de Energía (CRE)	[1A3b] Transporte terrestre
Consumo de combustibles en el transporte ferroviario	Sistema de Información Energética (SIE)	[1A3c] Transporte ferroviario
Consumo anual de combustible marítimo, número de embarcaciones, tipo de motor, origen-destino, estaciones de abasto de combustible dentro del puerto.	Capitanía Regional Yucatán	[1A3d] Navegación marítima y fluvial
Cedulas de Operación Anual (COA)	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) Estado de Yucatán	[1A] Energía [1B2] Petróleo y gas [2] PIUP [4D2] Tratamiento y eliminación de aguas residuales industriales
Sistema de información económica.	Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).	[2] PIUP
Encuestas mensuales de la industria manufacturera (EMIM).	INEGI.	[2] PIUP.
<b>Fuente</b>	<b>Institución responsable</b>	<b>Sector o categoría en la que se emplea</b>
Censos económicos 2009, 2014 y 2019	INEGI.	[2] PIUP.
Encuesta Nacional sobre Consumo de energéticos en Viviendas 2018 (ENCEVI)	INGEI	[2F] Uso de productos sustitutos de las sustancias que agotan la capa de ozono (SAO). Comercios
Directorio de Instituciones de salud en México, número de camas hospitalarias	Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS)	[2F] Uso de productos sustitutos de las SAO. Hospitales
Compendio Estadístico 2022 de la Actividad Hotelera	SECTUR	[2F] Uso de Productos sustitutos de las SAO. Hoteles
Consumo anual de energía eléctrica en edificios de la administración pública estatal (kWh)	Secretaría de Fomento Económico y Trabajo de Yucatán (SEFOET)	[2F] Uso de productos sustitutos de las SAO. Oficinas públicas
Encuesta Nacional sobre Consumo de Energéticos en Viviendas Particulares	Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI)	[2F] Uso de productos sustitutos de las SAO Viviendas. (ENCEVI) 2018
Información climatológica.	Servicio Meteorológico Nacional (SMN) de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA).	[3A2] Sistemas de manejo de estiércol de ganado.

		[3C] Fuentes agregadas y fuentes de emisión distintas al CO <sub>2</sub> de la tierra.
Estadísticas anuales de producción agrícola y pecuaria.	Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER).	[3A] Ganado. [3C] Fuentes agregadas y fuentes de emisión distintas al CO <sub>2</sub> de la tierra.
Encuesta Nacional Agropecuaria.	Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).	[3A] Ganado.
Estadísticas Anuales	Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural del Estado de Yucatán (SAGDR)	[3A] Ganado.
Sistema nacional de monitoreo forestal (SAMOF)	Comisión Nacional Forestal (CONAFOR)	[3B] Tierra.
Cartas de uso de suelo y vegetación	INEGI	[3b] Tierra
Agendas técnicas agrícolas.	Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP)	[3C4] Emisiones directas de N <sub>2</sub> O de los suelos gestionados.
Superficies fertilizadas estatales.	INEGI. SIAP.	[3C4] Emisiones directas de N <sub>2</sub> O de los suelos gestionados.
Anuarios Estadísticos Forestales	SEMARNAT	[3D1] Productos de madera recolectada (PMR)
Proyecciones de la población nacional.	Consejo Nacional de Población (CONAPO) de la Secretaría de Gobernación (SEGOB).	[4A] Eliminación de residuos sólidos.
<b>Fuente</b>	<b>Institución responsable</b>	<b>Sector o categoría en la que se emplea</b>
Volúmenes de residuos sólidos urbanos y de manejo especial confinados Composición de residuos sólidos urbanos	Secretarías Municipales de Recursos Naturales y Medio Ambiente de Yucatán	[4A] Eliminación de residuos sólidos.
Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Demarcaciones Territoriales de la Ciudad de México 2011, 2013, 2015, 2017, 2019 y 2021	Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI)	[4A] Eliminación de residuos sólidos.
Censo de población y Vivienda 2010, 2020	Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI)	[4C2] Quema abierta de residuos
Información sobre plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR).	CONAGUA. CAED	[4D] Tratamiento y eliminación de aguas residuales domésticas

Fuente: Elaboración propia

Figura 2. Mapa de actores clave para la recopilación de información en el Estado de Yucatán



Fuente: Elaboración propia

## Visión general de las metodologías y fuentes de datos utilizadas

En la actualización del presente Inventario Estatal de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero (IEEGYCEI), se ha velado por asegurar la adhesión a los principios de calidad establecidos por el IPCC, tales como la coherencia, exhaustividad, comparabilidad, exactitud y transparencia. Esto se logró a través de estimaciones que siguen las pautas establecidas en las Directrices de 2006 y su posterior Refinamiento en 2019 para la medición de emisiones y absorciones de gases de efecto invernadero.

Al considerar los árboles de decisión presentes en las Directrices de 2006, se determinó el nivel de detalle más adecuado para las circunstancias estatales a fin de calcular las emisiones. Este proceso comprendió la especificación matemática de los métodos, las fuentes de actividad y la utilización de información precisa sobre los factores de emisión y otros parámetros necesarios para realizar las estimaciones. Se hicieron uso de datos de actividad estatales y factores de emisión apropiados a las condiciones del país y/o del Estado, junto con los Potenciales de Calentamiento Global a cien años del Quinto Informe de Evaluación (AR5) del

IPCC de 2014, con el objetivo de determinar el total de emisiones en Gigagramos de dióxido de carbono equivalente (GgCO<sub>2</sub>e).

Las metodologías y factores de emisión empleados y detallados en esta actualización del IEEGYCEI son considerados, hasta la fecha, como los más adecuados basados en los datos de actividad disponibles.

El presente IEEGYCEI abarca el Estado de Yucatán y calcula las emisiones y absorciones de los seis gases contemplados en el Protocolo de Kioto (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, HFC, PFC y SF<sub>6</sub>), además del NF<sub>3</sub> y las emisiones de carbono negro (CN). Para mantener la coherencia en la serie temporal, se presentan los datos correspondientes al período 2010-2023 en todos los sectores. Las mejoras implementadas en las metodologías y los datos de actividad en esta actualización se han llevado a cabo siguiendo los procedimientos de aseguramiento de calidad, control de calidad y verificación. Estas mejoras tienen como objetivo principal aumentar la coherencia, exhaustividad, comparabilidad, precisión y transparencia en las estimaciones de las emisiones y absorciones a nivel nacional.

## Breve descripción de las categorías clave

La identificación de las categorías clave permiten jerarquizar aquellas que sean prioritarias en el sistema de inventarios y cuya estimación influye significativamente sobre el inventario total de gases de efecto invernadero, en cuanto al nivel absoluto, la tendencia o la incertidumbre de emisiones y absorciones de GEI. Además, permite priorizar los recursos disponibles al concentrar los esfuerzos para mejorar las estimaciones en la elaboración de los inventarios.

El análisis de categorías clave es la identificación de las fuentes principales de emisión/absorción, y que por lo tanto influyen significativamente en el inventario total de gases de efecto invernadero, en cuanto al nivel absoluto, la tendencia o la incertidumbre de emisiones y absorciones de GEI (Tabla 5). Un total de 23 fuentes aportan el 95.26% de las emisiones estatales de GEI en Yucatán. En el Anexo I se presenta el total de las fuentes de emisión ordenadas por su contribución porcentual a las emisiones de GEI del Estado de Yucatán en 2023.

Tabla 5. Categorías clave en el Estado de Yucatán

Código	Categoría	Gas	Emisiones /absorciones	Evaluación del nivel	Total acumulativo de la evaluación del nivel
3B1a	Tierras forestales que permanecen como tal	CO2	-14,566.58	50.96%	50.96%
1A1ai	Industrias de la energía. Generación eléctrica (Combustión de gas natural)	CO2	2,719.59	9.51%	60.48%
1A3b	Transporte terrestre (Gasolina)	CO2	2,030.79	7.10%	67.58%
3B3a	Praderas que permanecen como tal	CO2	1,445.46	5.06%	72.64%
3B1b	Tierras convertidas a tierras forestales	CO2	-1,046.86	3.66%	76.30%
3A1	Fermentación Entérica	CH4	941.07	3.29%	79.59%
3B3b	Tierras convertidas en praderas	CO2	696.85	2.44%	82.03%

1A3b	Transporte terrestre (Diesel automotriz)	CO2	598.08	2.09%	84.13%
3B2b	Tierras convertidas a tierras de cultivo	CO2	354.99	1.24%	85.37%
1A2e	Procesamiento de alimentos, bebidas y tabaco (Combustión de gas natural)	CO2	333.74	1.17%	86.54%
2A1	Producción de cemento	CO2	318.04	1.11%	87.65%
2F1aii	Refrigeración y aire acondicionado estacionario, comercios	HFC	291.61	1.02%	88.67%
4D2	Tratamiento y eliminación de aguas residuales industriales	CH4	289.22	1.01%	89.68%
3C4	Emisiones directas de N2O de suelos gestionados	N2O	265.11	0.93%	90.61%
4A1	Sitios de eliminación de desechos gestionados	CH4	224.35	0.78%	91.39%
1A2f	Minerales no metálicos (coque de petróleo)	CO2	198.41	0.69%	92.09%
1A3a	Aviación civil (Turbosina)	CO2	172.40	0.60%	92.69%
1A1ai	Industrias de la energía. Generación eléctrica (Combustión de diésel)	CO2	152.99	0.54%	93.22%
4D1	Tratamiento y eliminación de aguas residuales domésticas	CH4	132.50	0.46%	93.69%
1A4b	Residencial (combustión de gas LP)	CO2	115.17	0.40%	94.09%
1A3b	Transporte terrestre (Gasolina)	N2O	114.28	0.40%	94.49%
1A4a	Comercial/Institucional (combustión de gas LP)	CO2	111.46	0.39%	94.88%
1A3d	Navegación marítima y fluvial (diesel nacional)	CO2	107.91	0.38%	95.26%

Fuente: Elaboración propia

## Evaluación general de la incertidumbre

La estimación de la incertidumbre se llevó a cabo siguiendo las Directrices de 2006 y su Refinamiento 2019 mediante el "Método 1: Propagación del error", clasificando por categorías, tendencias y gases de efecto invernadero, desde el año base (2010) hasta el año de interés (2023). Las incertidumbres vinculadas a los datos de actividad y factores de emisión fueron obtenidas directamente de fuentes de información nacionales. En ausencia de esta información, se recurrió a los rangos de incertidumbre predeterminados establecidos en las Directrices de 2006 y su Refinamiento 2019.

La incertidumbre total del IEEGYCEI, sin considerar absorciones fue de  $\pm 5.78\%$ , correspondiente a un rango de variabilidad entre 9,822.88 y 11,028.16 GgCO<sub>2</sub>e, para la emisiones netas la incertidumbre fue de  $\pm 193.76\%$ , lo que corresponde a un rango entre -7,889.99 y -2,518.18 GgCO<sub>2</sub>e.

El sector energía presentó una incertidumbre de  $\pm 4.03\%$ . (7,118.16-7,715.52 GgCO<sub>2</sub>e) las fuentes que más contribuyen a esta varianza es [1B2a] quema de Gas LP con  $\pm 119.96\%$  (-1.16E-04 a

1.28E-03) GgCO<sub>2</sub>e) y [1B2b] Distribución y uso de gas natural con ±52.49% (42.74 a 137.15 GgCO<sub>2</sub>e).

En el sector PIUP, la incertidumbre fue de ±35.73% (438.66 a 926.47 GgCO<sub>2</sub>e), la fuente principal de emisiones que contribuye a tal varianza es [2F1aiv] Refrigeración y aire acondicionado estacionario del sector hospitales ±98.85% (0.01 a 1.87 GgCO<sub>2</sub>e)

En ASOUT la incertidumbre (sin absorciones) se estimó en ±27.92% (1,112.56 a 1,974.26 GgCO<sub>2</sub>e), para la categoría ganadería se estimó en ±39.56% (621.37 a 1,434.66 GgCO<sub>2</sub>e), en Tierra en ±39.49% (-7,921.53 a -18,259.65 GgCO<sub>2</sub>e) y fuentes agregadas y fuente de emisión distintas al CO<sub>2</sub>[3C] en ±27.63% (373.01 a 657.77 GgCO<sub>2</sub>e) y [3D1] PMR con ±53.66% (-4,161.94-(-1,646.60) GgCO<sub>2</sub>e) donde las fuentes que más contribuyeron fueron [3B3] Praderas con ±53.66% (-9.66 a -32.02 GgCO<sub>2</sub>e).

Por último el sector residuos presentó una incertidumbre de ±21.74% (612.55 a 952.87 GgCO<sub>2</sub>e) donde la fuente sitios gestionados para la eliminación de residuos presenta una incertidumbre de ±74.50% (57.21 a 391.49 GgCO<sub>2</sub>e), Incineración a cielo abierto de residuos se estimó en 82.19% (3.38 a 34.59) y la categoría Tratamiento y eliminación de aguas residuales presento una incertidumbre de 0.99% (484.83 a 494.57 GgCO<sub>2</sub>e). En el Anexo II, se presentan las incertidumbres para tipo de categoría, subcategoría y fuente.

## Evaluación general de la exhaustividad

La exhaustividad en un inventario significa que se han estimado los GEI para todas las categorías y fuentes. El IEEGYCEI abarca el territorio del Estado de Yucatán e incluye la estimación de las emisiones y absorciones de: CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, HFC, PFC, SF<sub>6</sub>, NF<sub>3</sub> y carbono negro. En todos los sectores se reportan los datos del periodo 2010-2020, con excepción de [3B], que se reporta para el periodo de 2000-2023.

Algunas de las categorías han sido excluidas debido a la falta de datos de actividad o por falta de metodologías apropiadas, las cuales se han reportado utilizando claves de notación recomendadas por las Directrices 2006: "NO" (no ocurre); "NE" (no estimada); "NA" (no aplica); "IE" (incluidas en otra parte) y "C" (confidencial). En la

Tabla 6, se enlistan las categorías y subcategorías que se han excluido y su estatus.

Tabla 6 Categorías excluidas o incluidas en otra parte del IEEGYCE de Yucatán

Clave	Categoría	Justificación
NE	[1B1] Combustibles sólidos	No se cuenta con la información suficiente.
NE	[1B3] Otras emisiones provenientes de la producción de energía	
NE	[2D2] Uso de la cera parafina	
NE	[2D3] Uso de solventes	
NE	[2F2] Agentes espumantes	
NE	[2F3] Productos contra incendios	
NE	[2G2] SF <sub>6</sub> y PFC de otros usos de productos.	
NE	[2G3] N <sub>2</sub> O de usos de productos.	
NE	[2H2] Industria de la alimentación y las bebidas	
NE	[3B4a] Humedales que permanecen como tales.	
NE	[4C1] Incineración de desechos	

NO	[1A1b] Refinación de petróleo	No ocurre la actividad en el Estado
NO	[1C] Transporte y almacenamiento de CO <sub>2</sub> .	
NO	[1C2a] Inyección de CO <sub>2</sub>	
NO	[1C2b] Almacenamiento de CO <sub>2</sub> .	
NO	[2A3] Producción de vidrio	
NO	[2A5] Otros.	
NO	[2B] Industria química	
NO	[2C2] Producción de ferroaleaciones	
NO	[2C3] Producción de aluminio	
NO	[2C4] Producción de magnesio	
NO	[2C5] Producción de plomo	
NO	[2C6] Producción de zinc	
NO	[2C7] Otros	
NO	[2D4] Otros	
NO	[2E] Industria electrónica	
NO	[2F4] Aerosoles	
NO	[2F5] Solventes	
NO	[2F6] Otras aplicaciones	
NO	[2G1] Equipos eléctricos	
NO	[2H] Otros	
NO	[3C2] Encalado	
NO	[3C7] Cultivo de arroz	
NO	[3C8] Otros	
NO	[3D2] Otros	
NO	[4B] ]Tratamiento biológico de los desechos sólidos	
NO	[4E] Otros	

NE: No Estimada. NO: No Ocurre.

Fuente: Elaboración propia

## Emisiones de GEI 2023 y tendencia histórica

A continuación, se ofrece una síntesis de los aspectos más relevantes de las tendencias observadas en la estimación de las emisiones y absorciones del IEEGYCEI en la serie temporal analizada 2010-2023.

### Principales indicadores socioeconómicos

En la Tabla 7, se muestra la evolución del producto interno bruto (PIB) y la población de Yucatán en el periodo inventariado (2010-2023).

Tabla 7. Principales indicadores económicos

Año	PIB a precios constantes de 2013 (miles de millones de pesos), Yucatán	Incremento PIB respecto a 2010 (%)	Población en el Estado de Yucatán	Incremento de población respecto a 2010 (%)
2010	283,033.05	NA	1,955,577	NA
2011	289,260.51	2.20%	1,983,897	1.45%
2012	299,649.18	3.59%	2,012,216	1.43%
2013	302,445.46	0.93%	2,040,536	1.41%
2014	312,685.72	3.38%	2,068,855	1.39%
2015	322,098.08	3.01%	2,097,175	1.37%
2016	336,107.72	4.35%	2,141,920	2.13%
2017	349,598.98	4.01%	2,186,664	2.09%
2018	364,797.90	4.35%	2,231,409	2.05%
2019	366,192.73	0.38%	2,276,153	2.01%
2020	333,210.62	-9.01%	2,320,898	1.97%
2021	358,348.48	7.54%	2,337,588	0.72%
2022	369,864.39	3.21%	2,354,277	0.71%
2023	378,185.798	2.25%	2,370,967	0.71%

Fuente: <https://www.inegi.org.mx/>

Se puede apreciar que la tendencia histórica del Producto Interno Bruto (PIB) y la población en el Estado de Yucatán ha experimentado un crecimiento constante entre 2010 y 2023. En 2023, el PIB aumentó en un 2.25% con respecto al año 2010. Asimismo, la población en ese mismo lapso aumentó en un 1.49%.

Según estimaciones realizadas en otros inventarios, se ha establecido una correlación entre el comportamiento de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y el crecimiento económico y poblacional. Durante el año 2023, la tendencia histórica del Producto Interno Bruto (PIB) estatal reflejó un aumento del 2.25% en comparación con el año anterior, siendo 2020 el único año que presentó una disminución del -9.01% con respecto al 2019, atribuible a las restricciones impuestas durante la pandemia de COVID-19. Por otro lado, la población estatal continúa aumentando de manera constante hasta el año 2023.

## **Descripción e interpretación de las tendencias agregadas de las emisiones**

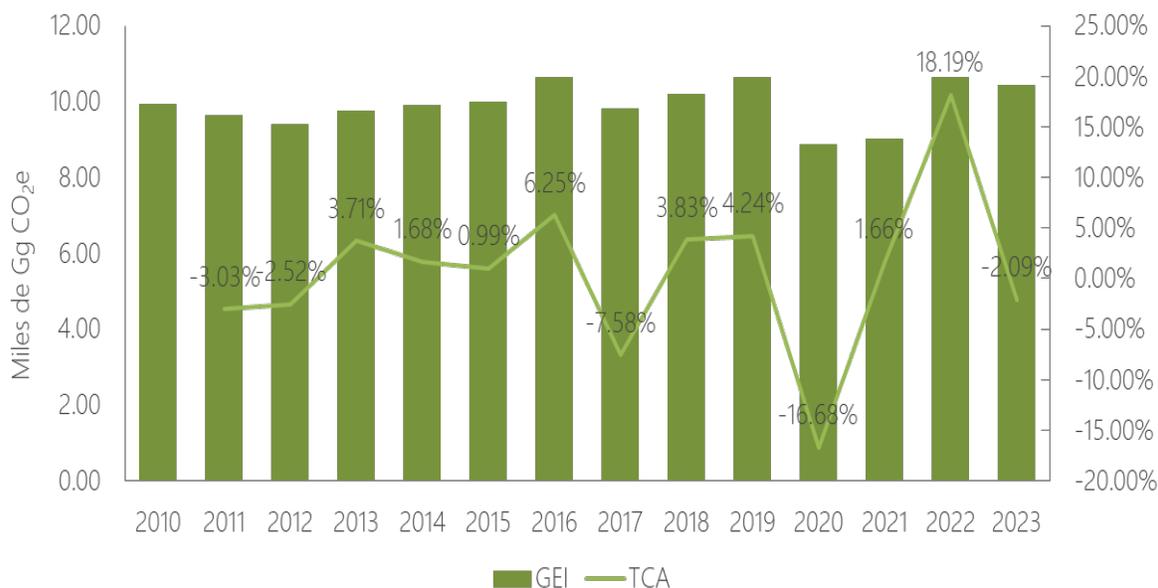
Las emisiones (excluyendo absorciones) entre 2010 (9,940.75 GgCO<sub>2e</sub>) y 2023 (10,425.52 GgCO<sub>2e</sub>) reflejaron un aumento constante, con una tasa de crecimiento promedio anual (TCMA) del 0.37%, como se ilustra en la Figura 3, existe un aumento sostenido a excepción del 2020 y 2021, atribuible a los efectos de la pandemia COVID-19.

El comportamiento de las emisiones en la serie histórica está relacionado principalmente con el crecimiento de la economía estatal y de su población. La tendencia histórica del PIB estatal presentó un aumento en 2023 del 2.25% con respecto a su año anterior, esto se ve reflejado en un aumento en las emisiones de PIUP, ASOUT y Residuos, además de presentar un crecimiento constante en su población, en 2023 se presenta un crecimiento del 0.71%. Este incremento económico se ve reflejado en un incremento en los sectores analizados a excepción de las emisiones por la generación de electricidad, con una disminución del 2.43% con respecto al año 2010.

El comportamiento del sector energía está relacionado directamente con el comportamiento en el consumo de combustibles fósiles en las diferentes áreas productivas del Estado. De igual forma, el comportamiento de las emisiones por el sector residuos depende principalmente del crecimiento poblacional y las actividades industriales en el Estado. Las absorciones en la captura de carbono por UTCUTS, dependen del comportamiento de la permanencia del uso de suelo cada año.

Por otro lado, en relación a las absorciones, se observa que la categoría [3B] tierra aumentó su capacidad de absorción en 0.48% durante el período mencionado. Este aumento se atribuye principalmente a Tierras forestales que permanecen como tal y las tierras convertidas en tierras forestales, generando una absorción de -15,613.44 GgCO<sub>2e</sub>. Para la categoría [3D1], productos de madera recolectada (PMR), se estimó una absorción de -20.84 GgCO<sub>2e</sub>.

Figura 3. Tendencia de las emisiones de GEI 2010-2023



Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 8 se presentan las tendencias de las emisiones y absorciones de GEI en el Estado de Yucatán para el año 2010 y 2023.

Tabla 8. Tendencia de las emisiones y absorciones de GEI (GgCO<sub>2</sub>e), Yucatán, 2010-2023

Total de emisiones/absorciones			
Código/Sector/categoría/subcategoría/fuente (GEI en Gg equivalentes de CO <sub>2</sub> )	2010	2023	TMCA
Emisiones totales (sin 3B + 3D)	9,940.75	10,425.52	0.37%
Emisiones netas	-2,284.77	-2,685.91	1.25%
<b>1 ENERGÍA</b>	<b>7,566.13</b>	<b>7,416.84</b>	<b>-0.15%</b>
1A Actividades de quema de combustibles	7,464.52	7,326.89	-0.14%
1A1 Industria de la energía	4,105.97	2,983.80	-2.43%
1A2 Industria manufactureras y de la construcción	607.10	862.01	2.73%
1A3 Transporte	2,434.04	3,119.30	1.93%
1A4 Otros Sectores	317.15	361.53	1.01%
1A5 No especificado	0.25	0.27	0.41%
1B Emisiones fugitivas provenientes de la fabricación de combustibles	101.60	89.95	-0.93%
1B2 Petróleo y gas natural	101.60	89.95	-0.93%
<b>2 PROCESOS INDUSTRIALES Y USO DE PRODUCTOS</b>	<b>568.48</b>	<b>682.56</b>	<b>1.42%</b>
2A Industria de los minerales	372.73	325.41	-1.04%
2A1 Producción de cemento	357.84	318.04	-0.90%
2A2 Producción de cal	14.89	7.37	-5.26%
2C Industria de los metales	3.32	3.32	0.00%

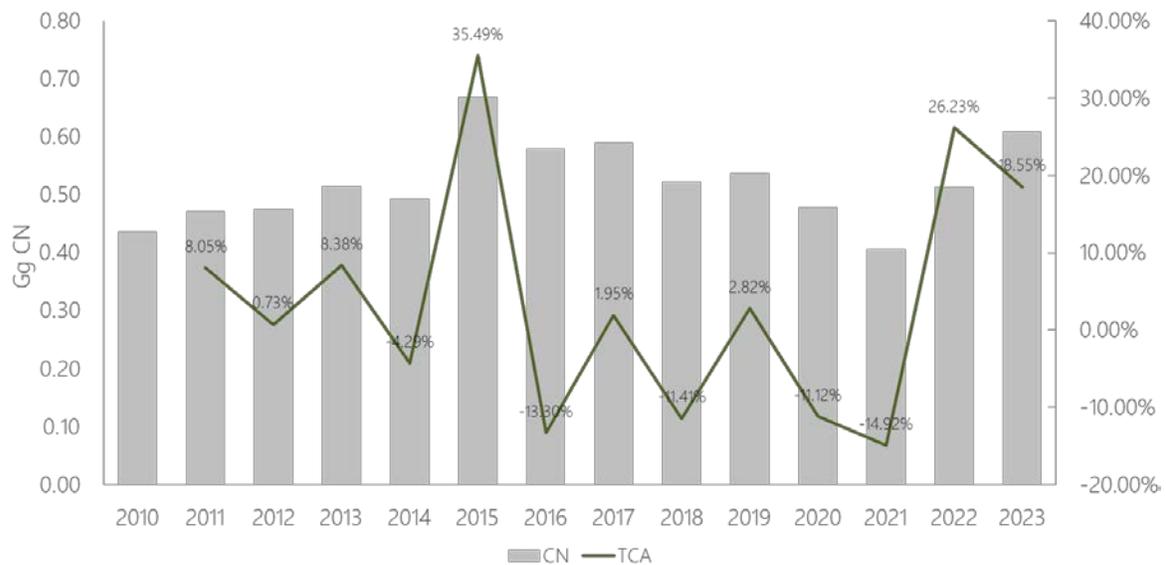
Total de emisiones/absorciones			
Código/Sector/categoría/subcategoría/fuente (GEI en Gg equivalentes de CO2)	2010	2023	TMCA
Emisiones totales (sin 3B + 3D)	9,940.75	10,425.52	0.37%
Emisiones netas	-2,284.77	-2,685.91	1.25%
2C1 Producción de hierro y acero	3.32	3.32	0.00%
2D Usos de productos no energéticos de combustibles y de solventes	21.25	19.66	-0.60%
2D1 Uso de lubricante	21.25	19.66	-0.60%
2F Usos de productos como sustitutos para las sustancias que agotan la capa de ozono	171.18	334.18	5.28%
2F1 Refrigeración y aire acondicionado	171.18	334.18	5.28%
3 AGRICULTURA, SILVICULTURA Y OTROS USOS DE LA TIERRA (AFOLU)	-	-	-
sin 3B + 3D	10,875.75	11,568.02	0.48%
3A Ganado	1,349.77	1,543.41	1.04%
3A1 Fermentación entérica	950.14	1,028.02	0.61%
3A2 Gestión de estiércol	892.66	941.07	0.41%
3B Tierra	57.48	86.95	3.24%
	-12,231.19	-	-
3B1 Tierras forestales	-	13,090.59	0.52%
3B2 Tierras de cultivo	15,045.54	-	-
3B3 Pastizales	406.17	15,613.44	0.29%
3B4 Humedales	406.17	354.99	-1.03%
3B5 Asentamientos	2,404.09	2,142.32	-0.88%
3B6 Otras tierras	0.00	0.00	
3C Fuentes agregadas y fuentes de emisión no CO2 en la tierra	0.00	0.00	
3C1 Quemado de biomasa	399.64	515.39	1.98%
3C3 Aplicación de urea	20.55	4.16	-11.57%
3C4 Emisiones directas de N2O de los suelos gestionados	74.64	74.32	-0.03%
3C5 Emisiones indirectas de N2O de los suelos gestionados	188.63	265.11	2.65%
3C6 Emisiones indirectas de N2O resultantes de la gestión de estiércol	66.96	97.32	2.92%
3D Otros	48.85	74.49	3.30%
3D1 Productos de madera recolectada	5.67	-20.84	-210.53%
4 RESIDUOS	5.67	-20.84	-210.53%
4A Eliminación de desechos sólidos	456.36	782.71	4.24%
4A1 Sitios de eliminación de desechos gestionados	176.33	274.03	3.45%
4A2 Sitios de eliminación de desechos no gestionados	157.11	224.35	2.77%
4A3 Sitios de eliminación de desechos no categorizados	1.91	6.28	9.60%
4B Tratamiento biológicos de los desechos sólidos	17.31	43.39	7.32%
4C Incineración e incineración abierta de desechos			
4C1 Incineración de desechos	55.93	18.98	-7.97%
4C2 Incineración abierta de desechos	55.93	18.98	-7.97%
4D Tratamiento y eliminación de aguas residuales	224.11	489.70	6.20%

Total de emisiones/absorciones			
Código/Sector/categoría/subcategoría/fuente (GEI en Gg equivalentes de CO2)	2010	2023	TMCA
Emisiones totales (sin 3B + 3D)	9,940.75	10,425.52	0.37%
Emisiones netas	-2,284.77	-2,685.91	1.25%
4D1 Tratamiento y eliminación de aguas residuales domésticas	102.07	317.98	9.13%
4D2 Tratamiento y eliminación de aguas residuales industriales	122.04	171.72	2.66%
Elementos recordatorios (5)	26.65	15.23	-4.21%
Tanques de combustible internacional	26.65	15.23	-4.21%
Aviación internacional (tanques de combustible internacional)	26.65	15.23	-4.21%
<i>Aviación civil, turbosina internacional</i>	26.64	15.20	-4.22%
<i>Aviación civil, gasaviación internacional</i>	0.01	0.03	9.57%
Elementos Informativos (1)	1,234.68	1,178.17	-0.36%
CO2 de la combustión de biogás en alimentos , bebidas y tabaco [1A2e]	1.08	13.02	21.13%
CO2 de la combustión de leña en Sector residencial [1A4b]	1,101.21	1,139.17	0.26%
CO2 de la combustión de biomasa (3C1)	132.39	25.99	-11.77%

Fuente: Elaboración propia.

En relación al comportamiento tendencial de las emisiones de carbono negro entre 2010 y 2023, la Figura 4 muestra una TMCA de 2.59% pasando de 0.44 GgCN en 2010 a 0.61 GgCN en 2023. Este aumento se atribuye principalmente a las emisiones generadas por la combustión de diesel (74.93%) y las de gasolina (14.91%) en el transporte terrestre.

Figura 4. Tendencia de las emisiones de carbono negro (CN) en Yucatán, 2010 al 2023.



Fuente: Elaboración propia.

## Descripción e interpretación de las emisiones por sectores

El IPCC considera los siguientes sectores para los cuales se contabilizan las emisiones y las absorciones de GEI:

1. Sector Energía: abarca la combustión de combustibles fósiles como gasolina, diesel, gas licuado de petróleo (GLP), gas natural, combustóleo, petróleo, así como biomasa como madera, residuos agrícolas y desechos. Estos elementos se utilizan en la generación de energía eléctrica y/o calor en plantas termoeléctricas, hornos, calderas, estufas, transporte, entre otros procesos industriales.
2. Sector de Procesos Industriales y Uso de Productos (PIUP): abarca las emisiones de CYGEI generadas por los procesos industriales, ya sea a través del uso directo de GEI en la producción o por la utilización no energética del carbono presente en los combustibles fósiles. Las fuentes principales de emisiones provienen de los procesos industriales que transforman materias primas mediante métodos físicos o químicos.
3. Sector Agricultura, Silvicultura y Otros Usos de la Tierra (ASOUT): abarca las emisiones de gases de efecto invernadero derivadas de actividades pecuarias, como la fermentación entérica del ganado y el manejo de estiércol, así como las emisiones generadas por actividades agrícolas, que incluyen el manejo del suelo, el cultivo de arroz y la quema de residuos de cosechas en campo. En el subsector de Uso de Suelo, Cambio de Uso de Suelo y Silvicultura (USCUSS) se registran tanto las emisiones como las absorciones relacionadas con los cambios y la permanencia en el uso del suelo.
4. Sector Residuos: abarca las emisiones generadas por la gestión de residuos sólidos urbanos (RSU), el tratamiento biológico de residuos sólidos, la incineración y quema a cielo abierto de residuos, así como el tratamiento y eliminación de aguas residuales tanto domésticas como industriales.

En 2023, las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en el Estado de Yucatán se estimaron en 10,425.52 GgCO<sub>2</sub>e (sin considerar absorciones). Tras considerar una absorción de -15,634.28 GgCO<sub>2</sub>e, las emisiones netas se calculan en -2,685.91 CO<sub>2</sub>e. Este balance indica una absorción neta de emisiones de GEI, dado que la cantidad absorbida supera a la cantidad emitida.

El sector que mayor aportación presenta al IEEGYCEI (sin considerar absorciones) es el de Energía [1], con un 71.14%. Le siguen el sector ASOUT [2], con un 14.80%; el sector Residuos [4], con un 7.51%; y el sector PIUP [2], con 6.55%.

Al analizar los subsectores (sin considerar absorciones), se observa que las mayores contribuciones a las emisiones de GEI en 2023 provienen de la quema de combustibles en la industria de la energía [1A1], que representa el 28.62%; seguida por la quema de combustibles en el sector del transporte terrestre, con un 26.51%; la fermentación entérica [3A1], con un 9.03%; la quema de combustible en la manufactura y la construcción [1A2], con un 8.27%; la quema de combustible en otros sectores [1A4], con un 3.47%; el uso de refrigeración y aire acondicionado [2F1], con un 3.21%; la producción de cemento [2A1], con un 3.05%; las emisiones por el tratamiento y eliminación de aguas residuales domésticas [4D1], con un 3.01%; las emisiones directas de N<sub>2</sub>O de suelos gestionados [3C4], con un 2.54%; y los sitios de eliminación de desechos gestionados [4A1], con un 2.15%; así como el tratamiento y eliminación de aguas residuales industriales [4D2], con un 1.65%. En conjunto, estos diez

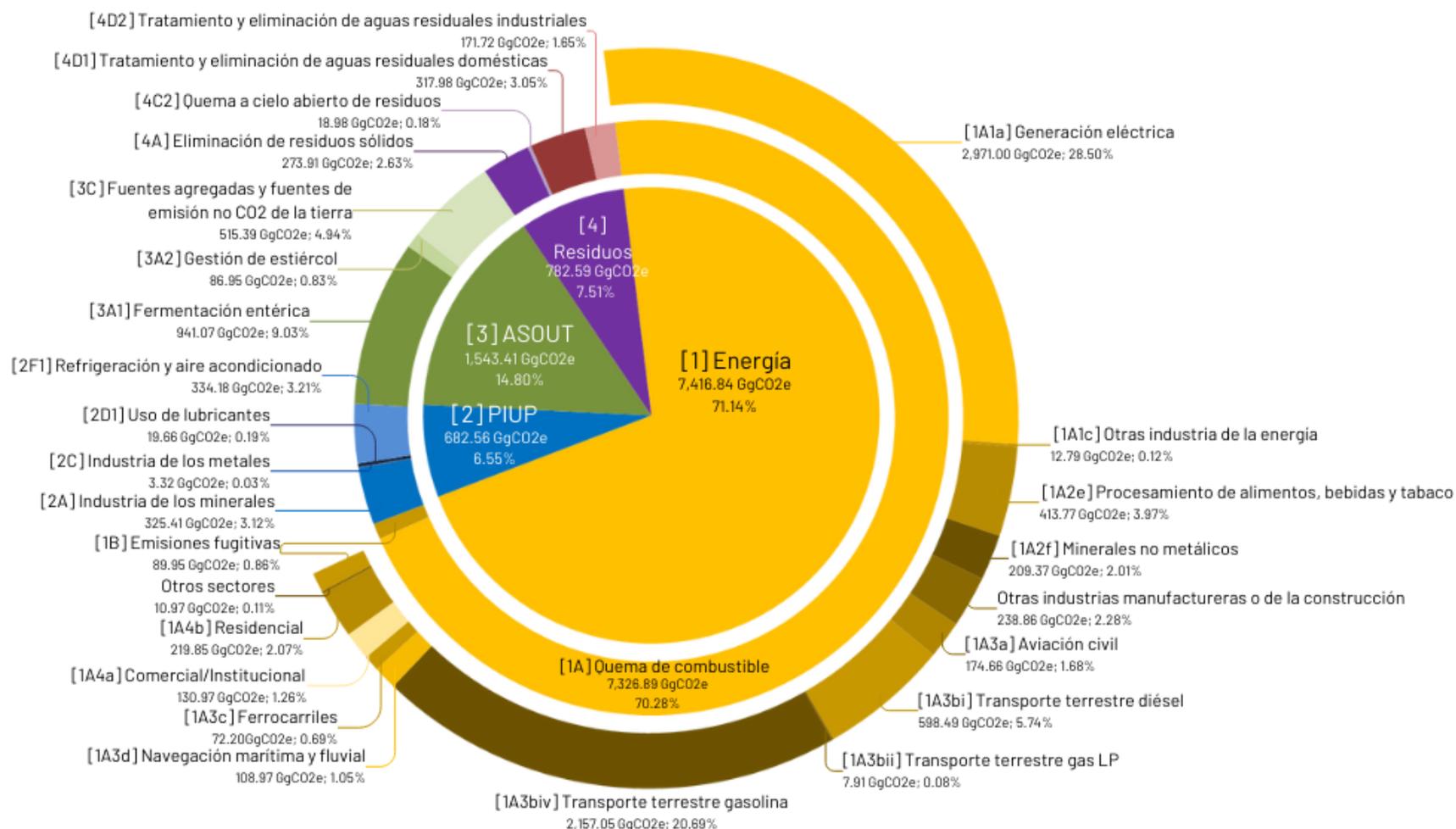
subsectores representan el 88.50% de las emisiones totales del Estado de Yucatán en el año 2023.

El comportamiento del sector de Agricultura, Silvicultura y Otros Usos de la Tierra (ASOUT) está intrínsecamente vinculado al crecimiento demográfico y a las actividades agrícolas en el Estado. De manera similar, el desempeño del sector de transporte terrestre y la generación de electricidad se relaciona directamente con el consumo de combustibles fósiles y el aumento de la población.

Se registran variaciones en la captura de carbono en el subsector [3B] correspondiente a "Uso de la Tierra, Cambio de Uso de la Tierra y Silvicultura (UTCUTS)", el cual se ve afectado por los cambios en el uso del suelo que ocurren anualmente. Se ha observado un incremento en la capacidad de absorción en el Estado de Yucatán, principalmente atribuible a las tierras forestales.

En la Figura 5, se presentan las emisiones de gases de efecto invernadero por sector, de acuerdo con la clasificación del IPCC: Energía [1], Procesos Industriales y Uso de Productos (PIUP)[2], Agricultura, Silvicultura y Otros Usos de la Tierra (ASOUT)[3], y Residuos [4], junto con sus respectivos subsectores para el año 2023. Por otro lado, en la Tabla 9, se detallan las emisiones y absorciones en el Estado por nivel para el año 2023.

Figura 5. Emisiones de GEI del Estado de Yucatán, 2023



Notas: La gráfica presenta las emisiones de GEI cuantificadas sin las absorciones de las categorías [3B] Tierra y [3D] Otros a nivel sector (círculo interno), y a nivel categoría o subcategoría (anillos exteriores). Cada nivel suma la totalidad de las emisiones estimadas y su porcentaje de contribución al total estatal y la tonalidad de color identifica las emisiones de cada categoría con el sector al que pertenecen. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 9 Emisiones y absorciones de GEI en el Estado de Yucatán, por nivel, 2023

Código IPCC	Nivel	Emisiones netas	Emisiones totales	Emisiones sin [3B] Tierra y [3D] PMR	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	HFC	HCFC	Participación porcentual REDONDEO	Nivel de Precisión	Incertidumbre	Absorciones 2023						
														Gg de CO <sub>2</sub> e					
														TOTAL DE EMISIONES / ABSORCIONES	-2,685.91	12,948.37	10,425.52	-5,602.78	1,875.67
<b>1</b>	<b>Energía</b>	<b>7,416.84</b>	<b>7,416.84</b>	<b>7,416.84</b>	<b>7,080.515</b>	<b>198.128</b>	<b>138.195</b>	<b>0.000</b>	<b>0.000</b>	<b>71.14%</b>	<b>1 y 3</b>	<b>4.03</b>							
1A	Actividades de quema del combustible	7,326.89	7,326.89	7,326.89	7,080.43	108.26	138.19	0.00	0.00	70.28%	1 y 2	4.03							
1A1	Industrias de la energía	2,983.80	2,983.80	2,983.80	2,980.42	1.60	1.78	0.00	0.00	28.62%	2	6.26							
1A1a	Generación eléctrica	2,971.00	2,971.00	2,971.00	2,967.64	1.60	1.77	0.00	0.00	28.50%	2	6.29							
1A1cii	Otras industrias de la energía	12.79	12.79	12.79	12.78	0.01	0.01	0.00	0.00	0.12%	2	6.85							
1A2	Industrias de la manufactura y la construcción	862.01	862.01	862.01	860.07	0.73	1.20	0.00	0.00	8.27%	2	3.86							
1A2a	Hierro y acero	1.66	1.66	1.66	1.66	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02%	2	4.38							
1A2c	Productos químicos	95.18	95.18	95.18	95.06	0.05	0.07	0.00	0.00	0.91%	2	5.91							
1A2e	Procesamiento de alimentos, bebidas y tabaco	413.77	413.77	413.77	413.21	0.25	0.31	0.00	0.00	3.97%	2	5.58							
1A2f	Minerales no metálicos	209.37	209.37	209.37	208.44	0.31	0.62	0.00	0.00	2.01%	2	10.95							
1A2g	Equipo de transporte	2.34	2.34	2.34	2.34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02%	2	4.89							
1A2i	Minería (con excepción de combustibles) y cantería	69.78	69.78	69.78	69.57	0.07	0.13	0.00	0.00	0.67%	2	5.34							
1A2k	Construcción	20.73	20.73	20.73	20.67	0.02	0.04	0.00	0.00	0.20%	2	4.05							
1A2l	Textiles y cueros	49.00	49.00	49.00	48.95	0.02	0.03	0.00	0.00	0.47%	2	4.70							
1A2m	Industria no especificada	0.17	0.17	0.17	0.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00%	2	5.00							
1A3	Transporte	3,119.30	3,119.30	3,119.30	2,983.26	12.66	123.38	0.00	0.00	29.92%	1 y 3	5.90							
1A3a	Aviación civil	174.66	174.66	174.66	173.36	0.03	1.27	0.00	0.00	1.68%	1	5.02							
1A3b	Transporte terrestre	2,763.45	2,763.45	2,763.45	2,636.56	12.23	114.66	0.00	0.00	26.51%	3	6.63							
1A3c	Ferrocarriles	72.20	72.20	72.20	65.42	0.10	6.68	0.00	0.00	0.69%	1	13.28							
1A3d	Navegación marítima y fluvial	108.97	108.97	108.97	107.91	0.29	0.78	0.00	0.00	1.05%	1	7.16							
1A4	Otros sectores	361.53	361.53	361.53	256.42	93.27	11.83	0.00	0.00	3.47%	2	36.20							

Código IPCC	Nivel	Emisiones netas	Emisiones totales	Emisiones sin [3B] Tierra y [3D] PMR	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	HFC	HCFC	Participación porcentual REDONDEO	Nivel de Precisión	Incertidumbre	Absorciones 2023						
														Gg de CO <sub>2</sub> e					
														TOTAL DE EMISIONES / ABSORCIONES	-2,685.91	12,948.37	10,425.52	-5,602.78	1,875.67
1A4a	Comercial/Institucional	130.97	130.97	130.97	130.57	0.31	0.09	0.00	0.00	1.26%	2	4.33							
1A4b	Residencial	219.85	219.85	219.85	115.17	92.94	11.74	0.00	0.00	2.11%	2	59.47							
1A4c	Agropecuario	10.70	10.70	10.70	10.67	0.02	0.00	0.00	0.00	0.10%	2	5.00							
1A5	Sector no especificado	0.27	0.27	0.27	0.27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00%	2	3.20							
1B	Emisiones fugitivas provenientes de la fabricación de combustibles	89.95	89.95	89.95	0.08	89.86	0.00	0.00	0.00	0.86%	2	52.48							
1B2	Emisiones fugitivas provenientes de la fabricación de combustibles	89.95	89.95	89.95	0.08	89.86	0.00	0.00	0.00	0.86%	2	52.48							
1B2a	Transporte y almacenamiento de Gas LP	5.83E-04	5.83E-04	5.83E-04	4.80E-04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00%	2	119.96							
1B2b	Distribución y uso de gas natural	89.95	89.95	89.95	0.08	89.86	0.00	0.00	0.00	0.86%	2	52.49							
<b>2</b>	<b>Procesos industriales y uso de productos</b>	<b>682.56</b>	<b>682.56</b>	<b>682.56</b>	<b>348.38</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>331.81</b>	<b>2.37</b>	<b>6.55%</b>	<b>1 y 2</b>	<b>35.73</b>							
2A	Industria de los minerales	325.41	325.41	325.41	325.41	0.00	0.00	0.00	0.00	3.12%	2	2.79							
2A1	Producción de cemento	318.04	318.04	318.04	318.04	0.00	0.00	0.00	0.00	3.05%	2	2.83							
2A2	Producción de cal	7.37	7.37	7.37	7.37	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07%	2	15.13							
2C	Industria de los metales	3.32	3.32	3.32	3.32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03%	2	26.93							
2C1	Producción de hierro y acero	3.32	3.32	3.32	3.32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03%	2	26.93							
2D	Uso de productos no energéticos de combustibles y de solventes	19.66	19.66	19.66	19.66	0.00	0.00	0.00	0.00	0.19%	2	50.30							
2D1	Uso de lubricantes	19.66	19.66	19.66	19.66	0.00	0.00	0.00	0.00	0.19%	2	50.30							
2F	Uso de productos sustitutos de las SAO	334.18	334.18	334.18	0.00	0.00	0.00	331.81	2.37	3.21%	1 y 2	72.88							
2F1	Refrigeración y aire acondicionado	334.18	334.18	334.18	0.00	0.00	0.00	331.81	2.37	3.21%	1 y 2	72.88							

Código IPCC	Nivel	Emisiones netas	Emisiones totales	Emisiones sin [3B] Tierra y [3D] PMR	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	HFC	HCFC	Participación porcentual REDONDEO	Nivel de Precisión	Incertidumbre	Absorciones 2023						
														Gg de CO <sub>2</sub> e					
														TOTAL DE EMISIONES / ABSORCIONES	-2,685.91	12,948.37	10,425.52	-5,602.78	1,875.67
2F1ai	Refrigeración y aire acondicionado estacionario, sector residencial	25.10	25.10	25.10	0.00	0.00	0.00	25.10	0.00	0.24%	1 y 2	63.24							
2F1aii	Refrigeración y aire acondicionado estacionario, comercios	291.61	291.61	291.61	0.00	0.00	0.00	291.61	0.00	2.80%	1 y 2	83.27							
2F1aiiii	Refrigeración y aire acondicionado estacionario, hoteles	12.12	12.12	12.12	0.00	0.00	0.00	12.12	0.00	0.12%	1 y 2	76.34							
2F1aiv	Refrigeración y aire acondicionado estacionario, sector hospitales	0.94	0.94	0.94	0.00	0.00	0.00	0.94	0.00	0.01%	1 y 2	98.85							
2F1av	Refrigeración y aire acondicionado estacionario, oficinas	0.41	0.41	0.41	0.00	0.00	0.00	0.41	0.00	0.00%	1 y 2	47.70							
2F1avi	Refrigeración y aire acondicionado estacionario, industria	4.00	4.00	4.00	0.00	0.00	0.00	1.63	2.37	0.04%	1 y 2	32.46							
<b>3</b>	<b>ASOUT</b>	<b>-11,568.02</b>	<b>4,066.26</b>	<b>1,543.41</b>	<b>-13,037.11</b>	<b>970.68</b>	<b>498.41</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>14.80%</b>	<b>1 y 2</b>	<b>44.84</b>	<b>-15,634.28</b>						
3A	Ganado	1,028.02	1,028.02	1,028.02	0.00	967.43	60.59	0.00	0.00	9.86%	1	39.56							
3A1	Fermentación entérica	941.07	941.07	941.07	0.00	941.07	0.00	0.00	0.00	9.03%	1	42.92							
3A2	Gestión de estiércol	86.95	86.95	86.95	0.00	26.36	60.59	0.00	0.00	0.83%	1	54.63							
3B	Tierra	-13,090.59	2,522.85	0.00	-13,090.59	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00%	1 y 2	39.49	-15,613.44						
3B1	Tierras forestales	-15,613.44	0.00	0.00	-15,613.44	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00%	2	28.77	-15,613.44						
3B1a	Tierras forestales que permanecen como tal	-14,566.58	0.00	0.00	-14,566.58	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00%	2	30.08	-14,566.58						
3B1b	Tierras convertidas a tierras forestales	-1,046.86	0.00	0.00	-1,046.86	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00%	2	94.55	-1,046.86						
3B2	Tierras de cultivo	354.99	354.99	0.00	354.99	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00%	1 y 2	107.97							
3B2a	Tierras de cultivo que permanecen como tal	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00%	1 y 2	0.00							

Código IPCC	Nivel	Emisiones netas	Emisiones totales	Emisiones sin [3B] Tierra y [3D] PMR	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	HFC	HCFC	Participación porcentual REDONDEO	Nivel de Precisión	Incertidumbre	Absorciones 2023
		Gg de CO <sub>2</sub> e											
		TOTAL DE EMISIONES / ABSORCIONES	-2,685.91	12,948.37	10,425.52	-5,602.78	1,875.67	707.01	331.81	2.37			
3B2b	Tierras convertidas a tierras de cultivo	354.99	354.99	0.00	354.99	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00%	1y2	107.97	
3B3	Praderas	2,142.32	2,142.32	0.00	2,142.32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00%	2	117.98	
3B3a	Praderas que permanecen como tal	1,445.46	1,445.46	0.00	1,445.46	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00%	2	164.80	
3B3b	Tierras convertidas a praderas	696.85	696.85	0.00	696.85	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00%	2	121.26	
3B4	Humedales	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00%	2	117.98	
3B4b	Tierras convertidas en humedales	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00%	2	0.00	
3B5	Asentamiento	5.91	5.91	0.00	5.91	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00%	2	30.37	
3B5b	Tierras convertidas en asentamientos	5.91	5.91	0.00	5.91	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00%	2	30.37	
3B6	Otras tierras	19.63	19.63	0.00	19.63	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00%	2	106.88	
3B6b	Tierras convertidas en otras tierras	19.63	19.63	0.00	19.63	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00%	2	106.88	
3C	Fuentes agregadas y fuentes de emisión no CO <sub>2</sub> de la tierra	515.39	515.39	515.39	74.32	3.25	437.82	0.00	0.00	4.94%	1	27.63	
3C1	Emisiones de GEI por quema de biomasa	4.16	4.16	4.16	0.00	3.25	0.91	0.00	0.00	0.04%	1	117.35	
3C1a	Emisiones de GEI por quemado de biomasa en tierras forestales	4.00	4.00	4.00	0.00	3.13	0.87	0.00	0.00	0.04%	1	121.70	
3C1b	Emisiones de GEI por quemado de biomasa en tierras de cultivo	0.15	0.15	0.15	0.00	0.12	0.03	0.00	0.00	0.00%	1	139.65	
3C1c	Emisiones de GEI por quemado de biomasa en Praderas	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00%	1	0.00	
3C3	Aplicación de Urea	74.32	74.32	74.32	74.32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.71%	1	50.00	
3C4	Emisiones directas de N <sub>2</sub> O de los suelos gestionados	265.11	265.11	265.11	0.00	0.00	265.11	0.00	0.00	2.54%	1	47.34	
3C5	Emisiones indirectas de N <sub>2</sub> O de suelos gestionados	97.32	97.32	97.32	0.00	0.00	97.32	0.00	0.00	0.93%	1	46.90	

Código IPCC	Nivel	Emisiones netas	Emisiones totales	Emisiones sin [3B] Tierra y [3D] PMR	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	HFC	HCFC	Participación porcentual REDONDEO	Nivel de Precisión	Incertidumbre	Absorciones 2023	
		Gg de CO <sub>2</sub> e											100.00%	
		TOTAL DE EMISIONES / ABSORCIONES	-2,685.91	12,948.37	10,425.52	-5,602.78	1,875.67	707.01	331.81	2.37				
3C6	Emisiones Indirectas de N <sub>2</sub> O por SME	74.49	74.49	74.49	0.00	0.00	74.49	0.00	0.00	0.71%	1	43.22		
3D	Otros	-20.84	0.00	0.00	-20.84	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00%	1	53.66	-20.84	
3D1	Productos de madera recolectada	-20.84	0.00	0.00	-20.84	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00%	1	53.66	-20.84	
<b>4</b>	<b>Residuos</b>	<b>782.71</b>	<b>782.71</b>	<b>782.71</b>	<b>5.42</b>	<b>706.88</b>	<b>70.41</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>7.51%</b>	<b>1 y 2</b>	21.74		
4A	Eliminación de residuos sólidos	274.03	274.03	274.03	0.00	274.03	0.00	0.00	0.00	2.63%	2	61.81		
4A1	Sitios de eliminación de desechos gestionados	224.35	224.35	224.35	0.00	224.35	0.00	0.00	0.00	2.15%	2	74.50		
4A2	Sitios de eliminación de desechos no gestionados	6.28	6.28	6.28	0.00	6.28	0.00	0.00	0.00	0.06%	2	43.30		
4A3	Sitios de eliminación de desechos no categorizados	43.39	43.39	43.39	0.00	43.39	0.00	0.00	0.00	0.42%	2	62.85		
4C	Incineración y quema a cielo abierto de residuos	18.98	18.98	18.98	5.42	11.13	2.43	0.00	0.00	0.18%	1	82.19		
4C2	Incineración a cielo abierto de residuos	18.98	18.98	18.98	5.42	11.13	2.43	0.00	0.00	0.18%	1	82.19		
4D	Tratamiento y eliminación de aguas residuales	489.70	489.70	489.70	0.00	421.72	67.98	0.00	0.00	4.70%	1 y 2	0.99		
4D1	Tratamiento y eliminación de aguas residuales domésticas	317.98	317.98	317.98	0.00	132.50	39.22	0.00	0.00	3.05%	1 y 2	0.32		
4D2	Tratamiento y eliminación de aguas residuales industriales	171.72	171.72	171.72	0.00	289.22	28.76	0.00	0.00	1.65%	1 y 2	1.52		

Fuente: Elaboración propia.

## Descripción e interpretación de las tendencias para el carbono negro

El carbono negro (CN) se identifica como un contaminante de vida corta con un impacto significativo en el clima, similar al metano, al ozono troposférico y a ciertos compuestos fluorados como los hidrofluorocarbonos e hidroclorofluorocarbonos (SEMARNAT, 2015). Las emisiones de carbono negro tienen su origen en la combustión incompleta de combustibles fósiles, materia orgánica y biocombustibles, y se clasifican dentro de la materia particulada de diámetro inferior a 2.5 µm (PM2.5). No obstante, el carbono negro puede presentar variaciones en color y tamaño, pudiendo subdividirse en partículas ultrafinas o submicrónicas (<0.1 µm) (SMA, 2010). La estimación de las emisiones de carbono negro resulta crucial, tanto en el contexto del cambio climático como en el ámbito de la salud pública, debido a los riesgos que conlleva la exposición de la población a este contaminante.

En el año 2023, se estima que en el Estado de Yucatán se liberaron alrededor de 0.61 Gg de CN, siendo la combustión de diesel en transporte terrestre la principal fuente de emisiones con un 74.93% (0.46 GgCN), seguida por la quema de gasolina en el transporte terrestre que contribuyó con 14.91% de las emisiones (0.09 GgCN). En la Tabla 10 y en la Figura 6 y Figura 7, se detallan las emisiones de carbono negro correspondientes al año 2023 en el Estado de Yucatán, junto con su respectiva contribución porcentual.

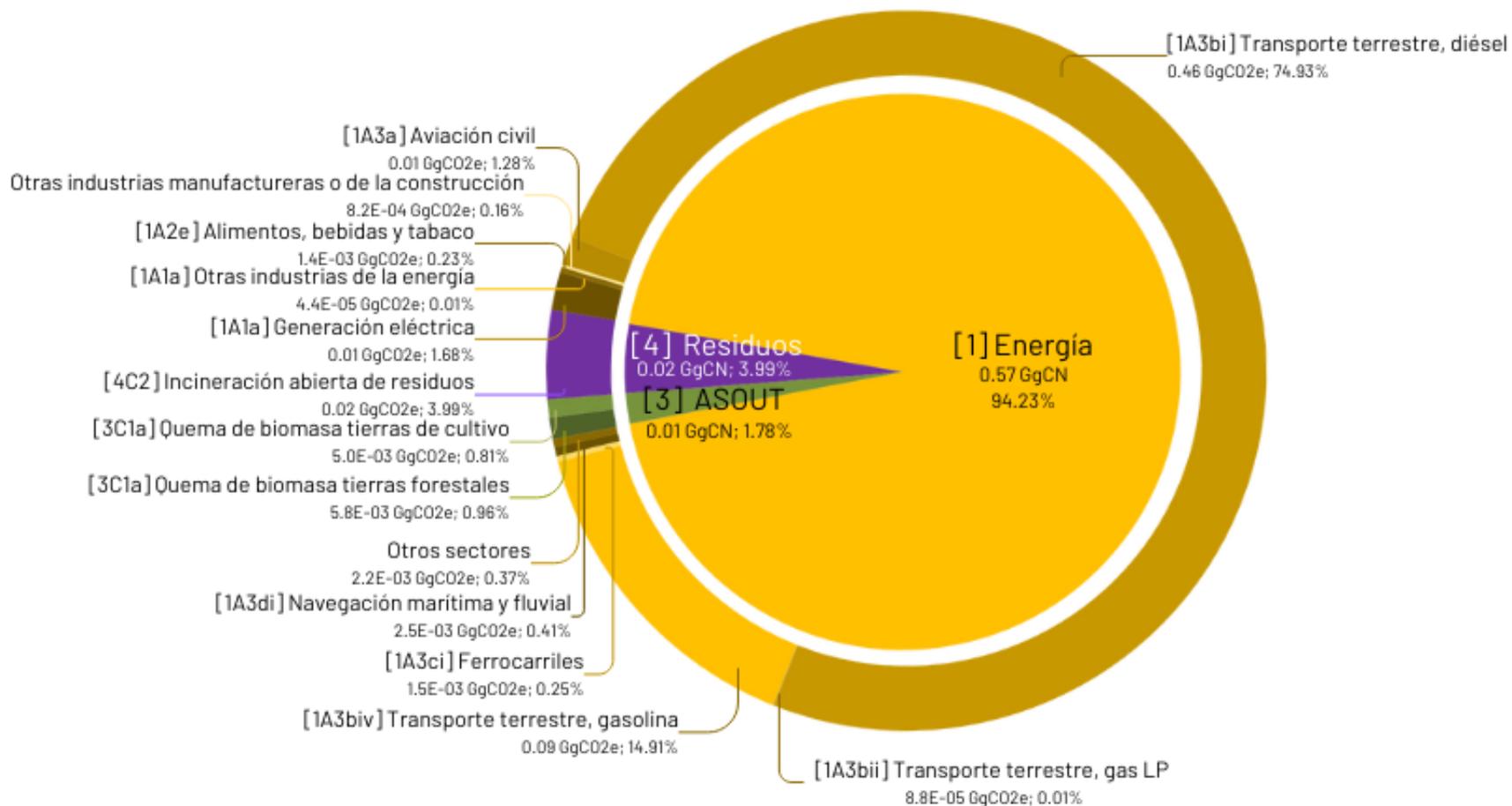
Tabla 10 Emisiones de carbono negro del Estado de Yucatán, 2023

Código IPCC	Categoría	Emisiones (Gg de CN)	Contribución porcentual
<b>EMISIONES TOTALES</b>		<b>0.61</b>	<b>100.00%</b>
<b>1</b>	<b>ENERGÍA</b>	<b>0.57</b>	<b>94.23%</b>
<b>1A</b>	<b>Actividades de quema del combustible</b>	<b>0.57</b>	<b>94.23%</b>
1A1	Industrias de la energía	0.01	1.70%
1A2	Industrias de la manufactura y la construcción	0.002	0.37%
1A3	Transporte	0.56	91.81%
1A4	Otros sectores (comercial, residencial y agricultura)	0.002	0.36%
1A5	No especificado	4.84E-07	0.01%
<b>1B</b>	<b>Emisiones fugitivas</b>	<b>1.23E-08</b>	<b>0.01%</b>
<b>3</b>	<b>AFOLU</b>	<b>0.01</b>	<b>57.36%</b>
3C1	Quema de biomasa y quema agrícola	0.01	57.36%
<b>4</b>	<b>RESIDUOS</b>	<b>0.02</b>	<b>1.30%</b>
4C	Incineración e incineración abierta de residuos	0.02	1.30%

Fuente: Elaboración propia

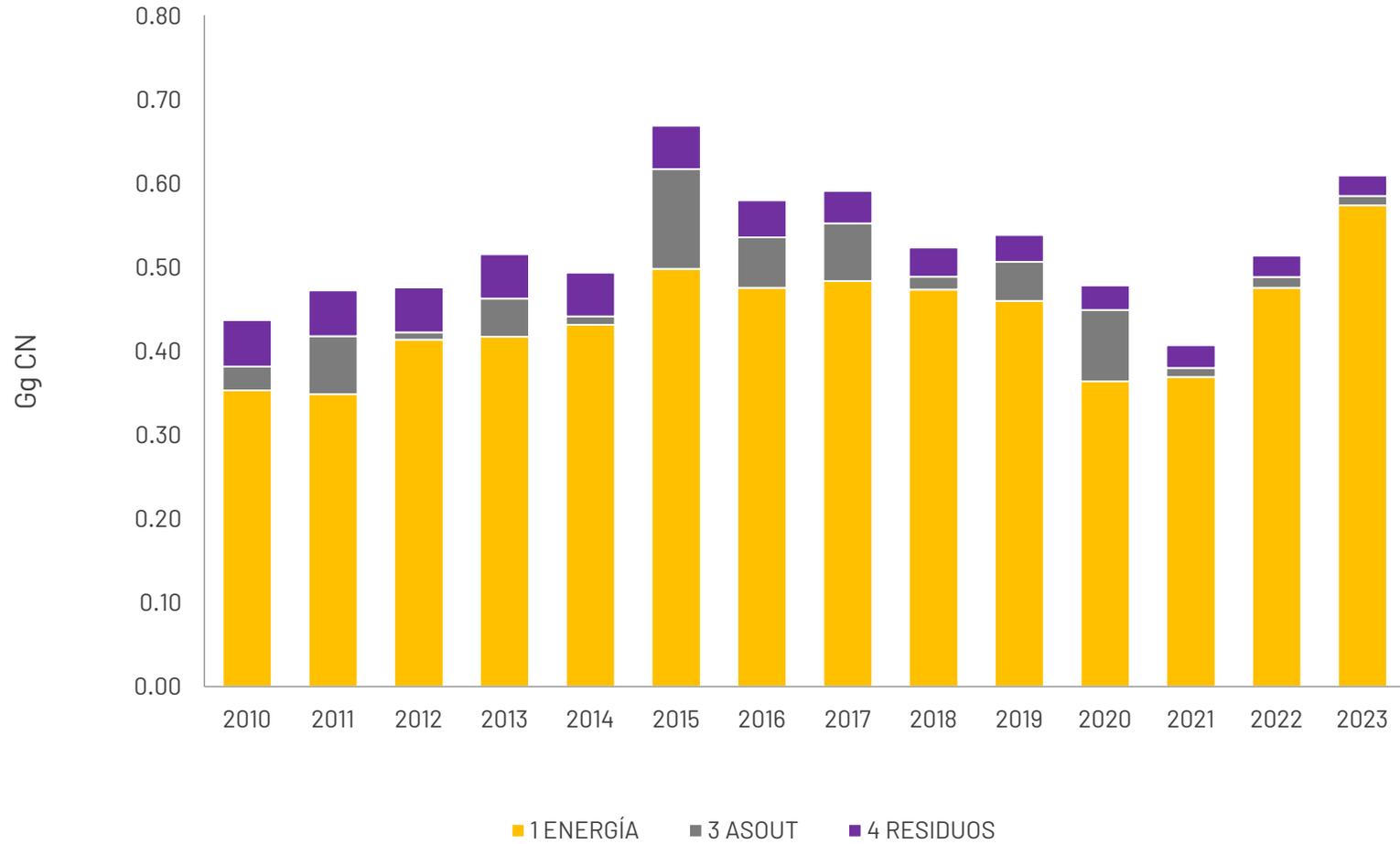
Es importante mencionar que la incidencia de quema de biomasa en tierras forestales y praderas, no siguen un patrón establecido; es decir, la quema por incendios forestales está condicionado a factores de disponibilidad de combustibles y factores de origen de ignición, por lo que el registro anual puede variar dependiendo de las condiciones. Se observa que los datos publicados por la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) indican que los incendios registrados entre el año 2021 y 2023 se incrementaron significativamente, a pesar de que en años previos no existieran registros de quema.

Figura 6. Emisiones de carbono negro en el Estado de Yucatán, 2023



Fuente: Elaboración propia

Figura 7.Emisiones históricas de carbono negro en el Estado de Yucatán, 2010-2023



Fuente: Elaboración propia

## Capítulo 1: Energía

### 1 Visión general del sector

El sector energía abarca las actividades relacionadas con la producción, transformación, gestión y consumo de productos energéticos. Las emisiones en este sector se originan principalmente por la combustión de combustibles fósiles como gasolina, diésel, gas licuado de petróleo (GLP), gas natural, combustóleo, petróleo, entre otros, así como de biomasa como madera, residuos agrícolas y desechos, con el fin de aprovechar su contenido energético y convertirlo en energía eléctrica o térmica. Este proceso se efectúa en instalaciones fijas como centrales eléctricas, hornos y calderas, y en fuentes móviles como la aviación civil, el transporte terrestre, marítimo y ferroviario.

Las emisiones están estrechamente ligadas al contenido de carbono de cada tipo de combustible. Los principales gases de efecto invernadero (GEI) identificados en este sector son el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el metano (CH<sub>4</sub>) y el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O). Las emisiones derivadas del consumo eléctrico de cada sector no se contabilizan aquí, dado que se consideran en las emisiones por generación de electricidad, evitando así duplicidades en el registro. Asimismo, las emisiones asociadas a fuentes renovables de energía distintas a la biomasa, como la energía solar fotovoltaica o eólica, se excluyen al considerarse que no generan emisiones directas de GEI durante su operación.

Es importante destacar que durante la quema de biomasa para la generación de energía las emisiones de CO<sub>2</sub> producidas se clasifican como de origen biogénico y no se suman al total del inventario. Sin embargo, las emisiones de metano y óxido nitroso derivadas de este proceso deben ser tenidas en cuenta en el cálculo del inventario para una evaluación precisa de las emisiones.

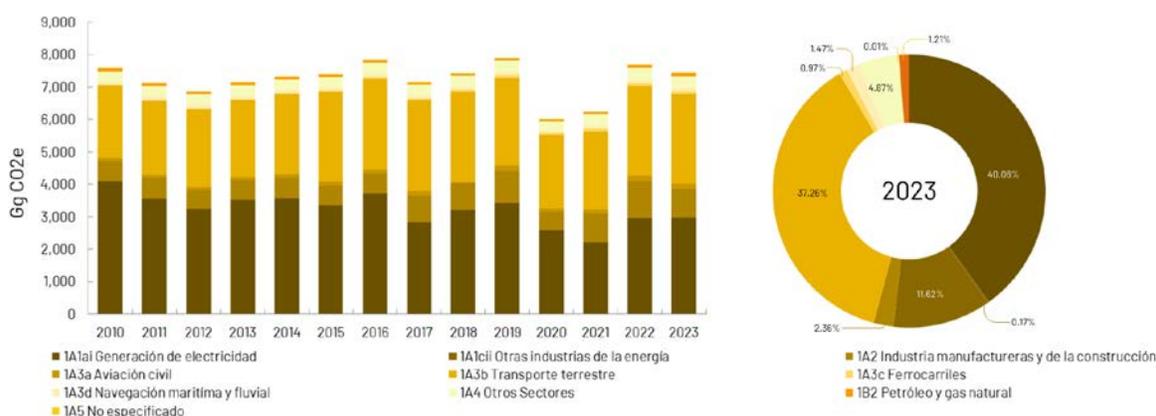
Para el Estado de Yucatán, se contemplan las emisiones derivadas de la quema de combustibles [1A] y las emisiones fugitivas generadas por la producción de combustibles fósiles [1B]. No se incluyen las emisiones relacionadas con el transporte y almacenamiento de CO<sub>2</sub> [1C] dado que estas actividades no tienen lugar en el Estado.

Dentro de las emisiones consideradas se encuentran aquellas de la categoría [1A1] Industrias de la energía, específicamente para la generación de electricidad [1A1a] y Otras industrias de la energía [1A1c]. Respecto a la categoría [1A2] Industrias manufactureras y de la construcción, se consideran únicamente aquellas con operaciones dentro del Estado de Yucatán. En cuanto a la categoría [1A3] Transporte, se estiman las emisiones originadas por la combustión en fuentes móviles, abarcando [1A3a] aviación civil, [1A3b] transporte terrestre, [1A3c] ferrocarril y [1A3d] navegación marítima y fluvial excluyendo [1A3e] otros medios de transporte. Por último, las emisiones contempladas en la categoría [1A4] comprenden [1A4a] actividades comerciales/institucionales, [1A4b] residenciales y [1A4c] agropecuario así como [1A5] Sector no especificado. Con respecto a [1B] se consideran las emisiones por el transporte y almacenamiento de Gas LP [1B2a] y las emisiones por la distribución y uso de gas natural [1B2b].

Las emisiones del sector [1] Energía en 2023<sup>1</sup> se estimaron en 7,416.84 Gg CO<sub>2</sub>e, lo que representó el 71.14% de las emisiones totales del GEI (sin absorción). El sector presenta una disminución en sus emisiones con una TMCA de -0.15% del 2010 al 2023, siendo el consumo de combustibles fósiles para el transporte terrestre y para la generación de electricidad los que marcan el comportamiento histórico.

En la Figura 8, se presenta la evolución de las emisiones del sector energía [1] para cada una de sus categorías, así como su contribución en el año 2023.

Figura 8. Evolución de las emisiones de GEI del sector Energía en el Estado de Yucatán (GgCO<sub>2</sub>e)



Fuente: Elaboración propia.

Las categoría clave identificadas para el año 2023 en este sector son [1A1a] Generación de electricidad; [1A3b] Transporte terrestre; [1A2e] Procesamiento de alimentos, bebidas y tabaco; [1A2f]Minerales no metálicos; [1A3a] Aviación civil; [1A4b] Sector residencial; [1A4a] Sector comercial/Institucional y [1A3d] Navegación marítima y fluvial.

## 1A. Actividades de quema del combustible

### 1A1. Industrias de la energía

#### 1A1.1. Descripción de la categoría

En esta sección se contabilizan las emisiones de GEI del aprovechamiento energético de combustibles para la categoría [1A1] Industrias de la energía. Yucatán se encuentra en la Gerencia de Control Regional Peninsular (GCR Peninsular), la cual está entre las que tienen un mayor déficit de generación eléctrica, pues casi el 50% de la electricidad que consume proviene de otras regiones (principalmente la GCR Oriental). Además, es la región con el mayor crecimiento registrado y esperado en el consumo neto y en la demanda máxima integrada: se espera una TMCA de 3.6% y 4% respectivamente al 2037 (PRODESEN, 2023). Ello, aunado a la

<sup>1</sup> El año 2022 es el último año con información confirmada en materia de energía, pues la información de 2023 es preliminar y deberá ser confirmada en cuanto las autoridades publiquen los últimos datos corroborados en los sistemas de información energética y en las COA federales correspondientes.

congestión en las redes de transmisión, hace que el costo de la generación eléctrica en la GCR Peninsular sea el mayor del país, y los cortes eléctricos, los más frecuentes (Bracho, 2021).

Si bien la GCR Peninsular sólo genera aproximadamente la mitad de la electricidad que demanda, se estima que el estado de Yucatán, entre 2017 y 2021, generó en promedio 15% más electricidad de la que consumió, y el excedente muy probablemente fue enviado al vecino estado de Quintana Roo. El estado de Yucatán cuenta con la mayor cantidad de plantas de generación de la GCR Peninsular, destacándose en la Tabla 11, las cinco principales centrales que utilizan combustibles fósiles (gas natural, combustóleo y diesel, principalmente). Además, para finales de 2024 se espera que entren en operación dos nuevas centrales de ciclo combinado, la Mérida IV y la Riviera Maya de CFE, que sumarían una capacidad de 499 y 1,020 MW respectivamente, abasteciéndose del gas natural que transportarán los nuevos ductos en construcción.

Tabla 11 . Principales centrales de generación eléctrica con combustibles fósiles del estado de Yucatán

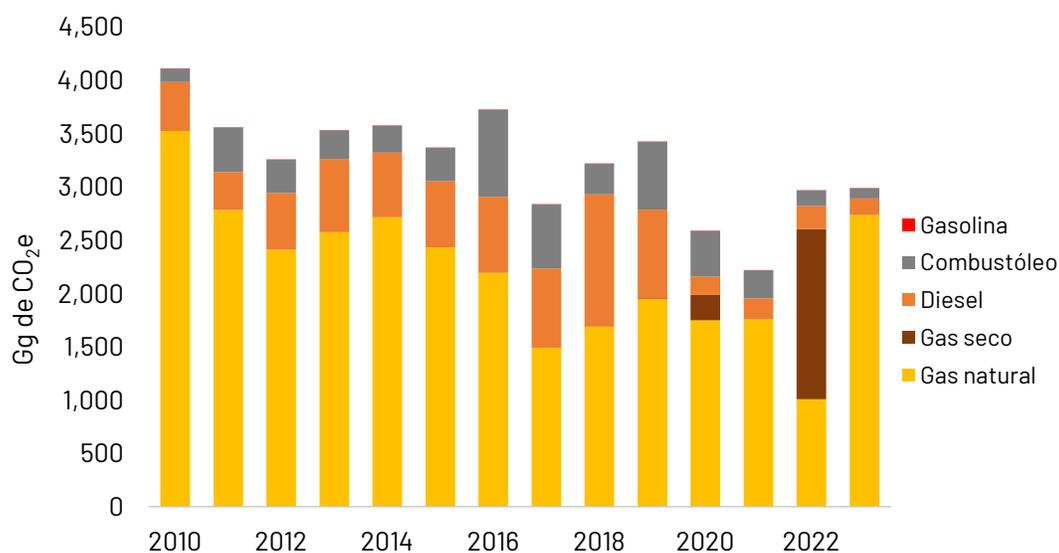
Central de generación	Tecnología	Capacidad instalada (MW)	Localización, Año de inicio
Compañía de Generación Valladolid III (Mitsui-CFE)	Ciclo Combinado	525	Valladolid, 2006
AES Mérida III (AES México)	Ciclo Combinado	505	Mérida, 2000
Central Termoeléctrica Felipe Carrillo Puerto (C. C. C. Valladolid, CFE)	Ciclo Combinado	220	Valladolid, 1992
Central Termoeléctrica Mérida II (CFE)	Termoeléctrica convencional y Turbogás	198	Mérida, 1971
Planta de cogeneración (ENERKIN)	Cogeneración	13	Mérida, 2016

Fuente: CFE y SENER, 2023

Las centrales eléctricas incorporan la electricidad generada a la red eléctrica pública regulada por el Mercado Eléctrico Mayorista (MEM), y sus emisiones se reportan en la subcategoría [1A1a] Producción de electricidad y calor como actividad principal. Las emisiones por la autogeneración de electricidad, de acuerdo con las mejores prácticas recomendadas por el IPCC (2006, pp. [V2, C2] 2.27), se reportan en la categoría en la que se generan, normalmente [1A2], [1A4] y [1A5] y sus subcategorías.

La quema de combustibles de la categoría [1A1] en Yucatán durante 2023 sumó un total de 2,983.80 Gg de CO<sub>2e</sub>, lo que representa la mayor parte de las emisiones del subsector [1A] del estado en dicho año. La tendencia en el consumo de 2010 a 2023 en general observa una baja con una TMCA negativa de -2.43%, y su evolución a lo largo del periodo se muestra en la Figura 9. La subcategoría [1A1a] Producción de electricidad representó el 99.57% de las emisiones, siendo [1A1cii] Otras industrias de la energía irrelevante en términos de GEI.

Figura 9. Emisiones de la categoría [1A1] por tipo de combustible (Gg CO<sub>2</sub>e)



Fuente: Elaboración propia con información de SDS, SEMARNAT, SIE y CRE

La evolución de las emisiones de [1A1] ha tenido altibajos, pero muestra un claro decremento, lo cual contrasta con la generación bruta de electricidad (GWh) de CFE en Yucatán, cuya TMCA apenas ha caído a un ritmo de -0.3% en el mismo periodo. Lo anterior indica una menor intensidad de carbono en la matriz eléctrica del estado, es decir, se genera casi la misma cantidad de energía eléctrica, pero con cada vez menos emisiones. Esto es importante pues, como ya se mencionó, se espera que la demanda y el consumo en la GCR Peninsular siga creciendo durante los próximos quince años a un ritmo de 4% anual.

El desplazamiento de combustibles en las plantas de generación, tales como el combustóleo en favor del gas natural, puede explicar en parte lo anterior, aunado también a la posible implementación de algunas mejoras tecnológicas. Finalmente, es importante mencionar que, aunque la generación de electricidad en Yucatán ha excedido su consumo en promedio un 15% durante los últimos siete años, la contabilización de las emisiones resultantes de esta actividad le corresponde totalmente al estado debido a que la quema de los combustibles tiene lugar dentro de su territorio.

## 1A1.2. Metodología

La metodología aplicada proviene de las Directrices 2006. Se han usado diferentes enfoques metodológicos (nivel 1 o Tier 1 y nivel 2 o Tier 2) de acuerdo con la disponibilidad de información y el peso de las emisiones de cada actividad, siguiendo el árbol de decisión que se muestran en la Figura 2.1 "Árbol de decisión general para estimar las emisiones de la combustión estacionaria", del cap. 2, vol. 2 del IPCC (2006b). Se empleó un método Tier 2 para las emisiones de CO<sub>2</sub> al utilizar FE propios del país y un método nivel 1 para las emisiones de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O. Para el cálculo de las emisiones se utilizó la ecuación 2.1, vol. 2, cap. 2 de las Directrices del IPCC (2006b).

### 1A1.3. Datos de actividad (DA)

Los datos de actividad de esta categoría se obtuvieron principalmente de la Comisión Reguladora de Energía (CRE), del Sistema de Información Energética (SIE) de la Secretaría de Energía (SENER), así como de las Cédulas de Operación Anual estatales y federales (COA) de las centrales eléctricas y de otras empresas de energía que operan en el estado de Yucatán, las cuales son generadas por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) y la Secretaría de Desarrollo Sustentable del estado de Yucatán (SDS), quienes registran los datos de consumo de combustibles.

Como se observa en la Tabla 12, la tendencia en el consumo energético de combustibles (PJ) para las centrales muestra un decremento con una TMCA negativa de -2.7% en el periodo de 2010 a 2022, lo cual corresponde con la caída en volumen (m<sup>3</sup>). Destaca que el uso de diesel ha tenido un ritmo de decrecimiento anual de -6.2% (Tabla 2). El gas natural también ha visto reducida su participación, probablemente debido a los problemas de suministro en la península que ha obligado a un mayor uso de combustóleo en los últimos años, lo cual se espera que mejore con la construcción de los nuevos ductos que está en marcha.

Tabla 12 Consumo energético de los principales combustibles para [1A1] en Yucatán (PJ)

Combustible	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023*
Gas natural	60.9	48.1	41.7	44.5	46.9	42.1	37.9	25.8	29.2	33.7	30.2	30.4	17.4	47.3
Gas seco	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.12	4.1	0	27.6	0
Diesel	6.28	4.86	7.28	9.37	8.31	8.51	9.74	10.15	16.99	11.33	2.35	2.67	2.93	2.10
Combustóleo	1.57	5.21	3.93	3.37	3.16	3.94	10.27	7.52	3.59	7.99	5.37	3.29	1.83	1.20
Gasolina	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0	0	0	0	0	0	0.001	0.001	0.001

\*datos estimado

Fuente: Elaboración propia con información de la SEMARNAT, SIE y CRE

### 1A1.4. Factores de Emisión (FE)

Los FE para CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O (Tier 1) son los propuestos por defecto en las Directrices del IPCC (2006b), tabla 2.2, vol. 2, pág. 2.16. Los FE empleados para el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) corresponden a factores nacionales específicos para cada combustible y se basan en la determinación en laboratorio del contenido de carbono por unidad de energía, resultado del informe técnico INECC/A1-008/2014 realizado por el Instituto Mexicano del Petróleo (INECC-IMP, 2014), que se muestran en la Tabla 13. Este método es consistente con el Tier 2 de las ya citadas Directrices.

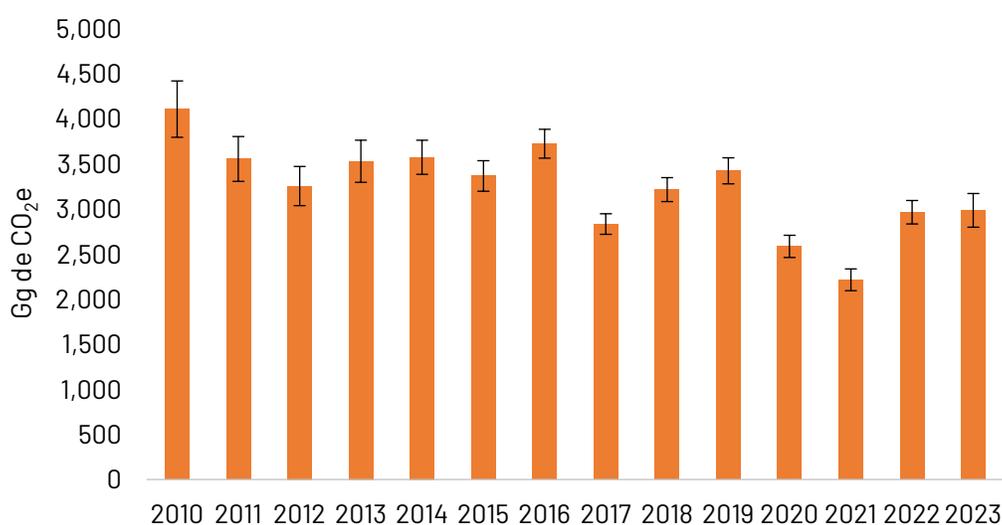
Tabla 13. Factores de emisión de CO<sub>2</sub> empleados en la categoría [1A1](kg/TJ)

Combustible	FE de CO <sub>2</sub>
Diésel	72,851
Gas natural	57,755
Combustóleo	79,450

## 1A1.5. Incertidumbres y coherencia de las series temporales

Se calculó la incertidumbre mediante el “Método 1: Propagación del error”, cap. 4 de las Directrices del IPCC por categorías, tendencias y GEI, entre el año base (1990) y el último año de reporte (2019). La incertidumbre de los FE se toma de las Directrices del IPCC (2006b), vol. 2, cap. 2, pág. 38. Para los FE de CO<sub>2</sub> propios del país que corresponden a una metodología Tier 2, los rangos de incertidumbre corresponden a los estimados por el INECC-IMP (2014). La incertidumbre promedio anual resultó de  $\pm 5.41\%$ , y las series se consideran coherentes en el tiempo al emplearse la misma metodología y completa al tener la cobertura geográfica estatal (Figura 10)

Figura 10 Incertidumbre en la categoría 1A1



Fuente: Elaboración propia

## 1A1.6. QA/QC de la categoría y verificación

Las fuentes de base de las que se extrae información están sometidas a controles de revisión específicos propios. Se compara y valida la información proporcionada por la CRE y la COA con datos del SIE del Balance Nacional de Energía (SENER, 2023).

## 1A1.7. Mejoras previstas específicas de cada categoría

- Conciliación de los consumos de combustibles y generación de electricidad que operan en el estado de Yucatán entre las diversas fuentes (COA, SIE, CRE).
- Actualización de los DA de [1A1a] en las nuevas series del SIE.
- Registro estatal de los consumos de combustible de las centrales eléctricas.

## 1A2. Industrias manufactureras y de la construcción.

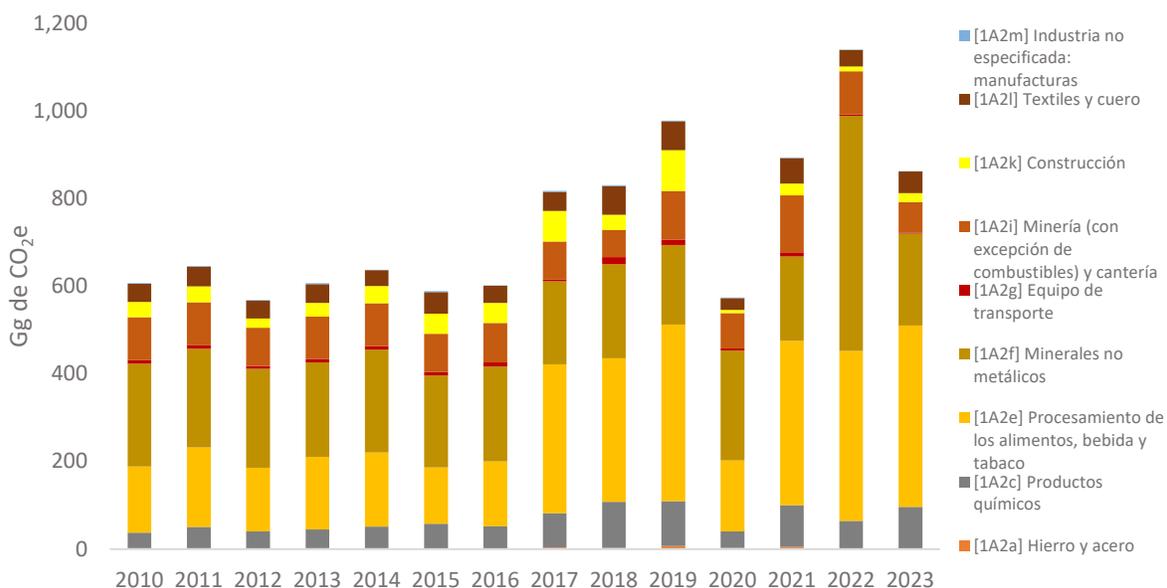
### 1A2.1. Descripción de la categoría

En esta sección se contabilizan las emisiones GEI generadas por la quema de combustibles fósiles para el aprovechamiento energético dentro del sector industrial. Este sector incluye los procesos tanto de generación de energía como de calor para ser usados dentro de las instalaciones industriales que operan en el Estado de Yucatán.

Dentro de esta categoría se encontraron nueve de las trece subcategorías previstas por el IPCC con actividades dentro del Estado. Dichas subcategorías son: [1A2a] Hierro y acero, [1A2c] Productos químicos, [1A2e] Procesamiento de los alimentos, bebida y tabaco, [1A2f] Minerales no metálicos, [1A2g] Equipo de transporte, [1A2i] Minería y cantería, [1A2k] Construcción, [1A2l] Textiles y cuero y [1A2m] Industria no especificada: manufacturas.

En 2023, las emisiones por quema de combustibles en la categoría [1A2] Industrias manufactureras y de la construcción contabilizaron 862.01 Gg CO<sub>2</sub>e, con una tasa media de crecimiento anual de 2.7% respecto al año 2010. Su evolución a lo largo del periodo de estudio se muestra en la Figura 11, distinguiéndose la subcategoría y [1A2e] Procesamiento de los alimentos, bebida y tabaco con el 48.00% y [1A2f] Minerales no metálicos con el 24.29% en 2023. Si bien el crecimiento ha ido al alza, es claro que en 2020 hubo una fuerte caída, principalmente en [1A2e], posiblemente debido a los efectos de la pandemia de COVID-19. Caso contrario en 2022 cuando [1A2f] registró un intenso aumento, siendo posible atribuirse a las grandes construcciones que se están llevando actualmente en el Estado.

Figura 11. Emisiones de la categoría [1A2] por subcategoría 2010-2022 (Gg CO<sub>2</sub>e)



Fuente: Elaboración propia con información de SEMARNAT, SDS, SIE y CRE

## 1A2.2. Metodología

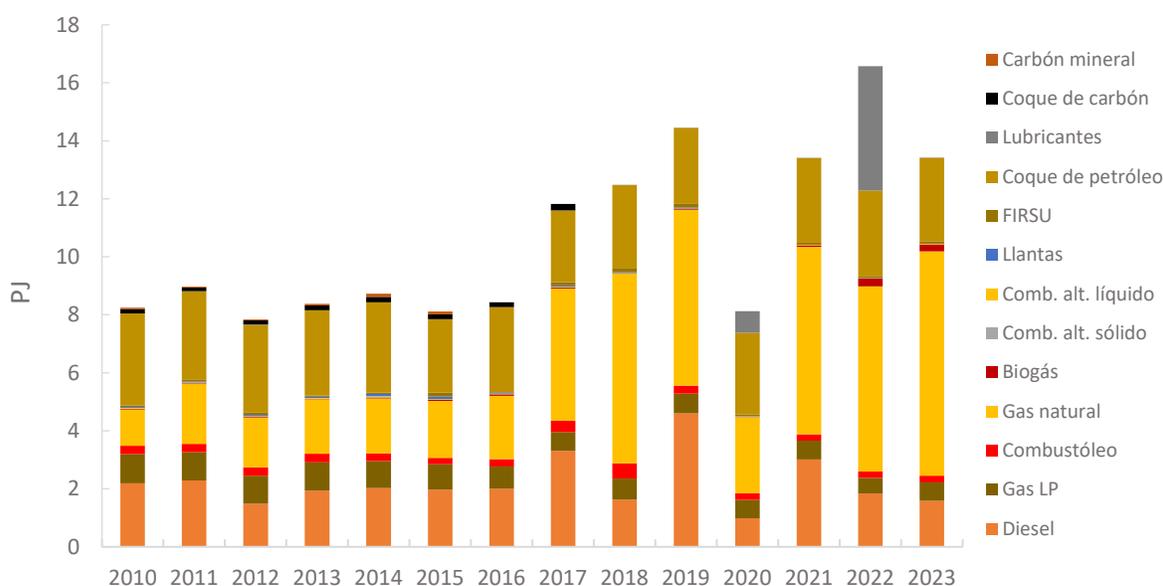
Se utilizó la metodología usada de las Directrices del IPCC 2006 con un enfoque metodológico de nivel 2 (Tier 2) para la estimación de las emisiones de CO<sub>2</sub>, mientras que para la estimación de las emisiones de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O se utilizó un nivel 1 (Tier 1), siguiendo el árbol de decisión de la Figura 2.1 del cap. 2, vol. 2 de las mismas directrices (IPCC, 2006b).

## 1A2.3. Datos de Actividad (DA)

La información sobre los consumos de combustible en la industria ha sido estimada a partir de la información de las Cédulas de Operación Anual (COA) de las industrias que operan en el estado de Yucatán, tanto federales de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), como estatales de la Secretaría de Desarrollo Sustentable de Yucatán (SDS); del Sistema de Información Energética (SIE) de la Secretaría de Energía (SENER); y con apoyo del Índice de Actividad Industrial y del Producto Interno Bruto Estatal por actividad económica del estado de Yucatán (INEGI, 2022a).

El consumo energético (PJ) de diesel y gas LP ha sido constante en la industria, aunque ha ido a la baja (TMCA -1.5 y -5.1 respectivamente): el diesel registró 1.84 PJ en 2022, mientras el gas LP, 0.54 PJ (ver la Figura 4). Por otro lado, el gas natural ha tenido el mayor crecimiento anual en la industria del estado (TMCA 14.5%), alcanzando 6.38 PJ en 2022. El coque de carbón es el segundo energético más utilizado, principalmente en la industria del cemento y en la minería, pero su uso ha disminuido (2.96 PJ en 2022). Finalmente, destaca el uso de lubricantes como combustible, que en 2022 alcanzó un nivel excepcional (4.3PJ), quizás debido a cuestiones coyunturales en la industria de la construcción. En la Figura 12 se presentan los datos para el periodo 2010-2023.

Figura 12. Consumo de combustibles (PJ) en la categoría [1A2]



Fuente: Elaboración propia con información de SEMARNAT, SDS, CRE y SIE

## 1A2.4. Factores de emisión (FE)

Los FE para las emisiones de CO<sub>2</sub> son específicos del país (INECC-IMP, 2014), los cuales se muestran en la Tabla 14. Por su parte, los factores de emisión de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O (así como todos los FE de los combustibles que no aparecen en la Tabla 14), se tomaron de los valores por defecto de la tabla 2.3, vol. 2, pág. 2.18 de las Directrices del IPCC (2006b).

Tabla 14. Factores de emisión de CO<sub>2</sub> empleados en la categoría [1A2] (kg/TJ)

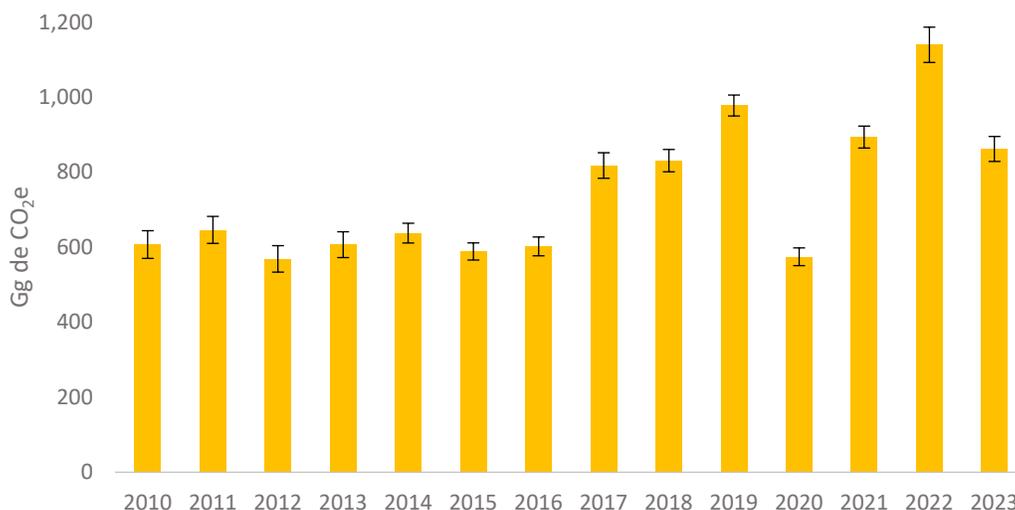
Combustible	FE de CO <sub>2</sub>
Diésel	72,851
Gas natural	57,755
Carbón siderúrgico	90,912
Coque de carbón	109,598
Gas LP	65,083
Gasolinas y naftas	73,791
Fracción inorgánica de RS	91,700
Combustible alternativo sólido	89,990
Combustible alternativo líquido	78,226
Madera o Aserrín	103,237
Combustóleo	79,450

Fuente: INECC-IMP, 2014

## 1A2.5. Incertidumbres y coherencia de las series temporales

Se estimó la incertidumbre mediante el “Método 1: Propagación del error”, del cap. 4 de las Directrices del IPCC (2006b) por categorías, tendencias y GEI, entre el año base (1990) y el último año de reporte (2019). La incertidumbre de los FE se toma de las Directrices del IPCC (2006b), vol. 2, cap. 2. Para los FE de CO<sub>2</sub> propios del país, que corresponden a una metodología Tier 2, los rangos de incertidumbre corresponden a los estimados por el INECC-IMP (2014). La incertidumbre promedio anual estimada es de  $\pm 4.4\%$ , y las series se consideran coherentes en el tiempo al emplearse la misma metodología y completa al tener la cobertura geográfica estatal (Figura 13).

Figura 13 Incertidumbre en la categoría [1A2]



Fuente: Elaboración propia

## 1A2.6. QA/QC de la categoría y verificación

Esta categoría sigue los principios generales de QA/QC incluidos en la Introducción.

## 1A2.7. Mejoras previstas específicas de cada categoría

- Generación de un inventario exhaustivo de los combustibles usados en las industrias que se encuentran en el estado de Yucatán.
- Conciliación de los datos de las bases de datos desagregadas de la SENER con las COA federales y estatales.

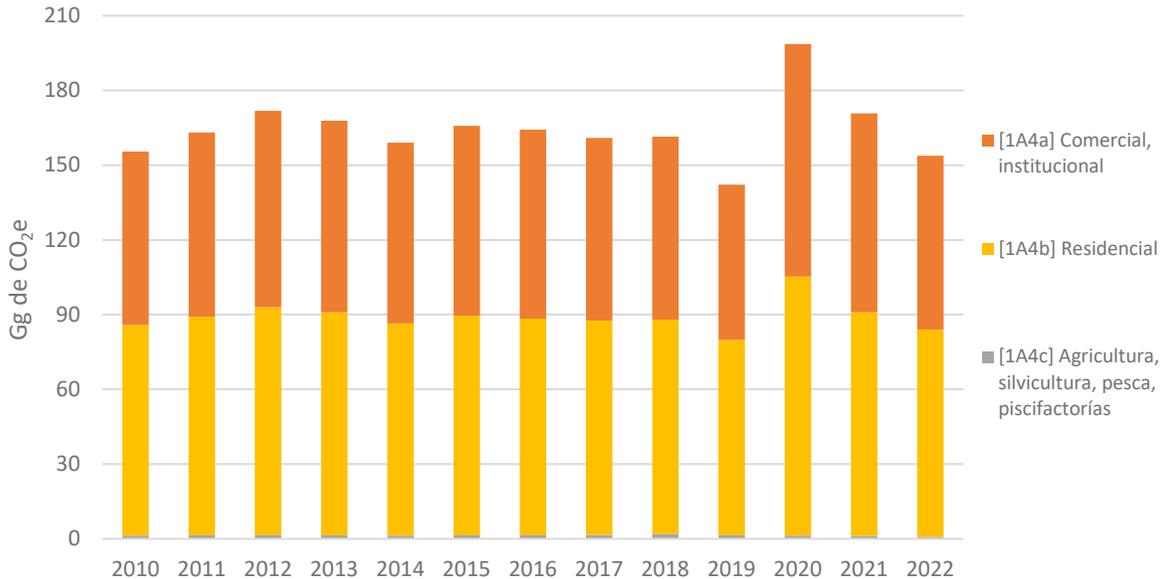
## 1A4. Otros sectores

### 1A4.1. Descripción de la categoría

A continuación, se estiman las emisiones de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O procedentes de la combustión de combustibles fósiles para el aprovechamiento energético y de calor en [1A4] Otros Sectores que incluye actividades comerciales, de servicios; residenciales y agropecuarias. Así, el inventario del estado de Yucatán registra emisiones en todas las subcategorías: [1A4a] Comercial e Institucional, [1A4b] Residencial, y [1A4c] Agropecuario, silvicultura y pesca.

La categoría [1A4] sumó un total de 361.53 Gg de CO<sub>2</sub> en 2023. En la Figura 14 se muestra que la subcategoría con la mayor contribución fue [1A4a] Residencial con el 60.81% de las emisiones, seguida de la [1A4a] Comercial e Institucional con el 38.28%, y [1A4c] Agricultura apenas sumó menos del 2.96%. En 2020 se observa los efectos de la pandemia por Covid-19 con una baja en las emisiones, principalmente en el sector residencial, que se recuperó al siguiente año. En general, se registra una TMCA de 1.01% con respecto al año 2010.

Figura 14. Emisiones de la categoría [1A4] por subcategorías (Gg CO<sub>2</sub>e)



Fuente: Elaboración propia con información de la SRNMA, SIE y CRE

## 1A4.2. Metodología

La metodología usada es la de las Directrices del IPCC (2006b). Se ha usado un enfoque metodológico de Tier 2 para la estimación de las emisiones de CO<sub>2</sub>, mientras que la estimación de las emisiones de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O se calculó mediante nivel Tier 1, siguiendo el árbol de decisión de la Figura 2 del cap. 2, vol. 2 de las mismas Directrices del IPCC.

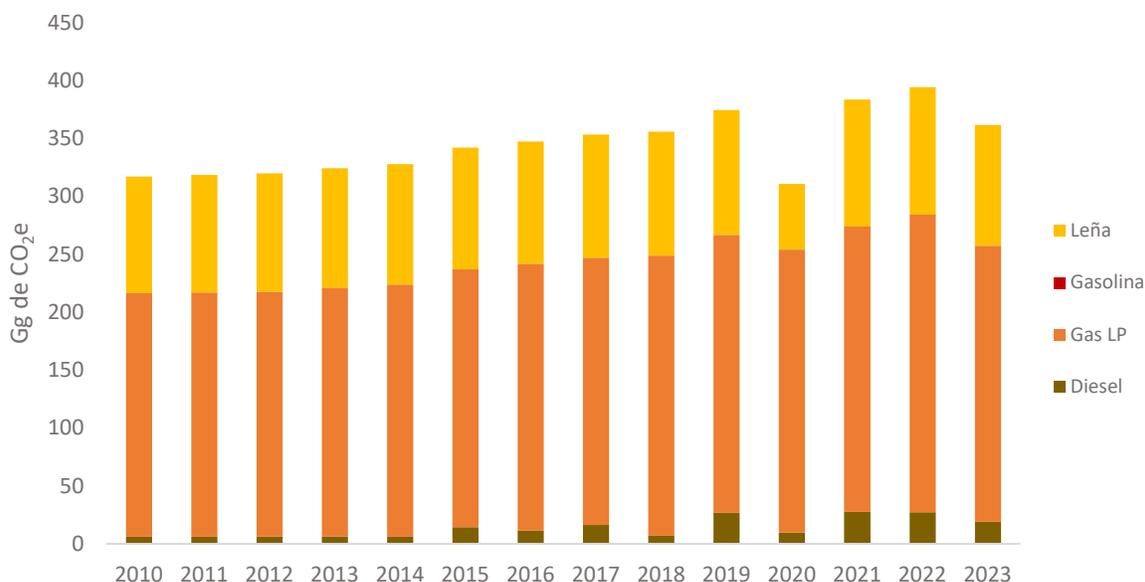
## 1A4.3. Datos de actividad (DA)

Los datos de actividad para esta categoría provienen principalmente del Sistema de Información Energética SIE, así como de los balances nacionales de energía, ambos de la Secretaría de Energía SENER; así también de información de la Comisión Reguladora de Energía (CRE) para el gas LP; y de las Cédulas de Operación Anual tanto estatales (Secretaría de Desarrollo Sustentable SDS) como federales (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales SEMARNAT). Finalmente, las estimaciones con base en el Producto Interno Bruto Estatal por actividad económica para el estado de Yucatán provienen de INEGI (2022a), cuando fue necesario.

El gas LP es el energético fósil con más emisiones en esta categoría, con el 65% en 2022, y también el de mayor crecimiento; el diesel, por su parte, tiene una participación casi diez veces menor pero también ha crecido. Destaca que el gas natural no sea usado en esta categoría, lo cual puede deberse a la falta de la infraestructura necesaria para su distribución en este sector. En cuanto al consumo de combustibles de origen biogénico, Yucatán es uno de los estados con un uso intensivo de leña que en 2022 generó el 28% de las emisiones de [1A4] y, aunque se considera residencial, podría incluir actividades económicas informales.

La Figura 15, se muestra el consumo anual de los combustibles en [1A4] así como su evolución relativa en el periodo 2010-2023.

Figura 15. Emisiones de los combustibles (Gg CO<sub>2</sub>e) en la categoría [1A4]



Fuente: Elaboración propia con información de la SRNMA, SIE y CRE

El uso de leña se estimó a partir del Balance Nacional de Energía (BNE de leña, SENER, 2022) con supuestos de Masera (2010) para su distribución por entidad. Cabe aclarar que, debido a su origen biogénico, las emisiones de CO<sub>2</sub> de leña no deben ser consideradas en la suma total de emisiones GEI, sin embargo, las emisiones por metano (CH<sub>4</sub>) y óxidos nitrosos (N<sub>2</sub>O) sí se consideran, razón por la cual se observa una contribución que no es pequeña dada la gran cantidad de leña estimada, como se aprecia en la Figura 15.

#### 1A4.4. Factores de emisión (FE)

El FE de CO<sub>2</sub> fue tomado del informe técnico INECC/A1-008/201, realizado por el Instituto Mexicano del Petróleo (INECC-IMP, 2014). Para los FE de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O se consideraron los valores por defecto de las Directrices del IPCC (2006b) (tabla 2.4, vol. 2, cap. 2). En la Tabla 15 se recogen los valores de los FE específicos de México.

Tabla 15. Factores de emisión de CO<sub>2</sub> empleados en la categoría [1A4] (kg/TJ)

Combustible	FE de CO <sub>2</sub>
Gas natural	57,755
Gas LP	65,083
Diésel	72,851
Gasolinas y naftas	73,791
Leña	103,237

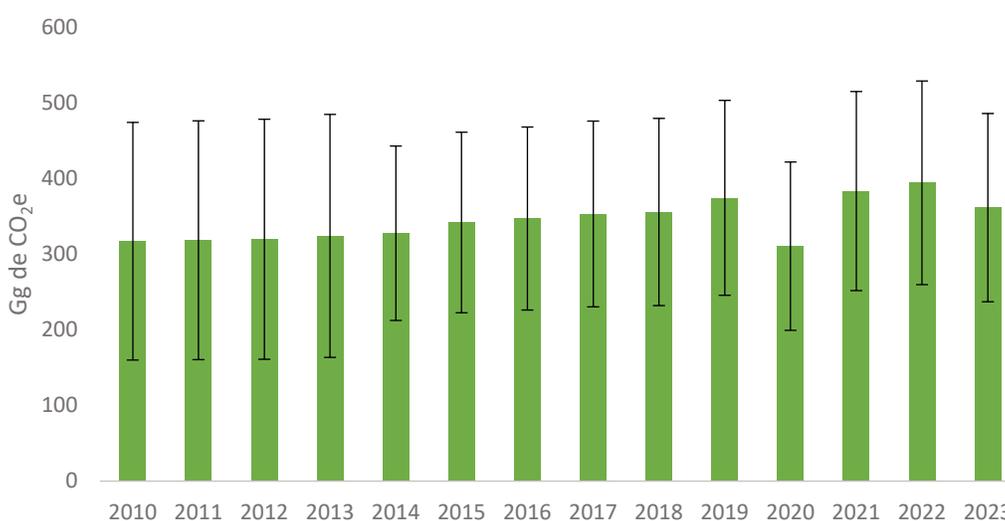
Fuente: INECC-IMP, 2014

## 1A4.5. Incertidumbres y coherencia de las series temporales

Se calculó la incertidumbre mediante el "Método 1: Propagación del error", del cap. 4 de las Directrices del IPCC por categorías, tendencias y GEI, entre el año base (1990) y el último año de reporte (2019). La incertidumbre de los FE proviene de las Directrices del IPCC (2006b), vol. 2, cap. 2, tablas 2.12-2.14.

En el caso de los FE de CO<sub>2</sub> propios del país que corresponden a una metodología Tier 2, los rangos de incertidumbre son los estimados por el INECC-IMP (2014). La incertidumbre promedio anual se estimó en  $\pm 39\%$ , y la serie se considera coherente en el tiempo al emplearse la misma metodología y completa al tener una cobertura geográfica estatal (ver Figura 16).

Figura 16. Incertidumbre en la categoría 1A4



Fuente: Elaboración propia

## 1A4.6. QA/QC de la categoría y verificación

Esta categoría sigue los principios generales de QA/QC incluidos en la Introducción.

## 1A4.7. Mejoras previstas específicas de cada categoría

- Elaborar estudios y bases de datos para determinar un valor más preciso en el uso de leña en el sector residencial.
- Elaborar una base de datos que concentre el uso de combustibles en el sector residencial y agropecuario.

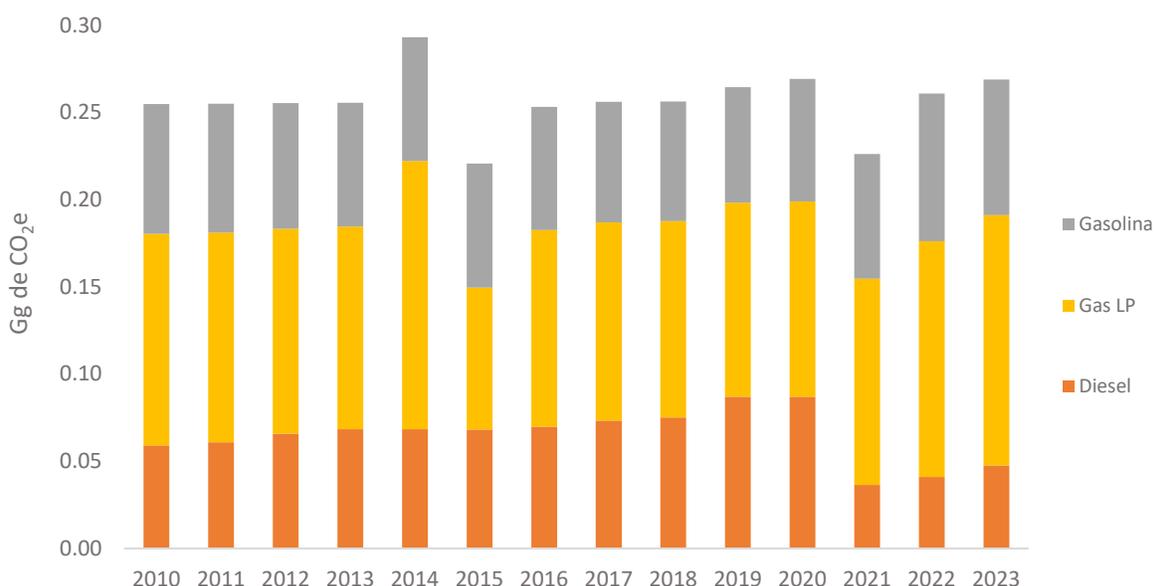
## 1A5. No especificado

### 1A5.1. Descripción de la categoría

Esta categoría incluye las emisiones de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O procedentes de la combustión de combustibles fósiles para el aprovechamiento energético en las actividades relacionadas con el manejo de residuos sólidos y líquidos, una industria incipiente en el estado de Yucatán cuyas actividades no están clasificadas propiamente en el sector [1] Energía del IPCC, por lo que se asignan a la categoría [1A5] No especificado.

Las emisiones de GEI asociadas a [1A5] en 202 contabilizaron en 0.27 Gg CO<sub>2</sub>e. La evolución de las emisiones a lo largo del periodo se muestra en la Figura 17, las cuales presentan una tasa de crecimiento estimada en 0.41% con respecto al año 2010. Dada su pequeña contribución y su actividad incipiente, dentro del subsector [1A] es la categoría con la menor contribución.

Figura 17. Emisiones de la categoría [1A5] por tipo de combustible (Gg CO<sub>2</sub>e)



Fuente: Elaboración propia con información de la SEMARNAT, SRNMA y SIE

### 1A5.2. Metodología

La metodología usada es la de las Directrices del IPCC. Se ha usado un enfoque metodológico de Tier 2 para la estimación de las emisiones de CO<sub>2</sub>, mientras que la estimación de las emisiones de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O se calculó mediante nivel Tier 1, siguiendo el árbol de decisión de la Figura 2 del cap. 2, vol. 2 de las Directrices del IPCC (2006b).

### 1A5.2. Datos de actividad (DA)

Los DA para esta categoría se centran en el consumo de combustibles empleados en las actividades de manejo de residuos provenientes de estimaciones hechas con información de las Cédulas de Operación Anual (COA) de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales

Combustible	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Diesel	810	833	900	936	936	934	956	1,004	1,028	1,191	1,190	499	562	652
Gas LP	1,861	1,847	1,806	1,785	2,362	1,249	1,733	1,744	1,729	1,708	1,720	1,817	2,075	2,203
Gasolina	1,007	998	973	959	959	960	952	934	925	894	948	965	1,144	1,051

Fuente: Elaboración propia con información de SEMARNAT y SDS

### 1A5.3. Factores de emisión (FE)

El FE de CO<sub>2</sub> fue tomado del informe técnico INECC/A1-008/201, realizado por el Instituto Mexicano del Petróleo (INECC-IMP, 2014). Para los FE de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O se consideraron los valores por defecto de las Directrices del IPCC (2006b), tabla 2.4, vol. 2, cap. 2. En la Tabla 17 se recogen los valores de los FE específicos para nuestro país.

Tabla 17. Factores de emisión de CO<sub>2</sub> empleados en la categoría [1A5] (kg/TJ)

Combustible	FE de CO <sub>2</sub>
Gas natural	57,755
Gas LP	65,083
Diesel	72,851
Gasolinas y naftas	73,791
Fracción inorgánica de RS	91,700

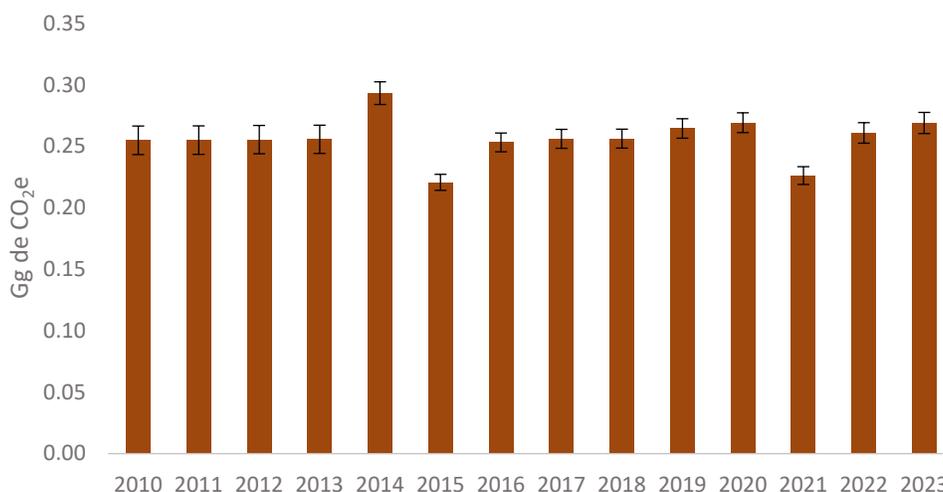
Fuente: INECC-IMP, 2014

### 1A5.4. Incertidumbres y coherencia de las series temporales

Se calculó la incertidumbre mediante el “Método 1: Propagación del error”, del cap. 4 de las Directrices del IPCC por categorías, tendencias y GEI, entre el año base (2010) y el último año de reporte (2022). La incertidumbre de los FE proviene de las Directrices del IPCC (2006b), vol. 2, cap. 2, tablas 2.12-2.14. En el caso de los FE de CO<sub>2</sub> son los propios del país que corresponden a una metodología Tier 2, los rangos de incertidumbre son los estimados por el INECC-IMP (2014).

La incertidumbre de los DA de [1A5] se estimó en un promedio de ±3.48% (ver Figura 18.). La serie se considera coherente en el tiempo al emplearse la misma metodología y completa al tener una cobertura geográfica estatal.

Figura 18. Incertidumbre en la categoría 1A5



Fuente: Elaboración propia

### 1A5.5. QA/QC de la categoría y verificación

Esta categoría sigue los principios generales de QA/QC incluidos en la Introducción.

### 1A5.6. Mejoras previstas específicas de cada categoría

Se plantean las siguientes mejoras:

- Elaborar estudios y bases de datos para determinar con más precisión las actividades del sector de manejo de residuos en el estado.

## 1B. Emisiones fugitivas provenientes de la fabricación de combustibles

### 1B1. Combustibles sólidos

El subsector [1B] Emisiones fugitivas provenientes de la fabricación de combustibles registra todas las emisiones fugitivas del sector [1] Energía, es decir, los procesos de quemas controladas, los desfuegos programados y de emergencia y las fugas propiamente dichas derivadas del manejo de los combustibles que son inevitables en los procesos, en los equipos y en las maquinarias utilizadas tanto durante la extracción y fabricación de los combustibles como durante su transporte, almacenamiento y distribución final (esto último es el caso para el estado de Yucatán).

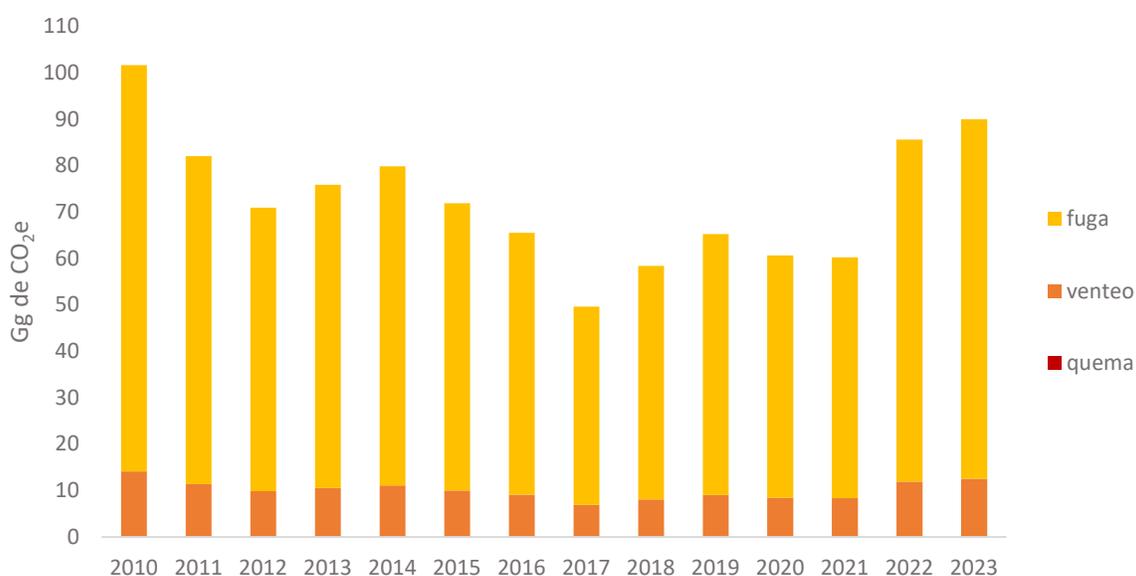
Para la categoría [1B1] Combustibles sólidos, que incluye a su vez tres subcategorías [1B1a] Minería carbonífera y manejo del carbón, a [1B1b] Combustión no controlada y vertederos para la quema de carbón y a [1B1c] Transformación de combustibles sólidos), no se encontró registro o evidencia de actividad manifiesta durante el periodo de análisis 2010-2023 en el estado de Yucatán al no haberse encontrado cifras oficiales de producción de carbón, reportes de minas de carbón en activo, vertederos de quema de carbón o industrias de destilación de hulla en funcionamiento.

## 1B2. Petróleo y gas natural

La categoría [1B2] Petróleo y gas natural, compuesta por las subcategorías [1B2a] Petróleo y [1B2b] Gas natural, para el caso de Yucatán contabiliza únicamente las emisiones fugitivas que se derivan de los procesos de transporte y distribución disponibles (tales como ductos); así las emisiones debidas al almacenamiento tanto en las TAR<sup>2</sup> como dentro de las instalaciones industriales. Lo anterior debido a que no se registraron actividades de extracción, refinación o procesamiento de estos recursos fósiles o sus derivados en el estado durante el periodo de análisis.

Las emisiones de la categoría [1B2] sumaron un total de 85.6 Gg CO<sub>2</sub>e en 2022<sup>3</sup>, con una tendencia a la baja al presentar una TMCA de -1.4% respecto a 2010. Las emisiones correspondientes al gas natural representaron más del 99.9% del total de [1B2]. Analizado por tipo de actividad, en 2022 las emisiones por la distribución de gas natural fueron los 48% del total, seguidas por el transporte y almacenamiento del mismo gas que representó el 35%. Por último, las emisiones por tipo revelan que, en 2022, el 86% del total correspondió a fugas y el 14% a venteos, mientras que las de quema son prácticamente inexistentes (ver la Figura 19).

Figura 19. Emisiones de la categoría [1B2] por tipo de emisión (Gg CO<sub>2</sub>e)



Fuente: Elaboración propia con información de SEMARNAT, CRE y SIE

<sup>2</sup> Terminales de Almacenamiento y Reparto ya sean públicas o privadas.

<sup>3</sup> Al igual que en el caso del subsector [1A], la información disponible para el año 2023 es preliminar, por lo que se utilizará la información de 2022 como referencia.

## 1B2.1. Metodología

La metodología aplicada proviene de las Directrices del IPCC. Se han usado diferentes enfoques metodológicos (nivel 1 o Tier 1 y nivel 2 o Tier 2) de acuerdo con la disponibilidad de información y el peso de las emisiones de cada actividad siguiendo el árbol de decisión que se muestran en la Figura 4.2.1 “Árbol de decisión para sistemas de petróleo y gas natural”, del capítulo 4, vol. 2 de las directrices del IPCC (2006b).

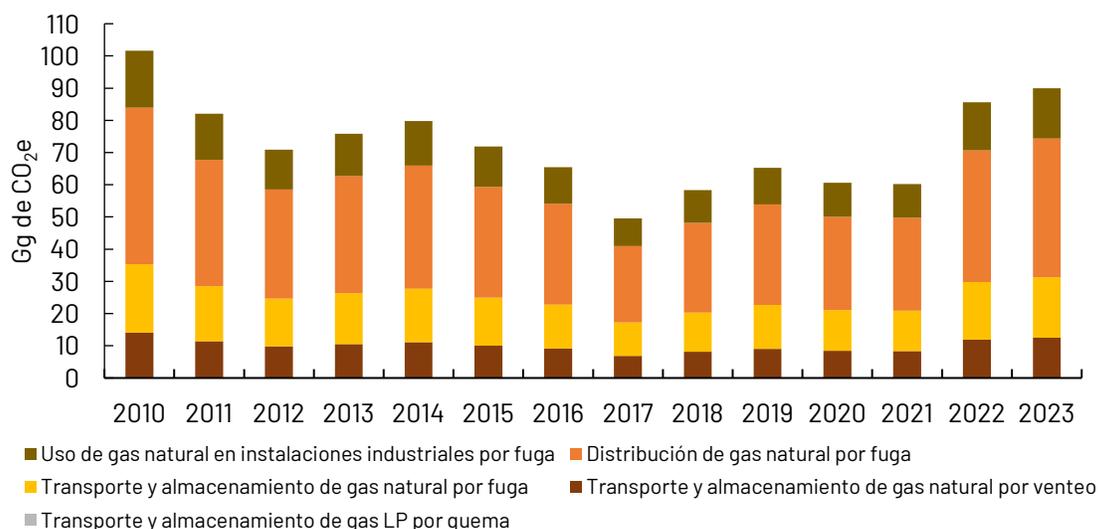
Se empleó un método Tier 2 para las emisiones de CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub> al utilizar FE propios del país (no hubo emisiones por quema o por N<sub>2</sub>O). Para el cálculo de las emisiones se utilizó la ecuación 4.2.1, vol. 2, cap. 4 de las Directrices del IPCC (2006b).

## 1B2.2. Datos de actividad (DA)

Los datos de actividad son paramétricos, es decir, corresponden en forma proporcional con el volumen de los combustibles tanto de gas natural como de gas LP reportados en los procesos de las categorías [1A1] Industrias de la energía, [1A2] Industrias manufactureras y de la construcción, [1A4] Otros sectores y [1A5] No especificados del estado de Yucatán. Lo anterior se debe a que no existen reportes específicos de emisiones fugitivas que se registren en campo y contra lo cual se pueda verificar un cambio en las emisiones por mejoras en los procesos a través de tiempo con independencia del consumo.

De esta manera, las fuentes de información consultadas para esta categoría son las mismas que las reportadas en el subsector [1A], es decir, las Cédulas de Operación Anual (COA) federales de SEMARNAT, las COA estatales de la Secretaría de Desarrollo Sustentable de Yucatán (SDS), y el Sistema de Información Energética (SIE) de SENER, con apoyo del Producto Interno Bruto Estatal por actividad económica del estado de Yucatán (INEGI, 2022a). Como se ve en la Figura 20, las mayores emisiones corresponden a la actividad de distribución de gas natural.

Figura 20. Emisiones de la categoría [1B2] por actividades (Gg CO<sub>2</sub>e)



Fuente: Elaboración propia con información de SEMARNAT, CRE y SIE

### 1B2.3. Factores de emisión (FE)

Los FE para CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O son los reportados en el documento de Determinación de factores de emisión para emisiones fugitivas de la industria petrolera en México (INECC, 2012), que son factores de emisión determinados como propios o adecuados para nuestro país (Tier 2). Para algunas actividades o procesos, sin embargo, se consideraron los valores por defecto de las Directrices del IPCC (2006b), sección 4.2.2.3, vol. 2, cap. 4. En la Tabla 18 se recogen los valores de los FE específicos de México.

Tabla 18. Factores de emisión de CO<sub>2</sub> empleados en la categoría [1B2] (Gg CO<sub>2</sub>/MMm<sup>3</sup>)

Proceso	Tipo	FE de CO <sub>2</sub>
Transporte y almacenamiento de gas LP	Quema	2.72E-00
Transporte gas natural	Venteo	3.10E-06
Transporte gas natural	Fuga	8.80E-07
Distribución gas natural	Fuga	2.68E-05

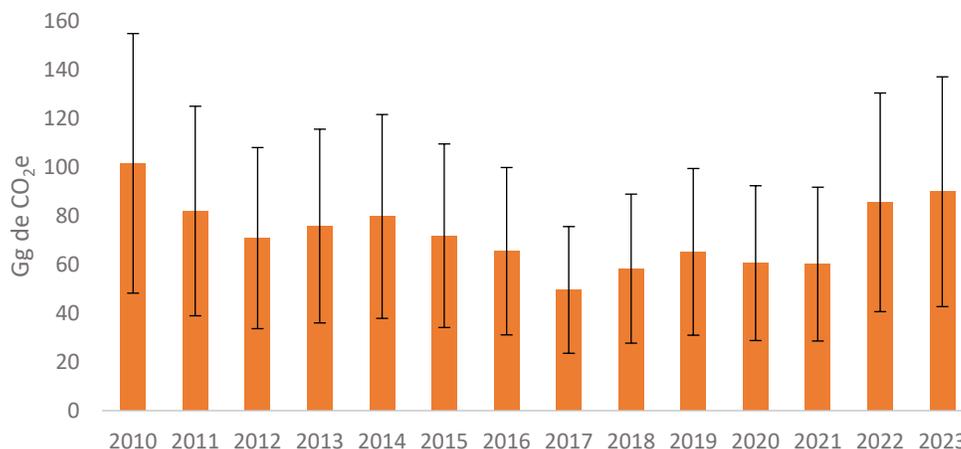
Fuente: INECC, 2012

### 1B2.4. Incertidumbres y coherencia de las series temporales

Se calculó la incertidumbre mediante el Método 1: Propagación del error, cap. 4 de las Directrices del IPCC por categorías, tendencias y GEI, entre el año base (1990) y el último año de reporte (2019).

La incertidumbre de los FE proviene de los valores del estudio del INECC (2012) y los parámetros de incertidumbre de los datos de actividad son valores por defecto de las Directrices del IPCC (2006b), sección 4.2.2.7.2 capítulo 4, vol. 2. La incertidumbre de la categoría [1B2] se estimó en ±52.48% promedio anual. La serie se considera coherente en el tiempo al emplearse la misma metodología, así como completa al tener una cobertura geográfica estatal. En la Figura 21 se muestra la incertidumbre.

Figura 21. Incertidumbre en la categoría 1B2



Fuente: Elaboración propia

## **1B2.5. QA/QC de la categoría y verificación**

Esta categoría sigue los principios generales de QA/QC incluidos en la Introducción y en las Directrices del IPCC (2006b), sección 4.2.3 capítulo 4, vol. 2.

## **1B2.6. Mejoras previstas**

Se plantean las siguientes mejoras:

- Determinar las emisiones fugitivas específicas del estado de Yucatán mediante un inventario especializado que sea congruente con las actividades de manejo y almacenamiento de combustibles medidas en campo.

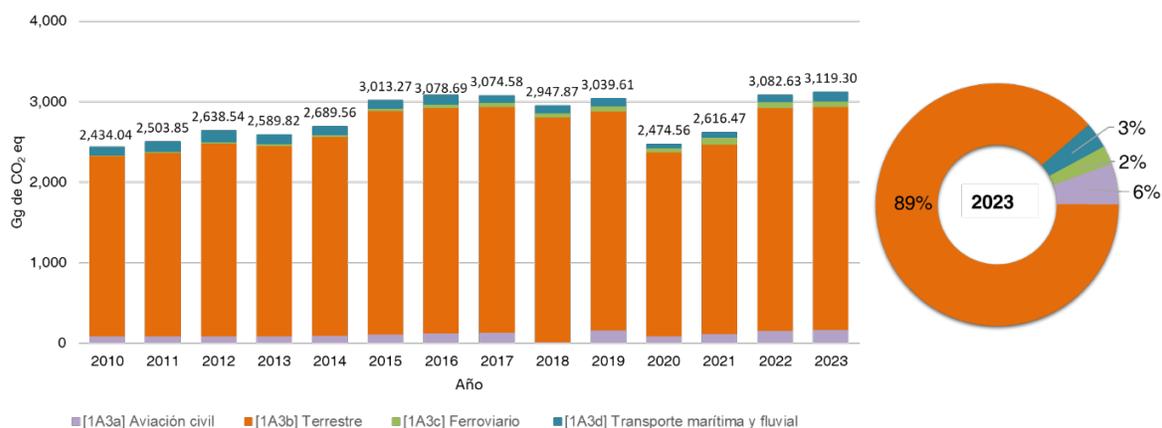
## **1A3. Transporte**

En esta categoría se incluyen las emisiones de GEI procedentes de la quema de combustibles fósiles utilizados en las actividades de transporte aéreo, terrestre y ferroviario. En este sector se estiman emisiones de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O, estando las primeras íntimamente relacionadas con la cantidad y tipo de combustible empleado, mientras que las emisiones de metano y óxido nitroso están, además, altamente influenciadas por el tipo de tecnología empleada en los diferentes medios de transporte.

Las emisiones de GEI debidas al transporte (categoría [1A3]) son las de mayor contribución al sector Energía, contabilizaron 2,434.04 Gg CO<sub>2</sub>e en 2010 y para 2023 contabilizaron 3,119.30 Gg CO<sub>2</sub>e, lo que representa un incremento con una TMCA de 1.93% en el periodo. La evolución de las emisiones a lo largo del periodo se muestra en la Figura 22, distinguiendo la categoría [1A3b] de transporte terrestre como la de mayor contribución durante todos los años del periodo inventariado, principalmente por el consumo de gasolina, siendo este tipo de combustible el más utilizado en la flota vehicular del Estado.

La fuente transporte terrestre [1A3b], aviación civil [1A3a] y Navegación marítima y fluvial [1A3d], se clasifican por su contribución al inventario como categoría clave (véase Anexo 1 Categorías Clave).

Figura 22. Emisiones del sector transporte [1A3], GgCO2e



Fuente: Elaboración propia.

Las emisiones de GEI obtenidas por tipo de combustible para el transporte terrestre se muestran en la Tabla 19.

Tabla 19. Emisiones de GEI por tipo de combustible para el transporte terrestre en Yucatán

Combustible	CO <sub>2</sub> (Gg)	CH <sub>4</sub> (Gg)	N <sub>2</sub> O (Gg)	CH <sub>4</sub> (Gg CO <sub>2</sub> eq)	N <sub>2</sub> O (Gg CO <sub>2</sub> eq)	CO <sub>2</sub> (GgCO <sub>2</sub> eq)
Gasolinas	2,030.79	0.43	0.43	11.99	114.28	2,157.05
Diesel	598.08	1.40E-03	1.41E-03	0.04	0.37	598.49
Gas LP	7.70	0.01	0.00	0.20	0.01	7.91
Total	2636.56	0.4369	0.4327	12.23	114.66	2,763.45

Fuente: Elaboración con MOVES México

Las emisiones obtenidas de CO<sub>2</sub>e por medio de la modelación son 1.45% mayores que las obtenidas con los consumos de combustibles (metodología del Nivel 1). En la Tabla 20, se muestra el desglose de las emisiones por tipo de vehículo y combustible.

Tabla 20. Emisiones de GEI por tipo de vehículo y combustibles en Yucatán

Tipo de Vehículo	Combustible	CO <sub>2</sub> (Gg)	CH <sub>4</sub> (Gg)	N <sub>2</sub> O (Gg)	CH <sub>4</sub> (Gg CO <sub>2</sub> eq)	N <sub>2</sub> O (Gg CO <sub>2</sub> eq)	CO <sub>2</sub> (GgCO <sub>2</sub> eq)
Motocicletas	Gasolina	506.72	0.07	7.04E-03	1.87	1.86	510.45
Autos particulares	Gasolina	768.50	0.22	0.18	6.08	48.44	823.01
	Diesel	1.13	1.56E-05	2.45E-06	4.37E-04	6.48E-04	1.13
Taxis	Gasolina	41.75	6.58E-03	3.58E-03	0.18	0.95	42.88
	Diesel	0.10	7.69E-07	1.50E-07	2.15E-05	3.98E-05	0.10
Camionetas de pasajeros (Combis / vagonetas)	Gasolina	216.73	0.04	0.10	1.20	25.39	243.32
	Diesel	12.31	6.16E-05	7.15E-05	1.72E-03	0.02	12.33
Transporte público ligero (Combis / vagonetas)	Gasolina	19.45	1.97E-03	2.94E-03	0.06	0.78	20.28
	Diesel	2.27	1.19E-05	9.29E-06	3.34E-04	2.46E-03	2.27

Tipo de Vehículo	Combustible	CO <sub>2</sub> (Gg)	CH <sub>4</sub> (Gg)	N <sub>2</sub> O (Gg)	CH <sub>4</sub> (Gg CO <sub>2</sub> eq)	N <sub>2</sub> O (Gg CO <sub>2</sub> eq)	CO <sub>2</sub> (GgCO <sub>2</sub> eq)
Pick Up	Gasolina	362.06	0.07	0.12	1.90	31.51	395.47
	Diesel	10.30	6.22E-05	5.19E-05	1.74E-03	0.01	10.31
Vehículos ≤ 3.8 t.	Gasolina	75.48	0.01	0.02	0.32	4.02	79.82
	Diesel	54.85	2.26E-04	2.14E-04	6.34E-03	0.06	54.91
Microbuses / Minibuses	Gasolina	1.02	1.11E-04	1.43E-04	3.11E-03	0.04	1.07
	Diesel	0.40	1.60E-06	1.42E-06	4.48E-05	3.76E-04	0.40
Autobuses urbanos	Gasolina	1.66	4.58E-04	5.86E-05	0.01	0.02	1.69
	Diesel	87.87	2.17E-04	1.86E-04	0.01	0.05	87.92
Autobuses particulares	Gasolina	0.74	2.14E-04	2.91E-05	0.01	0.01	0.76
	Diesel	29.18	4.94E-05	6.25E-05	0.00	0.02	29.20
Autobuses federales	Diesel	18.99	4.16E-05	4.03E-05	1.16E-03	0.01	19.01
Vehículos > 3.8 t. locales	Gasolina	32.17	0.01	4.51E-03	0.34	1.20	33.71
	Diesel	97.46	2.70E-04	3.03E-04	0.01	0.08	97.55
Vehículos > 3.8 t. federales	Gasolina	4.09	8.92E-04	2.18E-04	0.02	0.06	4.17
	Diesel	31.80	9.84E-05	8.81E-05	2.75E-03	0.02	31.83
Tractocamiones locales	Gasolina	0.42	1.11E-04	1.83E-05	3.11E-03	4.85E-03	0.43
	Diesel	42.61	6.61E-05	7.46E-05	1.85E-03	0.02	42.63
Tractocamiones federales	Diesel	208.81	2.78E-04	3.07E-04	0.01	0.08	208.90
Otros vehículos a gas L.P. <sup>1</sup>		7.70	0.01	0.00	0.20	0.01	7.91
<b>Total</b>		<b>2636.56</b>	<b>0.4369</b>	<b>0.4327</b>	<b>12.23</b>	<b>114.66</b>	<b>2,763.45</b>

Elaboración con MOVES México

En la Tabla 21 y Tabla 22, se desglosan las emisiones de acuerdo a los códigos de las Directrices del IPCC de 2006, en las que se agrupa los tipos de vehículos de autos particulares, taxis y camionetas de pasajeros como 1A3bi; los tipos de vehículos de pick up y vehículos menores a 3.8 ton como 1A3bii; los tipos de vehículos mayores a 3.8 toneladas, tractocamiones, microbuses y autobuses como 1A3biii y las motocicletas como 1A3biv.

Tabla 21. Emisiones de gases de efecto invernadero por subcategoría 1A3b

Código IPCC	Subcategoría	CO <sub>2</sub> (Gg)	CH <sub>4</sub> (Gg)	N <sub>2</sub> O (Gg)	CH <sub>4</sub> (Gg CO <sub>2</sub> eq)	N <sub>2</sub> O (Gg CO <sub>2</sub> eq)	CO <sub>2</sub> (GgCO <sub>2</sub> eq)
1A3b	Transporte terrestre	2636.56	0.4369	0.4327	12.23	114.66	2,763.45
1A3bi	Automóviles	1,062.23	0.27	0.29	7.53	75.58	1,145.33
1A3bii	Camiones para servicio ligero	502.69	0.08	0.13	2.22	35.61	540.52
1A3biii	Camiones para servicio pesado y autobuses	557.24	0.01	0.01	0.42	1.60	559.26
1A3biv	Motocicletas	506.72	0.07	0.01	1.87	1.86	510.45
	Otros vehículos a gas L.P. <sup>1</sup>	7.70	0.01	0.00	0.20	0.01	7.91

<sup>1</sup>Emisiones de gas L.P. calculadas con Nivel 1. MOVES México 2014a modela emisiones provenientes de vehículos a gasolina y diesel.

Fuente: Gasolinas y diesel con MOVES México y gas LP con datos de Nivel 1

Tabla 22. Emisiones GEI por tipo de combustible y por subcategoría 1A3b

Código IPCC	Subcategoría	Combustible	CO <sub>2</sub> (Gg)	CH <sub>4</sub> (Gg)	N <sub>2</sub> O (Gg)	CH <sub>4</sub> (Gg CO <sub>2</sub> eq))	N <sub>2</sub> O (Gg CO <sub>2</sub> eq))	CO <sub>2</sub> (GgCO <sub>2</sub> eq)
1A3b	Transporte terrestre	Gasolina	2,030.79	0.43	0.43	11.99	114.28	2,157.05
		Diesel	598.08	0.00	0.00	0.04	0.37	598.49
		Gas L.P. <sup>1</sup>	7.70	0.01	0.00	0.20	0.01	7.91
1A3bi	Automóviles	Gasolina	1,046.42	0.27	0.29	7.52	75.56	1,129.50
		Diesel	15.81	0.00	0.00	0.00	0.02	15.83
1A3bii	Camiones para servicio ligero	Gasolina	437.54	0.08	0.13	2.21	35.54	475.29
		Diesel	65.15	0.00	0.00	0.01	0.07	65.23
1A3biii	Camiones para servicio pesado y autobuses	Gasolina	40.11	0.01	0.00	0.39	1.32	41.82
		Diesel	517.13	0.00	0.00	0.03	0.28	517.44
1A3biv	Motocicletas	Gasolina	506.72	0.07	0.01	1.87	1.86	510.45

<sup>1</sup>Emisiones de gas L.P. calculadas con Nivel 1. MOVES México 2014a modela emisiones provenientes de vehículos a gasolina y diesel.

Fuente: Gasolinas y diesel con MOVES México y gas LP con datos de Nivel 1

## 1A3b.2. Metodología

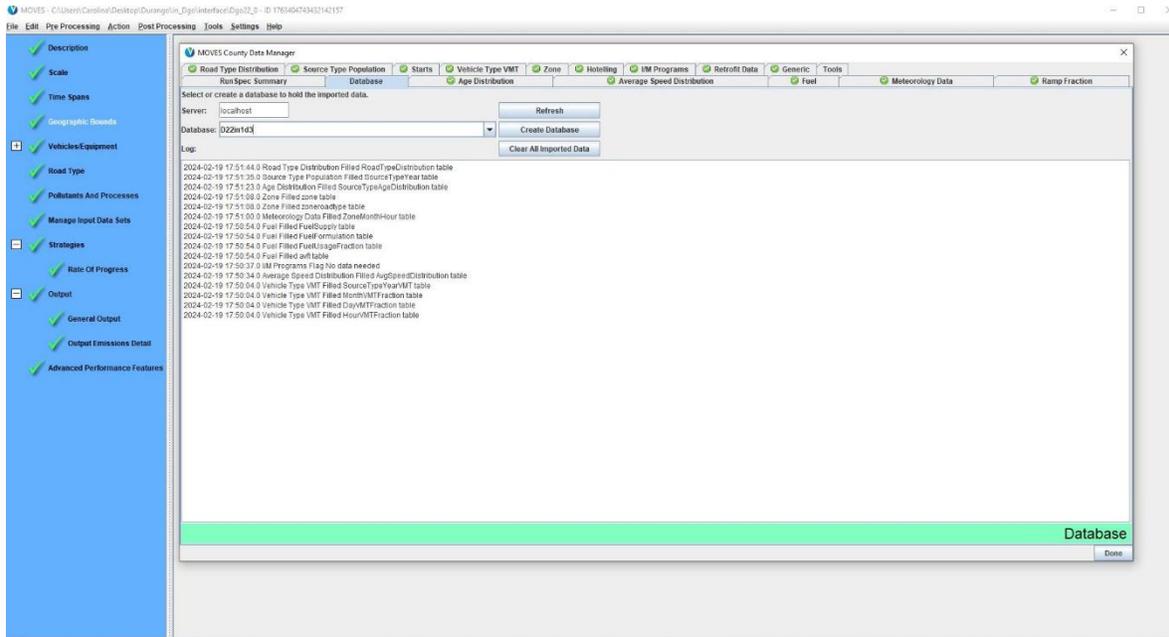
Proviene de las Directrices (IPCC, 2006b). El enfoque metodológico usado para estimar las emisiones de CO<sub>2</sub> para aviación civil, transporte terrestre, transporte marítimo y transporte ferroviario fue el nivel 2, de acuerdo con las Figuras 3.6.1, 3.2.2, 3.4.1 y 3.5.1 del cap. 3, vol. 2 de las Directrices (IPCC, 2006b). La estimación de las emisiones de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O se realizó mediante la aplicación del enfoque nivel 1, siguiendo los árboles de decisión de la Figura 3.6.1 para aviación civil, la Figura 3.2.3 para el transporte terrestre, la Figura 3.5.1 para el transporte marítimo y la Figura 3.4.2 para el transporte ferroviario, del cap. 3, vol. 2 de las Directrices (IPCC, 2006b).

Adicionalmente, las emisiones generadas por los vehículos a gasolina y diesel en circulación del año base 2023 se calcularon con el software MOVES-México, adaptación del Simulador de Vehículos de Motor (MOVES, por sus siglas en inglés) de la EPA (Agencia de Protección Ambiental, siglas en inglés) de Estados Unidos, basado en el MOVES2014a.

Los archivos de entrada que alimentan el modelo, ver Figura 23, contienen información específica del padrón vehicular tal como la composición de la flota por tipo de combustible, tipo de vehículo y antigüedad vehicular, así como la actividad vehicular de la flota (kilómetros recorridos y velocidad vehicular), las características de los combustibles y datos meteorológicos (presión barométrica, humedad relativa y temperatura). Además, se seleccionó la estrategia de calcular la tasa de progreso de emisiones con "No Clean Air Act Amendments".

Se realizaron corridas de tipo de cálculo de Inventario y se solicitaron los contaminantes de CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub>, PM<sub>2.5</sub> y Carbono Negro.

Figura 23. Ejemplo de Información de entrada en el modelo MOVES-México



### 1A3b.3. Datos de actividad (DA)

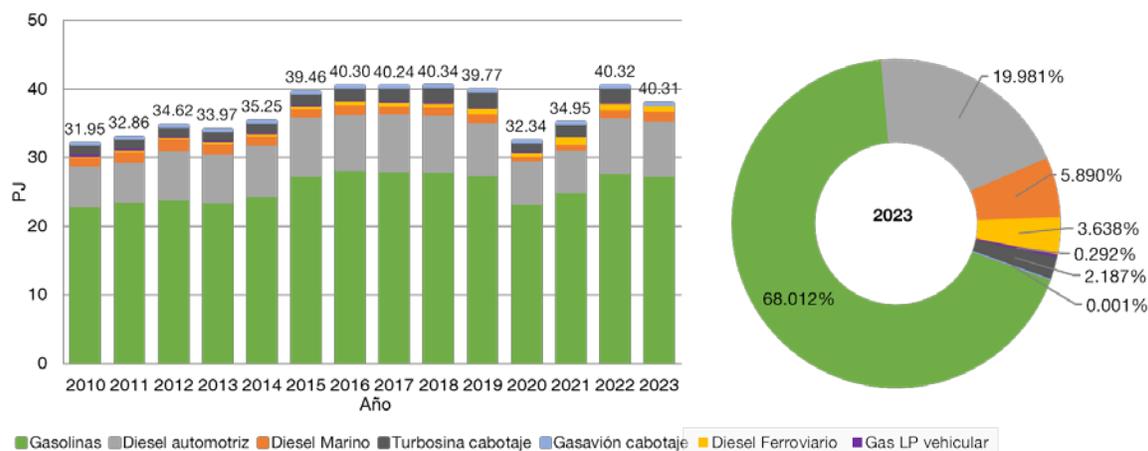
Para esta categoría los DA se centran en el consumo de combustibles en los distintos modos de transporte del Estado (transporte por carretera, aéreo y ferroviario), obtenidos del Sistema de Información Energética (SIE), la Comisión Reguladora de Energía (CRE), Aeropuertos y Servicios Auxiliares (ASA), la Figura 24 y la Tabla 23, muestran el consumo de combustibles en el sector transporte para cada año del periodo inventariado y la evolución relativa.

En el ámbito de la aviación civil, los datos sobre el consumo de combustibles, como la turbosina y el gasavión, y los datos de tipo de operaciones se obtuvieron de diferentes fuentes a lo largo de los años. Desde 2010 hasta 2021, los datos fueron proporcionados por ASA a través de su página web oficial. Mientras que de acuerdo a los pasajeros transportados según lo informado en las estadísticas históricas operativas presentadas por la Secretaría de Comunicaciones y Transporte (SCT). Sin embargo, para el cálculo de los años 2022 y 2023, se utilizó la información de litros y servicios por venta de combustibles por estación de combustibles acumulado.

Los datos de consumo de gas LP en el autotransporte del 2016 al 2023 son proporcionados por la CRE (Comisión Reguladora de Energía), mientras que del 2010 al 2015 es con información del SIE (Sistema de Información Energética).

Los datos de consumo de diésel ferroviario y de diésel marítimo del 2010 al 2023, se obtuvieron directamente de la página información de las ventas de diésel marítimo y ferroviario en el estado, información del SIE (Sistema de Información Energética).

Figura 24. Consumo de combustibles del sector transporte [1A3], PJ



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 23. Consumo de combustibles por modo de transporte

Año	[1A3a] Aviación civil, PJ		[1A3b] Transporte terrestre, PJ			[1A3a] Ferroviario, PJ	[1A3a] Marítimo, PJ
	Turbosina	Gasavión	Gasolinas	Diesel automotriz	Gas LP	Diesel	Diesel
2010	1.24	1.20E-04	23.03	5.92	0.38	0.15	1.24
2011	1.25	3.00E-04	23.68	5.84	0.32	0.20	1.58
2012	1.26	1.30E-04	24.03	7.12	0.20	0.21	1.81
2013	1.25	3.00E-04	23.55	7.18	0.25	0.24	1.50
2014	1.38	2.90E-04	24.53	7.43	0.25	0.33	1.33
2015	1.56	3.10E-04	27.42	8.67	0.20	0.38	1.22
2016	1.79	1.80E-04	28.26	8.17	0.14	0.50	1.45
2017	1.86	1.60E-04	28.17	8.37	0.16	0.55	1.14
2018	2.08	3.20E-04	28.09	8.25	0.13	0.59	1.21
2019	2.30	4.40E-04	27.50	7.83	0.09	0.86	1.19
2020	1.30	2.00E-04	23.43	6.24	0.08	0.66	0.63
2021	1.70	2.40E-04	25.05	6.25	0.08	1.09	0.78
2022	2.14	3.70E-04	27.89	8.16	0.10	0.96	1.07
2023	2.37	3.90E-04	27.42	8.05	0.12	0.88	1.47

Fuente: Elaboración propia.

En el transporte terrestre, el consumo de gasolinas (regular y premium) y diésel del 2010 al 2014 son datos proporcionados por PEMEX Refinación, y de los años 2015 al 2023 fueron proporcionados por la CRE, por lo cual, en estos últimos años se realizaron ajustes con información del Balance Nacional de Energía y la Oferta Nacional, obtenidas del Sistema de Información Energética.

La tendencia del consumo de combustible está marcada principalmente por el consumo de gasolinas en el transporte terrestre; en el ámbito de la aviación civil, se ha registrado un aumento en el consumo de gasavión. En comparación con el año 2010, el consumo de gasavión en 2023 experimentó un crecimiento anual del 1.11 % y para turbosina de 5.11 %, mientras que de transporte terrestre las gasolinas tuvieron un crecimiento de 1.55%, diésel de 2.29% y de gas L.P. de -8.57%. Para el caso del transporte ferroviario se observa un aumento en el uso de combustible presentando una tasa de crecimiento anual de 14.78 %, mientras que el diésel marino tuvo 1.28%.

### 1A3b.4. Padrón vehicular

Los datos del parque vehicular del Estado de Yucatán se obtuvieron del padrón vehicular del Estado, información proporcionada por el gobierno del Estado. Se realizó la depuración de la información del padrón vehicular: se omitieron remolques, años modelo inválidos y vehículos de otros combustibles diferentes a gasolina o diesel. Para el cálculo de la flota vehicular al 2023, como los totales del padrón vehicular obtenido del año 2018 coinciden con la información del INEGI de vehículos de motor registrados en circulación del mismo año, se realizó un ajuste para el año 2023 con la información histórica del INEGI de la entidad federativa, ver Tabla 24. Debido a que a la fecha de la realización del proyecto en el INEGI no había datos del año 2023, se realizó el ajuste con los datos nacionales, estimándose un parque vehicular de 1,049,970 vehículos.

Tabla 24. Vehículos de motor registrados en circulación en Yucatán, miles de vehículos

Año	Automóviles, miles de vehículos		Camiones para pasajeros, miles de vehículos		Camiones y camionetas para carga, miles de vehículos		Motocicletas, miles de vehículos	Total, miles de vehículos
	Particulares y oficiales	Públicos	Particulares y oficiales	Públicos	Particulares y oficiales	Públicos		
2010	317.78	5.47	0.50	2.02	100.69	2.65	84.68	513.79
2011	335.22	5.63	0.52	2.00	104.12	2.64	96.35	546.48
2012	353.67	5.95	0.53	2.03	107.88	2.61	103.18	575.85
2013	371.25	6.04	0.55	2.03	111.16	2.58	111.96	605.56
2014	390.26	6.06	0.57	2.03	115.00	2.57	121.77	638.25
2015	411.30	6.08	0.59	2.04	118.84	2.54	132.97	674.37
2016	444.03	6.04	0.62	2.08	123.90	2.52	143.53	722.72
2017	469.91	6.01	0.65	2.13	127.61	2.47	162.11	770.88
2018	501.00	7.17	0.67	2.21	131.47	2.46	177.92	822.90
2019	532.94	7.08	0.70	2.20	135.53	2.46	192.23	873.13
2020	548.50	6.92	0.72	2.19	138.53	2.45	203.47	902.78
2021	565.72	6.59	0.76	2.20	141.49	2.44	223.59	942.78
2022	587.51	6.36	0.82	2.18	146.04	2.42	249.32	994.66
2023	610.30	6.13	0.89	2.15	150.72	2.40	277.38	1,049.97

Fuente: INEGI.

La homogeneización del padrón vehicular se realizó con los tipos de vehículos de acuerdo a la clasificación necesaria para MOVES México, se realizó un análisis del padrón estatal vehicular

considerándose las categorías de clase, uso, tipo, marca y submarca de cada vehículo registrado.

Cabe señalar que se realizaron tres corridas en el modelador MOVES para obtener las emisiones de todos los tipos de vehículos considerados. Ver Tabla 25.

Se incluyeron los vehículos federales que transitan por el Estado, con información de la Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transporte.

Tabla 25. Homologación de tipos de vehículos con la clasificación del MOVES.

Identificador MOVES	Nombre MOVES	Tipo de Vehículo	Padrón de origen	Número de corrida
11	Motorcycle	Motocicletas	Padrón Estatal Vehicular	1 de 3
21	Passenger Car	Autos particulares	Padrón Estatal Vehicular	1 de 3
21	Passenger Car	Taxis	Padrón Estatal Vehicular	2 de 3
31	Passenger Truck	Camionetas de pasajeros (Combi / vagonetas)	Padrón Estatal Vehicular	1 de 3
31	Passenger Truck	Transporte público ligero (Combi / vagonetas)	Padrón Estatal Vehicular	2 de 3
32	Light Commercial Truck	Pick Up	Padrón Estatal Vehicular	1 de 3
32	Light Commercial Truck	Vehículos ≤ 3.8 t.	Padrón Estatal Vehicular	2 de 3
32	Light Commercial Truck	Microbuses / Minibuses	Padrón Estatal Vehicular	3 de 3
42	Transit Bus	Autobuses urbanos	Padrón Estatal Vehicular	1 de 3
42	Transit Bus	Autobuses particulares	Padrón Estatal Vehicular	3 de 3
52	Single Unit Short-haul Truck	Vehículos > 3.8 t. locales	Padrón Estatal Vehicular	1 de 3
61	Combination Short-haul Truck	Tractocamiones locales	Padrón Estatal Vehicular	1 de 3

Elaboración propia

### 1A3b.5. Actividad Vehicular

Los kilómetros recorridos por tipo de vehículo (KRV) se ajustaron con base en los KRV de MOVES México en la corrida default nacional y default del Estado de Yucatán (Tabla 26).

Tabla 26. Promedio estatal de los kilómetros recorridos al año por tipo de vehículo.

Tipo de vehículo	KRV promedio
Motocicleta	28,800
Auto particular	12,000
Taxi	73,000
Camionetas de pasajeros (Combi / vagoneta)	17,100
Transporte público ligero (Combi / vagoneta)	39,300

Tipo de vehículo	KRV promedio
Pick Up	14,300
Vehículo ≤ 3.8 t.	14,300
Microbús / Minibús	39,300
Autobús	46,700
Vehículo > 3.8 t.	27,900
Tractocamión	65,900

Elaboración con información de MOVES México

El software del modelo requiere ser alimentado con la velocidad promedio por tipo de vehículo, tipo de vialidad y hora del día; por lo que fue necesario el archivo de entrada por default de MOVES México.

La información específica de distribución de actividad vehicular por hora, día y mes fue obtenida a partir de los archivos default de MOVES México.

La distribución vehicular por tipo de camino se realizó con base en el análisis de los datos viales de la Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes, que contiene información de los volúmenes de tránsito de la red nacional de carreteras pavimentadas por entidad federativa, en este caso de Yucatán. Ver Tabla 27.

Tabla 27. Distribución vehicular por tipo de camino

Tipo de vehículo	Tipo de vialidad		
	Acceso rural no restringido	Acceso urbano restringido	Acceso urbano no restringido
Motocicletas	31%	2%	67%
Vehículos particulares	14%	5%	80%
Camionetas de pasajeros	9%	16%	75%
Vehículos < 3.8 t.	15%	7%	78%
Autobuses	10%	15%	75%
Vehículos > 3.8 t. locales	6%	12%	82%
Vehículos > 3.8 t. federales	6%	14%	81%
Tractocamiones locales	6%	10%	84%
Tractocamiones federales	4%	21%	75%

Elaboración con información de la Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transporte

## 1A3b.6 Características de los combustibles

Se actualizaron los datos de propiedades de combustible con información de la Norma Oficial Mexicana NOM-016-CRE-2016, Especificaciones de calidad de los petrolíferos. Cabe señalar que la presión de vapor y las temperaturas de destilación de gasolinas varían según la clase de volatilidad de las gasolinas de acuerdo a las zonas geográficas y la época del año, como lo especifica la norma. La Tabla 28 muestra las especificaciones de los combustibles, en donde la presión de vapor y las temperaturas de destilación son de los meses de marzo, abril, mayo, junio, julio, agosto, septiembre y octubre.

Tabla 28. Especificaciones de los combustibles.

Especificaciones	Gasolina		Diesel
	Regular	Premium	
RVP (lb/plg <sup>2</sup> )	10.25	10.25	0
Azufre (mg/kg)	80	30	500
MTBE (%Vol.)	2.7	2.7	0
Aromáticos (%Vol.)	32	32	0
Olefinas (%Vol.)	12.5	12.5	0
Benceno (%Vol.)	2	2	0
T50	207.57	207.57	0
T90	370.99	370.99	0

Elaboración propia

Otro requerimiento del modelo MOVES México, es la distribución mensual del suministro de combustibles del año a modelar, lo cual se calculó a partir de las ventas de combustibles a nivel estatal, información solicitada a la CRE (Comisión Reguladora de Energía).

## 1A3b.7. Factores de emisión (FE)

Los FE para la estimación de las emisiones de CO<sub>2</sub> son específicos de la región para todos los modos de transporte identificados (INECC-IMP, 2014). De acuerdo a las ventas de combustibles por estación de servicio proporcionado por PEMEX Refinación, el Estado de Yucatán es surtido por la refinería de Minatitlán en Veracruz, por lo cual se utilizaron FE de Villahermosa (también surtida por la misma refinería) debido a la falta de FE de la refinería para gasolina regular, gasolina premium, diésel y gas L.P. Por otra parte, para la estimación de las emisiones de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O del transporte terrestre, aéreo, marítimo y ferroviario, se emplean los FE por defecto de las Directrices (IPCC, 2006b) (tablas 3.2.2, 3.4.5 y 3.6.5, vol. 2, cap. 3). En la Tabla 29, se recogen los valores de los FE empleados en la estimación de las emisiones de GEI del transporte.

Tabla 29. Factores de emisión específicos para Yucatán para los combustibles empleados en el transporte kg/TJ

Combustibles	FE de CO <sub>2</sub>	FE de CH <sub>4</sub>	FE de N <sub>2</sub> O
Gasolina regular	73,814.09	25	8
Gasolina premium	74,961.97	25	8

Turbosina	72.614.02	0.5	2
<b>Combustibles</b>	<b>FE de CO<sub>2</sub></b>	<b>FE de CH<sub>4</sub></b>	<b>FE de N<sub>2</sub>O</b>
Diesel	74,216.80	3.9	3.9
Diesel ferroviario	74,216.80	4.15	28.6
Diesel marino	73,582.12	7.00	2
Gas LP	65,373.54	62.0	0.2
Gasavión	72.476.67	0.5	2

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 30 se presentan los valores de los FE promedio obtenidos con el modelo MOVES México, al hacer las corridas propias del estado de Yucatán.

Tabla 30. Factores de emisión promedio por tipo de vehículo y combustible obtenidos con MOVES México, g/km

<b>Tipo de Vehículo</b>	<b>Combustible</b>	<b>FE CO<sub>2</sub></b>	<b>FE CH<sub>4</sub></b>	<b>FE N<sub>2</sub>O</b>
Motocicletas	Gasolina	223.48	2.95E-02	4.21E-03
Autos particulares	Gasolina	271.71	8.71E-02	6.97E-02
	Diesel	312.37	6.18E-03	7.44E-04
Taxis	Gasolina	251.78	4.48E-02	2.22E-02
	Diesel	290.84	2.22E-03	4.28E-04
Camionetas de pasajeros (Combis / vagonetas)	Gasolina	341.90	7.90E-02	1.69E-01
	Diesel	408.08	3.37E-03	2.48E-03
Transporte público ligero (Combis / vagonetas)	Gasolina	319.81	3.41E-02	4.94E-02
	Diesel	381.52	2.01E-03	1.57E-03
Pick Up	Gasolina	328.93	6.67E-02	1.11E-01
	Diesel	391.24	2.86E-03	2.05E-03
Vehículos ≤ 3.8 t.	Gasolina	319.22	4.39E-02	5.96E-02
	Diesel	379.28	2.31E-03	1.58E-03
Microbuses / Minibuses	Gasolina	315.77	2.98E-02	4.06E-02
	Diesel	374.84	1.59E-03	1.41E-03
Autobuses urbanos	Gasolina	861.85	2.36E-01	2.99E-02
	Diesel	904.90	2.20E-03	1.91E-03
Autobuses particulares	Gasolina	862.99	2.45E-01	3.29E-02
	Diesel	906.09	2.01E-03	1.95E-03
Autobuses federales	Diesel	905.55	2.03E-03	1.93E-03

Tipo de Vehículo	Combustible	FE CO <sub>2</sub>	FE CH <sub>4</sub>	FE N <sub>2</sub> O
Vehículos > 3.8 t. locales	Gasolina	749.41	3.06E-01	1.12E-01
	Diesel	810.67	2.61E-03	3.39E-03
Vehículos > 3.8 t. federales	Gasolina	687.40	1.65E-01	3.94E-02
	Diesel	750.27	2.49E-03	2.15E-03
Tractocamiones locales	Gasolina	1,191.87	3.64E-01	7.40E-02
	Diesel	1,270.73	2.15E-03	2.70E-03
Tractocamiones federales	Diesel	1,268.38	1.88E-03	1.97E-03

Fuente: Elaboración propia con MOVES México

### 1A3b.8. Incertidumbres y coherencia de las series temporales

Se calculó la incertidumbre mediante el “Método 1: Propagación del error”, del cap. 4 de las Directrices (IPCC, 2006a) por categorías, tendencias y GEI, entre el año base (2022) y el último año de la serie histórica (2010). La incertidumbre de los FE se toma de las Directrices (IPCC, 2006b) (vol. 2, cap. 3, cuadros 3.6.4 y 3.6.5 para aviación, cuadro 3.4.1 para transporte ferroviario y la sección 3.2.2 para el transporte terrestre). Para los FE de CO<sub>2</sub> propios del país, los rangos de incertidumbre corresponden a los estimados en la bibliografía (INECC-IMP, 2014).

La incertidumbre de los DA se estableció en 5%. La serie se considera coherente en el tiempo al emplearse la misma metodología y completa al tener una cobertura geográfica estatal (cubre todos los consumos de combustibles fósiles del sector).

### 1A3b.9. QA/QC de la categoría y verificación

Las fuentes de base de las que se extrae información está sometida a controles de revisión específicos propios. Las modificaciones observadas en la tendencia de las emisiones han sido revisadas y se consideran justificadas.

### 1A3b.10. Mejoras previstas específicas de cada categoría

Se planean las siguientes mejoras:

1) Estimación de las emisiones de autotransporte en función de flota vehicular y kilómetros recorridos para hacer una validación del consumo de combustibles empleados, estimación de los datos de consumo de combustibles de aviación con base en una sola fuente, estimación de las emisiones de transporte ferroviario en función de tipo de locomotora y hacer una validación del consumo de combustibles consumido por tipo y

2) revisión de la serie temporal de consumo de los distintos tipos de combustibles y diferentes fuentes de información, para obtener datos más precisos.

### 1A3ai Aviación civil internacional (elemento recordatorio)

Las emisiones de GEI asociadas a los búnkeres internacionales están asociadas a las emisiones del transporte internacional, en el caso del Estado de Yucatán se contabiliza aviación internacional [1A3ai]. Las emisiones de esta categoría se reportan como Memo item, es decir, son emisiones que son necesarias estimar pero que no se contabilizan en el total de las emisiones nacionales.

#### 1A3ai.1 Metodología

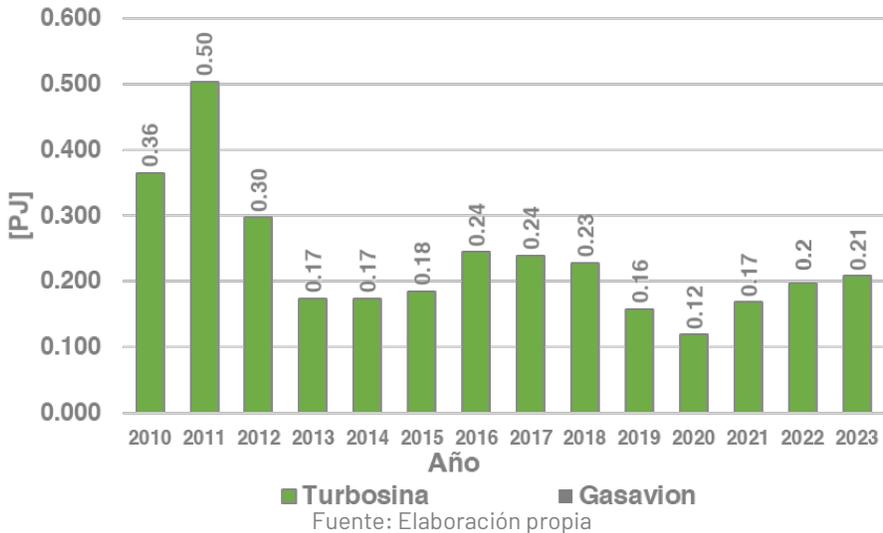
La metodología usada para la estimación de las emisiones de la fuente [1A3ai] corresponde a las Directrices 2006. Para la estimación de las emisiones de esta fuente se ha usado un enfoque metodológico de nivel 1 (Tier 1), siguiendo el árbol de decisión de la Figura 3.5.1, cap. 3, vol. 2, empleando los FE de INECC (INECC-IMP, 2014), IPCC 2006 y EMEP/EEA 2019.

#### 1A3ai.2 Datos de actividad (DA)

Los DA corresponden a los consumos de combustibles empleados en el transporte aéreo internacional.

Se obtienen de Aeropuertos y Servicios Auxiliares (SICT, 2023) y la estadística operacional de vuelos nacionales e internacionales puede ser consultada en la página de Aeropuertos y Servicios Auxiliares (SICT, 2023). Los datos presentados corresponden a los datos obtenidos del Aeropuerto Internacional de Mérida. La Figura 25 muestra los datos del consumo de combustibles (desagregado por tipo de combustible) empleados en la aviación internacional para todo el periodo inventariado. Dicho consumo ha experimentado un aumento del 9.49 % en cuanto a gasavión, y una disminución del -4.22 % en cuanto a turbosina desde 2010 respecto a 2023.

Figura 25. Consumo de combustibles en la aviación internacional [1A3ai]



### 1A3ai.3 Factores de Emisión

Los FE empleados en la estimación de las emisiones debidas al transporte aéreo internacional se obtienen de INECC (INECC-IMP, 2014) para CO<sub>2</sub> y de las Directrices 2006 para CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O (Tabla 31).

Tabla 31. Factores de emisión específicos de México para la actividad de aviación internacional [1A3ai]

Combustible	Factor de emisión kg/TJ		
	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
Gasavión	72,476.67	0.5	2.0
Turbosina	72,614.02	0.5	2.0

### 1A3ai.4 Resultados

Se estiman 15.22 Gg CO<sub>2</sub>e en 2023, -42.95 % menos que en 2010, para la aviación internacional (Figura 26).

Figura 26. Emisiones de búnkeres internacionales



Fuente: Elaboración propia

El consumo de combustibles fósiles para esta fuente de emisión se determina con base al volumen de combustible del aeropuerto Internacional de Mérida. Por tal motivo, las emisiones de GEI son directamente proporcionales al volumen de combustible consumido por vuelos internacionales al año.

## Capítulo 2: Procesos industriales y uso de productos (PIUP)

### 2.1 Visión general del sector

El sector [2] PIUP, considera las emisiones provenientes de la fabricación y uso de productos en la industria donde, derivado de la naturaleza del producto, bien por fugas, uso directo o del proceso para su fabricación en donde se transforman materias primas por medios químicos o físicos, ocurren emisiones de gases de efecto invernadero. Este sector incluye las emisiones generadas en la industria de los minerales, industria química, industria de los metales, el uso no energético de combustibles y de solventes, industria electrónica, uso de productos sustitutos de las sustancias que agotan la capa de ozono, manufactura y utilización de otros productos y otros sector sectores como la industria de la pulpa y el papel y la industria de la alimentación y las bebidas.

En el Estado de Yucatán las industrias que se identificaron y que son de interés para el sector PIUP son la industria de los minerales, industria de los metales, uso de lubricantes y uso de productos sustitutos de las sustancias que agotan la capa de ozono.

Debido al nivel de información y datos disponibles, las emisiones de GEI que se estiman son:

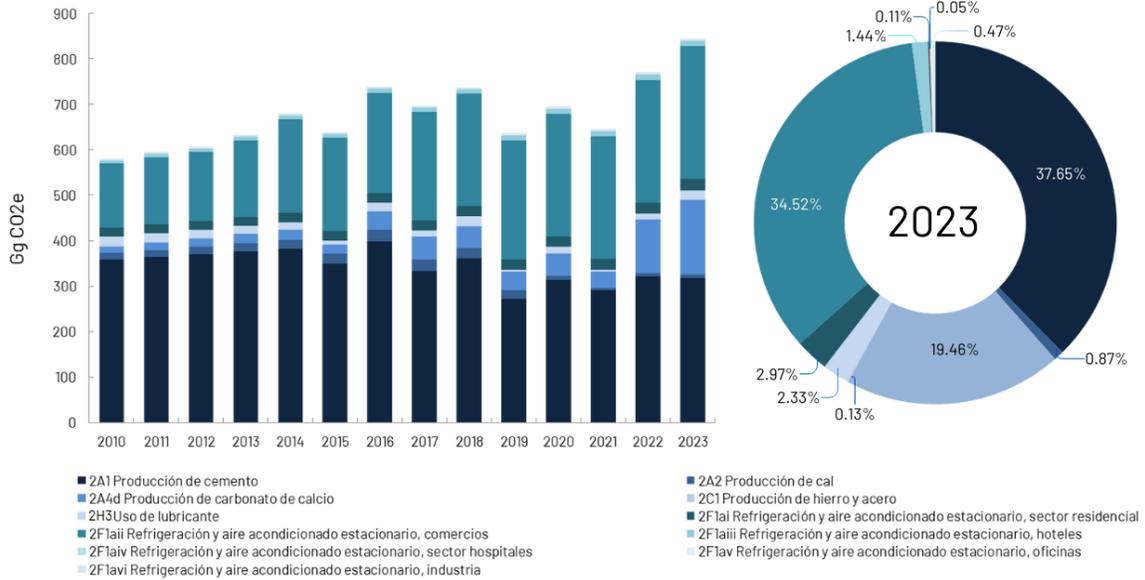
- [2A1] Producción de cemento
- [2A2] Producción de cal
- [2F1a] Refrigeración y aire acondicionado estacionario
- [2H3] Producción de carbonato de calcio

Las emisiones generadas en las actividades de la industria por el uso de combustibles fósiles con motivos energéticos, no como parte del proceso productivo, se reportan en el sector [1] Energía. En [2] PIUP, de acuerdo con las Directrices 2006, los gases GEI que se estiman incluyen al CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, los hidrofluorocarbonos (HFC), los perfluorocarbonos (PFC), el hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>) y el trifluoruro de nitrógeno (NF<sub>3</sub>).

Las emisiones del sector [2] PIUP en 2023 alcanzaron 847.00 Gg CO<sub>2</sub>e lo que representó el 8.00% de las emisiones totales del IEEGYCEI (sin absorciones). En 2010 las emisiones del sector PIUP fueron de 583.08 Gg CO<sub>2</sub>e, lo que significa una aumento del 2.91% para el sector del 2010 al 2023, siendo la emisiones de la industria de los minerales [2A] la que más contribuyen en este sector (37.55%). En la Figura 27, se presenta la evolución de las emisiones del 2010 al 2023 para las subcategorías del sector [2] PIUP, así como su contribución en el año 2023.

Las categorías clave identificadas para el año 2023 son: [2A1] Producción de cemento; [2F1a] Refrigeración y aire acondicionado estacionario y [2A3] Producción de carbonato de calcio

Figura 27. Evolución de las emisiones de GEI del sector [2] PIUP en Yucatán, 2010-2023



Fuente: Elaboración propia.

## 2A. Industria de los minerales

En este subsector se estiman las emisiones de dióxido de carbono relacionadas con los procesos que resultan del uso de materias primas carbonatadas en la producción y el uso de una variedad de productos minerales industriales debido principalmente a la calcinación de materiales carbonatados. Aunque el proceso principal a través del cual se liberan emisiones por calcinación es similar entre las diversas categorías de fuente de industria de los minerales, se pone especial énfasis en tres fuentes, por su relevante contribución a las emisiones de CO<sub>2</sub>. Estas categorías son la producción de cemento, la producción de cal y la producción de vidrio.

Además de las categorías anteriores el IPCC recomienda considerar las emisiones provenientes del consumo de carbonatos en la industria de los minerales, incluidas las cerámicas, los usos de ceniza de sosa y el consumo de carbonatos en la producción de magnesia no metalúrgica.

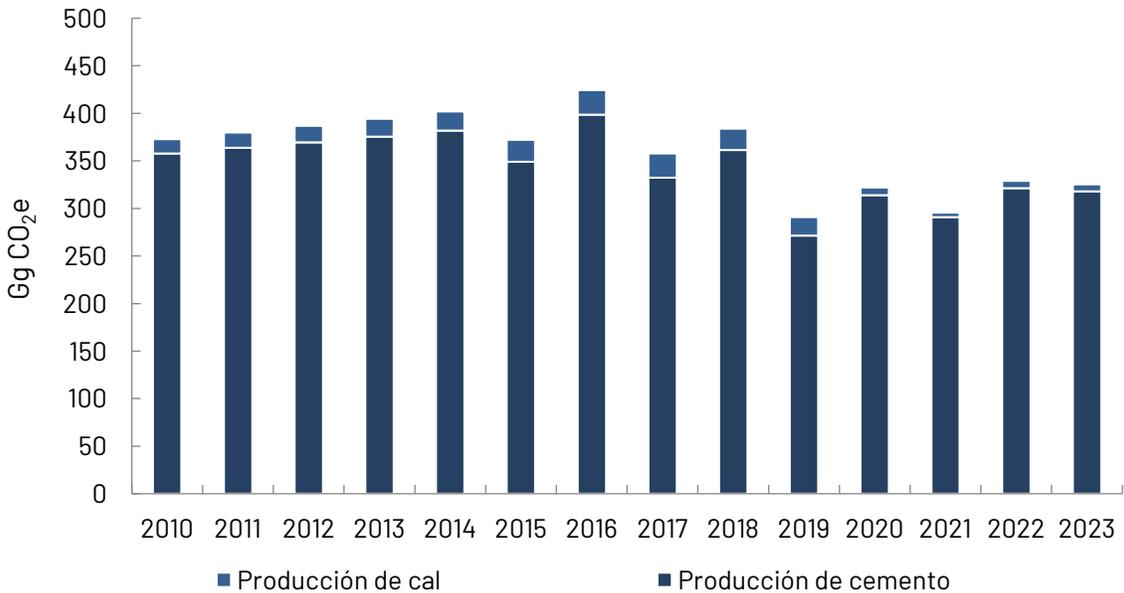
En el Estado de Yucatán se identificaron 2 categorías que contribuyen a las emisiones del sector PIUP:

- [2A1] Producción de cemento
- [2A2] Producción de cal

En 2023, las emisiones por la industria de los minerales se contabilizó en 325.40 Gg CO<sub>2</sub>e presentando una TMCA de 1.04% con respecto al 2010. La producción de cemento contribuye con el 37.55% del sector PIUP, con 318.04 Gg CO<sub>2</sub>e presentando una pequeña reducción en sus emisiones del 2010. Las emisiones por la producción de cal también presentan una reducción en su TMCA del -5.26% pasando de 14.89 Gg CO<sub>2</sub>e en 2010 a 7.37 Gg CO<sub>2</sub>e en 2023.

En la Figura 28, se presenta la evolución de las emisiones de GEI para la industria de los minerales en el Estado de Yucatán, influenciada principalmente por la producción de cemento.

Figura 28. Evolución de las emisiones de GEI para [2A] Industria de los minerales en Yucatán, 2010-2023.



Fuente: Elaboración propia

## 2A1. Producción de cemento

En este subsector se contabilizan las emisiones de CO<sub>2</sub> derivadas por la fabricación de clínker, un producto intermedio que sirve de base para la formulación del cemento. Para la obtención del clínker, se calcina piedra caliza, la cual está compuesta de carbonato de calcio (CaCO<sub>3</sub>) para obtener cal (CaO) y se libera CO<sub>2</sub> como parte de la reacción química llevada a cabo. El CaO reacciona con la sílice (SiO<sub>2</sub>), la alúmina (AlO<sub>3</sub>) y el óxido de hierro (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) presentes en las materias primas, para formar minerales de clínker. El cemento se puede fabricar completamente a partir de clínker importado, en cuyo caso la planta de producción de cemento se considera libre de toda emisión de CO<sub>2</sub> relacionada con el proceso de fabricación.

Durante la fabricación del clínker puede generarse polvo de horno de cemento (CKD), el cual debe tomarse en cuenta para la estimación de las emisiones.

### 2A1.1 Metodología

La metodología es la indicada en las Directrices (IPCC 2006). El enfoque metodológico, de acuerdo al árbol de decisión de la Figura 2.1 del cap2, vol 3 de las Directrices (IPCC 2006) son nivel 2 (Tier2) para la producción de cemento.

### 2A1.2 Datos de actividad (DA)

El dato de actividad que se emplea corresponde a la producción de cemento asociada a un porcentaje de clínker por tipo de cemento, obtenido de las Cédulas de Operación Anual (COA) para la serie 2014-2022, para los datos históricos faltantes se consideró el crecimiento histórico que ha mantenido la producción de cemento en el periodo de análisis dentro del Estado de Yucatán.

### **2A1.3 Factores de emisión (FE)**

Para la estimación de las emisiones de la subcategoría [2A1] producción de cemento, se empleó el factor de emisión considerado para el clínker fue de 0.536 tCO<sub>2</sub>/tclínker, el cual es un factor nacional publicado en el último Inventario de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero 1990-2019.

### **2A1.4 Incertidumbres y coherencias de las series temporales**

Se estima la incertidumbre mediante el "Método 1: Propagación de error" por categorías, tendencias y GEI para el año 2010 y 2023, descrito en el capítulo 4 de las Directrices del IPCC 2006 (IPCC 2006a). La incertidumbre de los FE se tomó de las Directrices 2006. La incertidumbre estimada para la producción de cemento fue de ±2.83% (309.04 a 327.03 GgCO<sub>2</sub>e)

### **2A1.5 QA/QC de la categoría y verificación**

Esta categoría sigue los principios generales de QA/QC incluidos en la Introducción.

### **2A1.6 Mejoras previstas específicas de cada categoría**

- Contar con una base de datos histórica de la producción de cemento estatal y sus porcentajes de clínker.

## **2A2. Producción de cal**

En este subsector se contabilizan las emisiones de CO<sub>2</sub> para la obtención del óxido de calcio (CaO o cal viva), el cual se obtiene al calentar la piedra caliza para descomponer los carbonatos a altas temperaturas liberando CO<sub>2</sub> durante el proceso. Por lo general se utiliza piedra caliza con fuerte proporción de calcio (calcita) para la producción de Cal (CaO).

La dolomita y las piedras calizas dolomíticas se usan para la obtención de cal dolomítica y en algunas instalaciones obtienen cal hidratada (apagada) mediante operaciones adicionales de hidratación.

Al igual que en la producción de cemento, durante la producción de cal puede generarse polvo de horno de cal (LKD). Las estimaciones de emisiones determinadas mediante el Nivel 2 y Nivel 3 deben dar cuenta de las emisiones asociadas con el LKD.

### **2A2.1 Metodología**

La metodología es la indicada en las Directrices (IPCC 2006). El enfoque metodológico, de acuerdo al árbol de decisión de la Figura 2.2 del cap 2, vol 3 de las Directrices (IPCC 2006) son nivel 2 (Tier 2) para las emisiones de CO<sub>2</sub> por la producción de cal.

## **2A2.2 Datos de actividad (DA)**

Los datos de actividad que se emplean en la subcategoría [2A2] corresponde a la producción de cal obtenida de las Cédulas de Operación Anual (COA) del 2014 al 2022, para la serie histórica se consideró el crecimiento histórico que ha mantenido la producción de cal en el Estado de Yucatán.

## **2A2.3 Factores de emisión**

Para la estimación de las emisiones se emplearon los FE por defecto del IPCC 2006, considerando cal hidratada, de 0.59 tCO<sub>2</sub>/t cal (cuadro 2.4, vol 3, cap 3); 1.02 para el factor de corrección para LKD y el factor de corrección para cal hidratada de 0.97.

## **2A2.4 Incertidumbre y coherencia de las series temporales**

Se estima la incertidumbre mediante el "Método 1: Propagación de error" por categorías, tendencias y GEI para el año 2010 y 2023, descrito en el capítulo 4 de las Directrices del IPCC 2006 (IPCC 2006a). La incertidumbre de los FE se tomó de las Directrices 2006. Se estimó una incertidumbre de ±15.13% (6.25 a 8.49 GgCO<sub>2</sub>e)

## **2A2.5 QA/QC de la categoría y verificación**

Esta categoría sigue los principios generales de QA/QC incluidos en la Introducción.

- Contar con una base de datos histórica de la producción de cal estatal por tipo de cal

## **2C. Industria de los metales**

### **2C.1 Descripción de la categoría**

En este subsector se debe cuidar de no efectuar dobles conteos ni omitir emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) pues las emisiones de CO<sub>2</sub> que resultan de la función del carbono, tanto como reactivo en los procesos y como fuente de calor para sostener las reacciones químicas involucradas en los procesos metalúrgicos, están estrechamente relacionadas en varios casos. En los casos en los que en una planta de producción de metales exista tecnología de captura de CO<sub>2</sub>, este debe restarse del cálculo de emisiones, en proporción con la cantidad de CO<sub>2</sub> generado en la categoría de energía y PIUP. La hipótesis por defecto es que no hay captura ni almacenamiento (CCS) de CO<sub>2</sub>.

En 2023, las emisiones por la producción acero [2C1] se contabilizaron en 3.32 Gg CO<sub>2</sub>e manteniéndose constante del 2010 al 2023.

## **2C1. Producción de hierro y acero**

La producción de acero puede realizarse en plantas integradas a partir de mineral de hierro o en instalaciones secundarias que producen acero principalmente de chatarra de acero reciclada. La fabricación secundaria de acero se realiza por lo general en hornos de arco eléctrico (EAF, por sus siglas en inglés).

### **2C1.1 Metodología**

La metodología es la indicada en las Directrices (IPCC 2006). El enfoque metodológico, de acuerdo al árbol de decisión de la Figura 4.7, cap 4, vol 3 de las Directrices (IPCC 2006) son nivel 1 (Tier 1) para las emisiones de CO<sub>2</sub>.

### **2C1.2 Datos de actividad (DA)**

El DA que se emplea en la subcategoría corresponde a la producción de acero en arco eléctrico, obtenido de las Cédulas de Operación Anual (COA) del 2014 al 2021, para la serie histórica se consideró el mismo crecimiento que ha mantenido en el Estado de Yucatán.

### **2C1.3 Factores de emisión (FE)**

Para la estimación de las emisiones se empleó el FE considerado para la producción de acero en arco eléctrico de 0.24 tCO<sub>2</sub>e/t acero utilizado en el último inventario nacional y proporcionado por la cámara nacional del acero (CANACERO)

### **2C1.4 Incertidumbres y coherencia de las series temporales**

Se estima la incertidumbre mediante el "Método 1: Propagación de error" por categorías, tendencias y GEI para el año 2010 y 2023, descrito en el capítulo 4 de las Directrices del IPCC 2006 (IPCC 2006a). La incertidumbre de los FE se tomó de las Directrices 2006. La incertidumbre se estimó en ±26.93 (2.42 a 4.21 GgCO<sub>2</sub>e).

### **2C1.5 QA/QC de la categoría y verificación**

Esta categoría sigue los principios generales de QA/QC incluidos en la Introducción.

### **2C1.6 Mejoras previstas específicas de cada categoría**

Se planean las siguientes mejoras:

- Ampliar la información del sector del hierro y acero en el Estado.

## **2D Uso de productos no energéticos de combustibles y de solventes**

En ese subsector se cuantifican las emisiones generadas por los primeros usos de los combustibles fósiles como productos con fines primarios, excepto: i) la combustión con fines

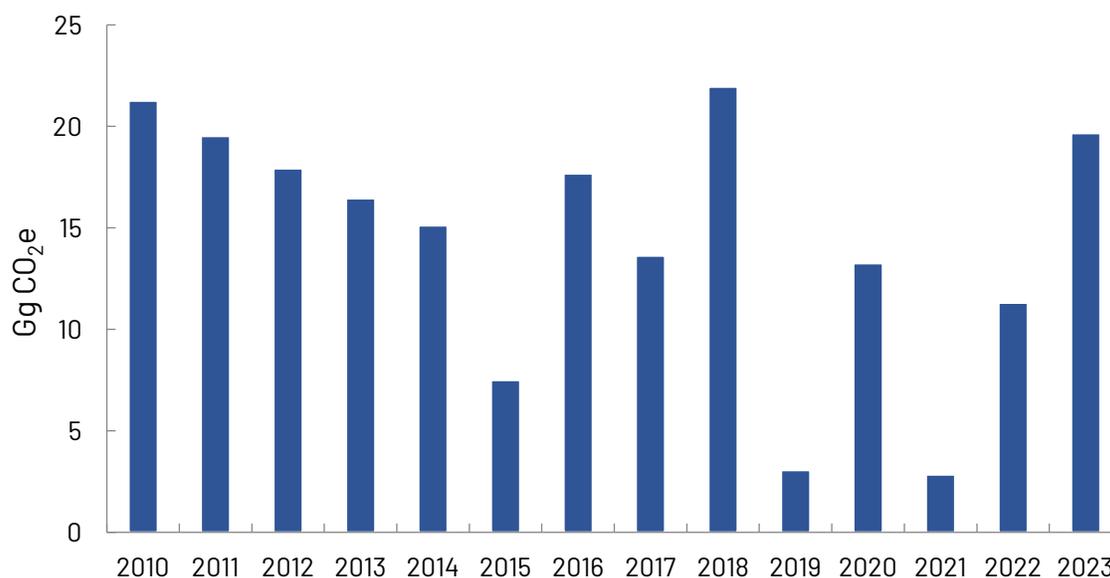
energéticos y ii) el uso como sustancias de alimentación a procesos o como agente reductor. Las emisiones de estos dos últimos se cuantifican en la industria química y en la industria de los metales respectivamente. Los productos que se consideran son los lubricantes, ceras de parafina, alquitrán y/o asfalto y los solventes. Las emisiones proveniente de usos ulteriores o de la eliminación de los productos después del primer uso (es decir, la combustión de óleos de desechos tales como los lubricantes usados) deben estimarse y declararse en el sector desechos, cuando son incinerados o en el sector energía si hay recuperación de energía.

## 2D1 Uso de Lubricantes

El principal uso de los lubricantes es en las aplicaciones industriales y en el transporte. Los lubricantes se producen en las refinерías, por separación del petróleo crudo, o en las plantas petroquímicas, estos se pueden subdividir en: aceites para motores y aceites industriales y grasas. Estos se diferencian debido a sus características físicas, aplicaciones comerciales y su impacto ambiental.

En 2023, las emisiones por el uso de lubricantes [2D1] ascienden a 19.66 GgCO<sub>2</sub> presentando una TMCA de -0.60% con respecto a 2010 (21.25 GgCO<sub>2e</sub>). En la Figura 29, se presenta la evolución de las emisiones de CO<sub>2</sub> por el uso de lubricantes para el Estado de Yucatán.

Figura 29. Evolución de las emisiones de GEI para [2D] Uso de lubricantes, 2010-2023



Fuente: Elaboración propia.

### 2D1.1 Metodología

La metodología es la indicada en las Directrices (IPCC 2006). El enfoque metodológico es de acuerdo a las cuestiones metodológicas dictadas en el volumen 3, capítulo 5.2, ecuación 5.2, de las Directrices (IPCC 2006), nivel 1 (Tier 1) para las emisiones de CO<sub>2</sub> por el consumo de lubricantes y grasas reportados en las Cédulas de Operación Anual (COA).

## 2D1.2 Datos de actividad (DA)

El DA que se emplea en la subcategoría [2D1] corresponde al consumo de lubricantes y grasas obtenido de las Cédulas de Operación Anual (COA) del 2014 al 2021. (Tabla 32).

Tabla 32. Datos de actividad para el subsector uso de lubricantes [2D1]

Año	lubricante (TJ)	grasa (TJ)
2010	1,448.85*	0.15*
2011	1,330.39*	0.14*
2012	1,221.62*	0.13*
2013	1,121.73*	0.12*
2014	1,030.02	0.11
2015	511.34	0.12
2016	1,204.23	0.12
2017	928.60	0.12
2018	1,496.75	0.01
2019	208.19	0.15
2020	903.13	4.02E-05
2021	193.26	4.02E-05
2022	770.78	4.02E-08
2023	770.78*	6.99E-08*

\*datos estimados

Fuente: Elaboración propia.

## 2D1.3 Factores de emisión (FE)

Para la estimación de las emisiones de la subcategoría [2D1] uso de lubricantes se emplearon los FE por defecto del IPCC 2006, 20.0 kgC/GJ y los factores de oxidación por defecto (ODU) de 0.2 para los lubricantes y 0.05 para las grasas (cuadro 5.2, vol 3, cap 5), así como el cociente de masa del CO<sub>2</sub>/C de 44/12.

## 2D1.4 Incertidumbres y coherencia de las series temporales

Se estima la incertidumbre mediante el "Método 1: Propagación de error" por categorías, tendencias y GEI para el año 2010 y 2023, descrito en el capítulo 4 de las Directrices del IPCC 2006 (IPCC 2006a). La incertidumbre de los FE se tomó de las Directrices 2006. Se estimó una incertidumbre de ±50.30 (9.77 a 29.55 GgCO<sub>2e</sub>).

## 2D1.5 QA/QC de la categoría y verificación

Esta categoría sigue los principios generales de QA/QC incluidos en la Introducción.

## 2D1.6 Mejoras previstas específicas de cada categoría

Se planean las siguientes mejoras:

- Ampliar la información del uso de lubricantes en los diferentes sectores industriales así como en el sector transporte.

## 2F Uso de productos sustitutos de las sustancias que agotan la capa de ozono

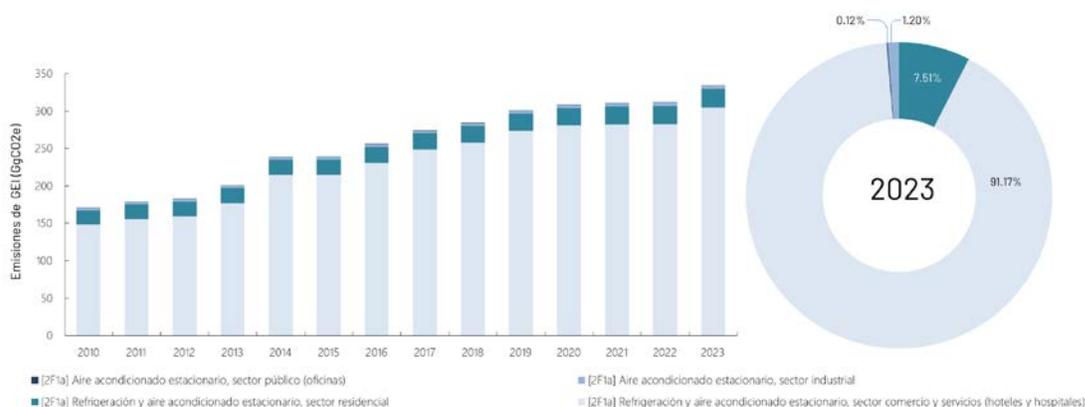
Las sustancias que agotan la capa de ozono (SAO) han sido sustituidas de manera gradual, principalmente, por hidrofluorocarbonos (HFC) y perfluorocarbonos (PFC) tras la firma del Protocolo de Montreal en 1987. Estas sustancias se emplean con fines de refrigeración; aire acondicionado; extinción de incendios y protección contra explosiones; limpieza con solventes; como agentes espumantes y propelentes en aerosoles; entre otros usos (IPCC, 2006c). Están contenidos en equipos y productos, por lo que se estudian las fugas a lo largo de su vida útil.

### 2F1 Refrigeración y aire acondicionado

El uso de estas sustancias en el estado de Yucatán se cuantificó en la refrigeración y aire acondicionado [2F1] en la rama residencial, comercial y servicios. Durante 2023, las emisiones se contabilizaron en 334.18 GgCO<sub>2</sub>e, frente a 171.18 GgCO<sub>2</sub>e estimadas en 2010.

En la Figura 30 se presenta la evolución de las emisiones de este subsector en donde se aprecia un crecimiento constante a lo largo del periodo con una TCMA de 5.28%. El 91.17% de las emisiones proviene del sector comercio y servicios (hoteles y sector hospitales).

Figura 30. Evolución de la emisiones por el uso de productos en equipos de refrigeración y aire acondicionado en Yucatán (GgCO<sub>2</sub>e), 2010-2023



Fuente: Elaboración propia.

### 2F1.1 Metodología

Las estimaciones consideran únicamente aquellas derivadas del uso de productos durante la vida útil de los equipos y durante la disposición final. Además de los hidrofluorocarbonos (HFC), se incluyen los clorofluorocarbonos (CFC) y los hidroclorofluorocarbonos (HCFC).

La categoría [2F1] se estima de acuerdo con las Directrices del IPCC 2006 (IPCC 2006c) con un enfoque metodológico nivel 2 (Tier2) de acuerdo al árbol de decisión publicado en las mismas Directrices (Figura 7.6, cap 7, vol 3).

## **2F1.2 Datos de actividad (DA)**

Los DA considerados para la estimación de las emisiones procedentes de la subcategoría [2F1] se basan en la estimación del consumo de energía eléctrica y del porcentaje asociado al uso de equipos de refrigeración y aire acondicionado, para el caso de hoteles, comercios y hospitales. La base de datos utilizada en el caso de los hoteles proviene del Compendio Estadístico 2022 de la Actividad Hotelera publicada por la Secretaría de Turismo. Asimismo, en el caso de hospitales se consultó el Directorio de instituciones 2022 del Instituto Mexicano del Seguro Social, y para la determinación de los comercios (tiendas departamentales y de autoservicio) se seleccionaron los establecimientos pertenecientes a cadenas comerciales del Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas 2023 (DENUE) del INEGI. La estimación del consumo energético empleó el Índice de Consumo de Energía Eléctrica por tipo de edificio y clima, de la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (2019).

En el caso de las oficinas del sector público estatal, se emplearon los consumos energéticos para los años 2019, 2022 y 2023, a partir de los cuales se estimó la serie temporal 2010-2023, proporcionada por la Secretaría de Fomento Económico y Trabajo del estado de Yucatán. Finalmente, para el sector residencial, se emplearon datos de la Encuesta Nacional sobre Consumo de Energéticos en Viviendas Particulares (ENCEVI) 2018, elaborada por el INEGI, donde se reporta una muestra de los equipos de aire acondicionado y refrigeración por tamaño de localidad. Cabe mencionar que no se dispone de datos de recuperación/destrucción de los gases en esta subcategoría.

Finalmente, el consumo de gases refrigerantes en el sector industrial se recuperó de las COA federales para el periodo 2016-2022. La serie anual de los DA se completó con proyecciones considerando el comportamiento de la producción del sector industrial en el estado de Yucatán.

## **2F1.3 Factores de emisión (FE)**

Los FE y parámetros utilizados para la estimación de las emisiones de [2F1] provienen de estudios publicados por la SEMARNAT (2019), la GIZ (2014), la EIA (2018) y el CMM (2015) con base en juicio de experto y son valores relacionados con las prácticas comunes durante las actividades de servicio.

## **2F1.4 Incertidumbres y coherencia de las series temporales**

Se estima la incertidumbre mediante el "Método 1: Propagación de error" por categorías, tendencias y GEI para el año 2010 y 2023, descrito en el capítulo 4 de las Directrices del IPCC 2006 (IPCC 2006a). La incertidumbre de los FE se tomó de las Directrices 2006 (Vol3. Cap7) (IPCC 2006c).

Para la incertidumbre de los DA se estimó en 143.51% y para los FE en 101.24%, para una incertidumbre total de 72.88% (90.64 a 577.72 GgCO<sub>2</sub>e).

## **2F1.5 QA/QC de la categoría y verificación**

Esta categoría sigue los principios generales de QA/QC incluidos en la Introducción.

## **2F1.6 Mejoras previstas específicas de cada categoría**

- Revisar la serie temporal para obtener datos más precisos y series temporales más completas del consumo de energía eléctrica en edificaciones.
- Inventariar el uso y condiciones de operación de equipos de refrigeración y aire acondicionado en oficinas de gobierno, hospitales, escuelas, comercios y hoteles.

## Capítulo 3. Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra (ASOUT)

### 3.1 Visión general del sector (Agricultura)

El sector [3] ASOUT<sup>4</sup> se divide en: [3A] Ganado, [3B] Tierra, [3C] Fuentes agregadas y fuentes de emisión distintas al CO<sub>2</sub> de la tierra y [3D] Otros. En primer término, agrupada como Agricultura, se presenta la información de las categorías [3A] y [3C], y posteriormente la que corresponde a UTCUTS<sup>5</sup> categoría [3B] Tierra y [3D] Otros.

Las emisiones del sector Agricultura en 2023 se contabilizaron en 1,543.41 GgCO<sub>2</sub>e, lo que representó el 14.80% de las emisiones del IEEGYCE (sin absorción). La categoría con mayor contribución es la fermentación entérica [3A1] con el 60.97% de las emisiones del sector, con una TMCA de 0.41%, le sigue la categoría de suelos gestionados [3C4] + [3C5] con una contribución del 23.48% y una TMCA de 2.65% y 2.92% respectivamente.

El sector presenta un incremento en sus emisiones de GEI durante el periodo de análisis, con una TMCA de 1.04%, siendo las emisiones indirectas de N<sub>2</sub>O resultantes de la gestión de estiércol [3C6] las de mayor TMCA con 3.30%.

El total de absorciones para este sector se estima en -15,634.28 GgCO<sub>2</sub>e, de las cuales -15,613.44 GgCO<sub>2</sub>e se absorben en tierras forestales [3B1] y -20.84 se absorben en productos de madera recolectada [3D1].

En la Figura 31, se presentan las emisiones del sector Agricultura con desglose por categorías y/o fuente. Se observa, en el periodo histórico, que hay una tendencia de aumento en prácticamente en todas las subcategorías de este sector. Las emisiones debidas a los animales [3A] aumentan debido al aumento del inventario ganadero. La tendencia de las actividades agrícolas [3C] se relaciona con el aumento en la superficie cultivada y el uso de fertilizantes.

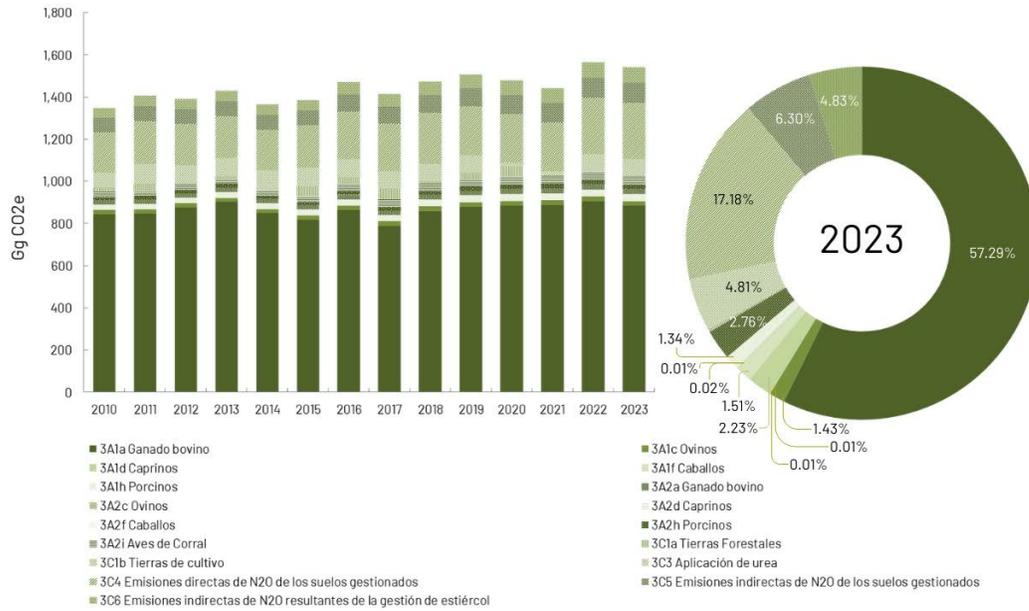
Las categoría clave identificadas para este sector son [3B1] Tierras forestales; [3B3] Praderas; [3B2] Tierras de cultivo y [3C4] Emisiones directas de N<sub>2</sub>O en suelos gestionados.

---

<sup>4</sup> En inglés, AFOLU, por Agriculture, Forestry and Other Land Use.

<sup>5</sup> Uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura. En inglés, LULUCF por *Land use, Land-use change, and Forestry*.

Figura 31. Evolución de las emisiones para el sector Agricultura [3A] y [3C] y su contribución en el año 2023



Fuente: Elaboración propia.

## 3A1. Fermentación entérica

### 3A1.1 Descripción de la categoría

Las emisiones de CH<sub>4</sub> se generan por los procesos metabólicos de la digestión de los carbohidratos contenidos en el alimento del ganado. En esta actualización se reportan las emisiones para el ganado bovino (por grupo etario), porcino, ovino, caprino, aves, caballos, burros y mulas.

Las emisiones de metano asociadas a la fermentación entérica [3A1] en 2023 se estimaron en 941.1 Gg CO<sub>2</sub>e, las cuales muestran un incremento del 0.41% respecto al año 2010. La evolución de las emisiones a lo largo del periodo se muestra en la Figura 32, donde se observa un incremento en las emisiones, motivado por el crecimiento del hato ganadero, principalmente de bovinos.

Figura 32. Emisiones de CH4 de la fermentación entérica [3A1](Gg CO2e)



Fuente: Elaboración propia.

### 3A1.2 Datos de actividad (DA)

El DA es el número medio de efectivos ganaderos de cada especie y subcategoría en cada año. La fuente de información es el inventario ganadero del Sistema de Información Agropecuaria y Pesquera (SIAP) de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER). Adicionalmente, esta fuente provee de información del número de animales, peso promedio por tipo de ganado, así como del volumen de producción de leche y carne para el ganado bovino.

Se consideró la distribución de la población bovina según grupo etario establecido en la Encuesta Nacional Agropecuaria (ENA) publicada por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) tal como se muestra en la Tabla 33, se presenta la distribución por grupo etario en el Estado de Yucatán.

Tabla 33. Población de bovinos del Estado de Yucatán, desagregado por grupo etario

Categoría	Grupo etario	%
Bovinos	Vacas de baja producción	49.8%
	Bovino ganado para producción (no clasificados)	0.2%
	Toros utilizados con fines reproductivos	2.2%
	Terneros predestetes	20.8%
	Terneras de reemplazo	10.1%
	De engorda	16.9%
	TOTAL	100%

Fuente: ENA 2017, ENA 2020

Respecto al ganado porcino, se consideraron dos tipos de sistemas de producción: 1) Traspatio o familiar, que se asumió en un 30% de la población conforme a las publicaciones de SAGARPA sobre la situación actual y perspectivas de la producción de carne de porcino en México, y 2) Comercial, que se asumió como el resto de la población que no se encuentra en traspatio, es decir, en un 70%. Asimismo, se consideró el grupo etario para mayores y menores de 6 meses. Para el caso de Mulas, asnos y caballos se tomó como referencia los datos de actividad publicados en el inventario nacional 1990-2015 (INECC, 2018) y se completó la serie histórica a partir de Tasas de crecimiento.

La Tabla 34, muestra el número absoluto de la población anual, reportada en el SIAP, por especie y año, así como su evolución en el periodo histórico (2010-2023). Se observa que las poblaciones de todas las especies se reducen y se incrementan los bovinos; mientras que los ovinos y porcinos muestran una tendencia decreciente mucho menor que el resto de las especies.

### 3A1.3 Factores de emisión (FE)

Los FE para el ganado bajo el nivel metodológico 1, fueron los dictados por defecto en el cuadro 10.10 del Refinamiento 2019. Para el ovino, el caprino y el porcino, el cuadro 10.10 proporciona valores para baja productividad. Para la selección de los FE se consideró el peso promedio de cada especie. En el caso del porcino se tomó el valor de alta productividad para el porcino comercial y de baja para el familiar.

Particularmente para el caso de bovinos, se consideraron los FE establecidos en el inventario estatal anterior (2021), mismos que fueron estimados a partir de datos medidos directamente en los animales:

*"... se llevo a cabo una aproximación con base en el consumo de materia seca por fía, grupo etario y el rendimiento de metano de 18.07 g CH<sub>4</sub>/kg de materia seca consumida... el cual fue obtenido en experimentos in vivo, en bovinos cruzados (Bos indicus x Bos Taurus) que consumían pastos tropicales como base (70%) de su alimentación..."*

*... se consideró el rendimiento de metano por fermentación ... a partir de experimentos en cámaras de respiración con bovinos... calibradas con los procedimientos descritos por Arceo-Castillo et al (2019)... los datos de consumo de materia seca de bovinos en pastoreo de gramíneas tropicales (~2% del peso vivo) estimados por Aguilar-Pérez et al (2009) en Yucatán..."* (Gobierno de Yucatán, 2021).

Se estimaron los FE nivel 2 para la categoría de gestión de excretas según la metodología Tier 2 del Refinamiento 2019. La estimación del FE se realizó mediante las ecuaciones del IPCC (IPCC 2006d) con datos nacionales y estatales. Para las categorías de caballos, burros y mulas el nivel de producción utilizada para estimar el nivel 2 fue baja producción y para el resto de las categorías, se estimó con base en la producción reportada en el SIAP en el rubro de carne, huevo y carne o leche, según corresponda.

### 3A1.4 Incertidumbres y coherencia de las series temporales

La incertidumbre del DA (número de animales) se tomó de lo referido en las Directrices 2006 (vol. 4, cap. 10) y se cifró en 15.5%. Respecto a los FE, la incertidumbre se tomó conforme a la recomendación de las Directrices 2006 (vol. 4, cap. 10), siendo de 35%. La serie se considera coherente en el tiempo al emplearse la misma metodología. Se estimó una incertidumbre de  $\pm 42.92\%$  (537.21 a 1,344.93 GgCO<sub>2</sub>e).

Tabla 34. Población por especie (Número de cabezas)

Especie	Grupo etario	Año													
		2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Bovinos	Vacas de baja producción	276,423	277,153	286,982	295,644	278,359	268,488	283,604	258,742	281,875	288,079	290,111	291,204	297,196	289,605
	Bovino ganado para producción (no clasificados)	1,110	1,113	1,152	1,187	1,117	1,078	1,139	1,039	1,132	1,156	1,165	1,169	1,193	1,163
	Toros utilizados con fines reproductivos	12,207	12,239	12,673	13,055	12,292	11,856	12,524	11,426	12,447	12,721	12,811	12,859	13,124	12,789
	Terneros predestetes	115,407	115,712	119,816	123,432	116,216	112,095	118,406	108,025	117,684	120,274	121,122	121,578	124,080	120,911
	Terneras de reemplazo	56,039	56,187	58,180	59,936	56,432	54,431	57,495	52,455	57,144	58,402	58,814	59,036	60,251	58,712
	De engorda	93,768	94,016	97,350	100,289	94,425	91,077	96,205	87,771	95,618	97,723	98,412	98,783	100,815	98,240
	<b>TOTAL</b>	<b>554,954</b>	<b>556,419</b>	<b>576,152</b>	<b>593,544</b>	<b>558,841</b>	<b>539,025</b>	<b>569,372</b>	<b>519,457</b>	<b>565,900</b>	<b>578,356</b>	<b>582,434</b>	<b>584,629</b>	<b>596,659</b>	<b>581,418</b>
Ovinos	152,690	151,621	153,507	136,680	136,502	137,805	139,500	155,879	160,061	156,913	155,659	156,320	157,433	157,215	
Caprinos	0	0	0	0	0	426	475	794	852	879	888	900	925	1,177	
Caballos	3,992	3,135	2,278	2,707	2,492	2,599	2,021	1,779	1,537	1,296	1,054	812	570	328	
Mulas y asnos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Porcinos	> 6 meses	459,967	469,119	469,502	486,549	488,311	513,376	535,087	547,026	569,845	579,502	592,214	594,336	610,095	627,813
	< 6 meses (comercial)	308,745	314,888	315,145	326,588	327,770	344,595	359,168	367,182	382,499	388,981	397,514	398,938	409,516	421,409
	< 6 meses (traspatio)	132,319	134,952	135,062	139,966	140,473	147,683	153,929	157,364	163,928	166,706	170,363	170,973	175,507	180,604
	<b>TOTAL</b>	<b>901,031</b>	<b>918,959</b>	<b>919,709</b>	<b>953,104</b>	<b>956,554</b>	<b>1,005,654</b>	<b>1,048,185</b>	<b>1,071,571</b>	<b>1,116,272</b>	<b>1,135,190</b>	<b>1,160,091</b>	<b>1,164,247</b>	<b>1,195,118</b>	<b>1,229,826</b>
Aves	Ponedoras	5,116,343	5,457,181	5,615,904	5,917,799	6,127,655	6,234,275	6,888,774	6,940,348	7,274,237	7,577,936	7,978,211	8,400,253	8,310,001	8,730,155
	Engorda	13,911,468	13,966,638	14,158,421	14,098,023	14,495,199	15,297,434	20,173,103	20,639,341	21,265,701	22,240,448	22,886,647	23,147,885	23,338,024	25,381,743
Guajolotes	495,525	530,330	396,951	269,158	284,911	212,458	195,139	239,260	284,923	286,568	347,159	348,326	355,036	254,555	

Fuente: Elaboración propia.

### 3A1.5 QA/QC de la categoría y verificación

La información del número de efectivos del SIAP está sometida a controles de revisión específicos propios. Los FE de nivel 2 estimados generan resultados cercanos a lo reportado nacionalmente para el Estado, por lo que se consideró que los generados en esta actualización son válidos para su implementación en el cálculo de emisiones de este inventario. El FE de nivel 3 para ganado bovino fue verificado directamente durante los experimentos realizados para su estimación. El cálculo de emisiones de las especies ganaderas sigue los principios generales de QA/QC.

Las modificaciones observadas en la tendencia de las emisiones y los cálculos efectuados han sido revisados y se consideran justificados.

### 3A1.6 Mejoras previstas

Se prevén las siguientes mejoras a corto y mediano plazo en esta categoría:

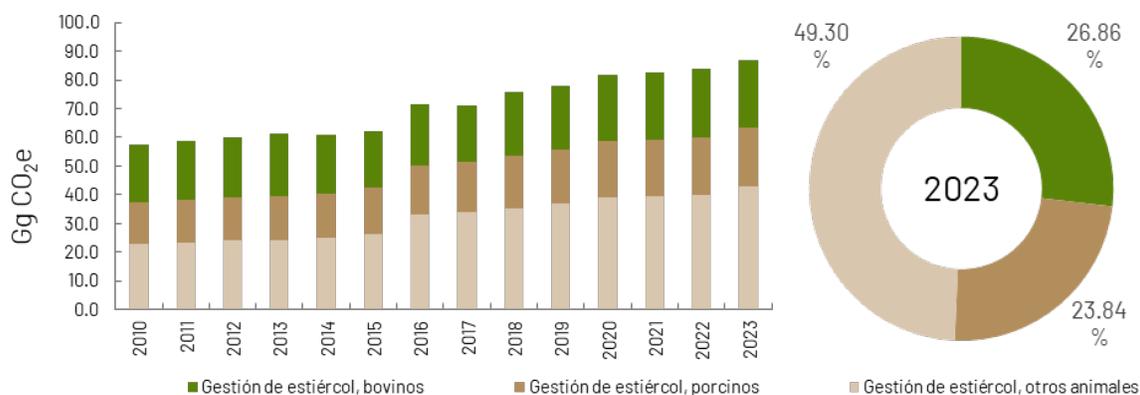
- Estimación de la distribución de Sistemas de Manejo de Excretas para las distintas categorías de ganado, según sistemas productivos
- Estimación de FE de porcinos para fermentación entérica con base en experimentación, para simular el ejercicio de bovinos

### 3A2 Gestión de estiércol

El manejo de las excretas (considerando heces y orina) de las diferentes especies ganaderas genera emisiones de metano ( $\text{CH}_4$ ) y óxido nítrico ( $\text{N}_2\text{O}$ ).

En 2023, las emisiones asociadas al manejo de excretas en esta subcategoría [3A2] se estimaron en 86.9 GgCO<sub>2</sub>e, 33.89% más que en 2010 y con una TMCA de 3.24%. La Figura 33, muestra la tendencia de las emisiones a lo largo del periodo inventariado; en ésta se observa un crecimiento constante en las emisiones que, al igual que para la subcategoría [3A1], proviene del incremento del número de efectivos, principalmente de bovinos y porcinos.

Figura 33. Emisiones de gestión de estiércoles [3A2] (Gg CO<sub>2</sub>e)



Nota: Otros animales incluye las categorías de ovino, caprino y aves. Fuente: Elaboración propia.

### 3A2.1 Metodología

En esta categoría se estiman las emisiones directas de metano (CH<sub>4</sub>) y óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) debidas al manejo de los estiércoles. Las emisiones indirectas de N<sub>2</sub>O se incluyen dentro del apartado “Otras categorías y fuentes de la agricultura”.

La metodología aplicada es la recomendada en el Refinamiento 2019, cap. 10, vol. 4, al cual pertenecerán las figuras y ecuaciones a menos que se señale lo contrario. Conforme a estos lineamientos y con base en los árboles de decisiones de las figuras 10.3 y 10.4, se utilizó un enfoque metodológico nivel 1 para las especies analizadas; además, se consideran parámetros nacionales debido a la falta de información local.

### 3A2.2 Datos de actividad (DA)

El DA es el número medio de efectivos ganaderos de cada especie y subcategoría en cada año que comparte con las estimaciones de fermentación entérica. Una descripción detallada de la fuente de información se incluye en el apartado “Metodología”.

Además de los datos de población de las especies ganaderas, se utilizaron datos de las temperaturas promedio estatales publicadas por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA).

Los sistemas de manejo del estiércol y su proporción por especie ganadera se muestran en la Tabla 35. La información fue generada a partir de una consulta directa con el Dr. Olea, la distribución de los mismos fue determinada a partir de consulta bibliográfica a falta de estadística de manejos productivos ganaderos. Los tipos de sistemas se describen en la tabla 10.18 del Refinamiento 2019.

Tabla 35. Distribución de los sistemas de manejo de estiércol por animal (%)

Especie	Grupo etario	Distribución de Sistemas de Manejo de Excretas								
		Estabulado/Traspatio/Campo/Potrero	Almacenamiento en fosa	Biodigestor	Distribución diaria	Lagunas Anaerobias	Piso de rejillas	Estercolero	Composta	Cama profunda sin paja
Bovinos	Vacas de baja producción	0.70			0.10			0.10	0.10	
	Bovino ganado para producción (no clasificados)	0.70			0.10			0.10	0.10	
	Toros utilizados con fines reproductivos	0.70			0.10			0.10	0.10	
	Terneros predestetados	0.70			0.10			0.10	0.10	
	Terneras de reemplazo	0.70			0.10			0.10	0.10	
	De engorda	0.70			0.10			0.10	0.10	
	<b>TOTAL</b>									
Ovinos		1.00								
Caprinos		1.00								
Caballos		1.00								
Mulas y asnos		1.00								
Porcinos	< 6 meses	0.50	0.10	0.10	0.10	0.10		0.10		
	> 6 meses (comercial)	0.50	0.10	0.10	0.10	0.10		0.10		
	> 6 meses (traspatio)	0.50	0.10	0.10	0.10	0.10		0.10		
	<b>TOTAL</b>									
Aves	Ponedoras	0.50			0.10		0.10	0.10	0.10	0.10
	Engorda	0.50			0.10		0.10	0.10	0.10	0.10
Guajolotes		0.90			0.10					

Fuente: Elaboración propia.

### **3A2.3 Factores de emisión (FE)**

Para las especies ganaderas estimadas, se estimaron los FE nivel del con base en los procedimientos establecidos en el Refinamiento 2019. Para ello, se estimaron datos específicos del Estado para la producción de sólidos volátiles (VS), la tasa de excreción de nitrógeno (NEXT) y la fracción de excreción anual por sistema de manejo (MST,S), los cuales se obtuvieron mediante la información de la revisión bibliográfica mencionada en el apartado metodológico de la subcategoría [3A1] Fermentación entérica (ver sección Metodología).

### **3A2.4 Incertidumbres y coherencia de las series temporales**

La incertidumbre del DA (número de animales) se tomó de lo referido en las Directrices 2006 (vol. 4, cap. 10) y se cifró en 29.3%. Respecto a los FE, la incertidumbre se tomó conforme a la recomendación de las Directrices 2006 (vol. 4, capítulos 10 y 11), siendo de 33.8% para CH<sub>4</sub>.

La serie se considera coherente en el tiempo al emplearse la misma metodología y completa al tener una cobertura geográfica. Se estimó una incertidumbre de ±54.63% (39.45 a 134.44 GgCO<sub>2e</sub>).

### **3A2.5 QA/QC de la categoría y verificación**

La información del número de efectivos de las distintas especies ganaderas de SIAP está sometida a controles de revisión específicos propios.

Los parámetros (VS, NEXT, MST, S) usados en las estimaciones de nivel 2 fueron contrastados con los parámetros publicados en el inventario nacional, obteniendo resultados similares y en proporción tanto al Estado.

El cálculo de emisiones de esta subcategoría sigue los principios generales de QA/QC.

### **3A2.6 Mejoras previstas específicas de cada categoría**

Se planean las siguientes mejoras:

- Implementación del enfoque de nivel 2 para la estimación general del ganado porcino y bovino dada su relevancia.

### **3C1 Emisiones de GEI por quema de biomasa**

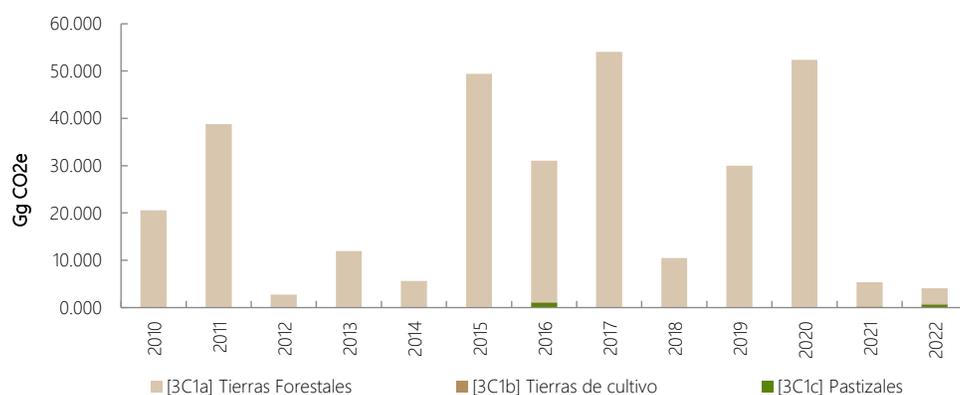
Quema de biomasa [3C1], es una actividad generadora de gases y compuestos contaminantes como monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), carbono negro, compuestos orgánicos volátiles (VOC por sus siglas en inglés) y GEI como CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O. En esta subcategoría del inventario se calculan las emisiones de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O producidos por: [3C1a] Quema de biomasa en tierras forestales; [3C1b] Quema de residuos agrícolas en campos de cultivo, y [3C1c] Quema de praderas (no se han identificado quemadas de biomasa en otros usos del suelo). Las pérdidas de carbono en [3C1a] y [3C1c] ya están consideradas dentro de los cambios del stock de carbono de [3B] Tierra. Las quemadas en la categoría [3C1b] se asume que

se producen en cultivos anuales y que la biomasa se recupera ese mismo año. Por tanto, las emisiones de CO<sub>2</sub> se reportan como IE (“included elsewhere”) y NA (“not applicable”).

En 2023, las emisiones de quema de biomasa se estimaron en 4.2 GgCO<sub>2</sub>e con una TMCA de -11.57%. Esto responde a la composición de usos de suelo estatales, así como a la distribución de las masas forestales y zonas agrícolas. Se presenta en la Figura 34, la distribución de las quemas registradas, donde predominan las referentes a quema de tierras forestales.

Es importante mencionar que la incidencia de quema de biomasa en tierras forestales y praderas, no siguen un patrón establecido, ni una tendencia lineal; es decir, la quema por incendios forestales está condicionado a factores de disponibilidad de combustibles y factores de origen de ignición, por lo que el registro anual varía dependiendo de las condiciones geográficas y climáticas precedentes en años anteriores.

Figura 34. Emisiones de quema de biomasa [3C1](Gg CO<sub>2</sub>e)



Fuente: Elaboración propia.

### 3C1.1 Metodología

La metodología utilizada para las subcategorías [3C1a] Emisiones por quema de biomasa en tierras forestales y [3C1c] Praderas se alinea con lo descrito en el cap. 2, vol. 4 de las Directrices 2006. Conforme al árbol de decisiones de este capítulo (Figura 2.6) se utilizó la metodología nivel 1 y se aplicó la ecuación 2.27.

### 3C1.2 Datos de actividad (DA)

Para el cálculo de emisiones de esta subcategoría se emplearon datos sobre incendios forestales provenientes de los reportes mensuales de CONAFOR, los cuales registran las áreas afectadas por incendios que fueron combatidos por año y por estrato siniestrado de vegetación. Esta información se homologó a las coberturas vegetales declaradas por INEGI en sus series de uso de suelo y vegetación VII.

Para caracterizar y cuantificar la biomasa y materia orgánica muerta de estos estratos por tipo de vegetación, se usaron principalmente los métodos propuestos en el “Sistema de clasificación y caracterización de combustibles forestales” (FCCS, por sus siglas en inglés) (Ottmar et al. 2007, Riccardi et al. 2007) y de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados

Unidos (EPA, por United States Environmental Protection Agency). Se establecieron cuatro categorías de combustible: horizonte de fermentación; hojas –MLC fino y pequeño (<7.62 cm) y MLC grueso (>7.62 cm)–; hierbas, y arbustos; de tal manera que, dependiendo del estrato afectado, se asignó la masa disponible para realizar el proceso de combustión.

### 3C1.3 Factores de emisión (FE)

Los FE utilizados para este informe provienen de los valores por defecto provistos por el Cuadro 2.5 de las Directrices 2006 para bosques extra tropicales, tropicales, sabanas y pastizales.

### 3C1b. Emisiones por quema de biomasa en tierras de cultivo

Estas emisiones incluyen las emisiones de GEI procedentes de las quemas de los residuos agrícolas de las cosechas. La metodología más adecuada para implementar fue la de nivel 1 de las Directrices 2006 (ecuación 2.27), conforme al árbol de decisiones del cap. 2, vol. 4 de las Directrices 2006 (Figura 2.6).

#### 3C1b.1 Datos de actividad (DA)

Para el cálculo de emisiones de esta subcategoría de emisión se utilizó como fuente de información la estadística de superficies sembradas, cosechadas y rendimientos de cultivos reportados en el SIAP.

Se determinó que los residuos agrícolas que se queman representan 10%, con base en las recomendaciones del IPCC (2000) y de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés; 2017). La biomasa quemada se determinó mediante el producto de la superficie quemada (ha), el rendimiento (ton/ha) y el índice cultivo/residuo (ICR) desarrollado para diversos cultivos en México por Valdez- Vázquez et al. (2010). Como factor de combustión (CF) se aplicó la fracción de oxidación por defecto (90%) establecida en las Directrices 2006. En la Tabla 36, se muestran las superficies incendiadas por cultivo, con datos provenientes del SIAP, se presentan los 10 más representativos

Tabla 36. Superficies incendiadas por tipo de cultivo (Ha)

Cultivo	2022
Pastos y praderas	47,032.5
Maíz grano	12,387.1
Henequén	871.8
Soya	736.2
Jatropha	75.1
Sorgo grano	73.0
Frijol	53.9
Frijol x pelón	24.2
Sorgo forrajero en verde	12.8
Maíz forrajero en verde	6.9

- Fuente: Elaboración propia.

### 3C1b.2 Factores de emisión (FE)

Los FE de metano (CH<sub>4</sub>) para la quema de residuos agrícolas provienen del estudio (Múgica-Álvarez, 2016) para el maíz (factor de g/kg MS quemada de 2.29 para CH<sub>4</sub> y 0.07 para N<sub>2</sub>O). Para algunos cultivos se consideraron los factores de la Tabla 37.

Tabla 37. Factores por cultivo agrícola

Cultivo	g/kg MS quemada	
	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
Caña de azúcar	2.29	0.07
Sorgo Forrajero	2.29	0.07
Sorgo Grano	2.02	0.07

Fuente: Gobierno Yucatán (2021)

Para el resto de los cultivos y las emisiones de N<sub>2</sub>O se usa el FE por defecto de las Directrices 2006 (Cuadro 2.5, vol. 4, cap. 2).

### 3C1b.3 Incertidumbres y coherencia de las series temporales

La incertidumbre del DA (superficie quemada) se calculó en 89.6% y 22.8% para la superficie cultivada incendiada.

La incertidumbre de los FE utilizados para estimar las categorías [3C1a] y [3C1c] se tomó de los provistos por el Cuadro 2.5 del IPCC (IPCC 2006d), por tipo de gas y categoría, estando en un rango de 0.9% a 2.0% para las emisiones de CH<sub>4</sub> y de 0.07% y 0.10% para las de N<sub>2</sub>O. Para la categoría [3C1b] la incertidumbre proviene de lo reportado por Múgica-Álvarez (2016) por tipo de cultivo de maíz 0.20%. Se estimó una incertidumbre de 139.65

La serie se considera coherente en el tiempo al emplearse la misma metodología y completa al tener una cobertura geográfica.

### 3C1b.4 QA/QC de la categoría y verificación

Esta categoría sigue los principios generales de QA/QC incluidos en la Introducción.

### 3C1b.5 Mejoras previstas específicas de cada categoría

No se prevén planes de mejora a corto plazo en esta categoría.

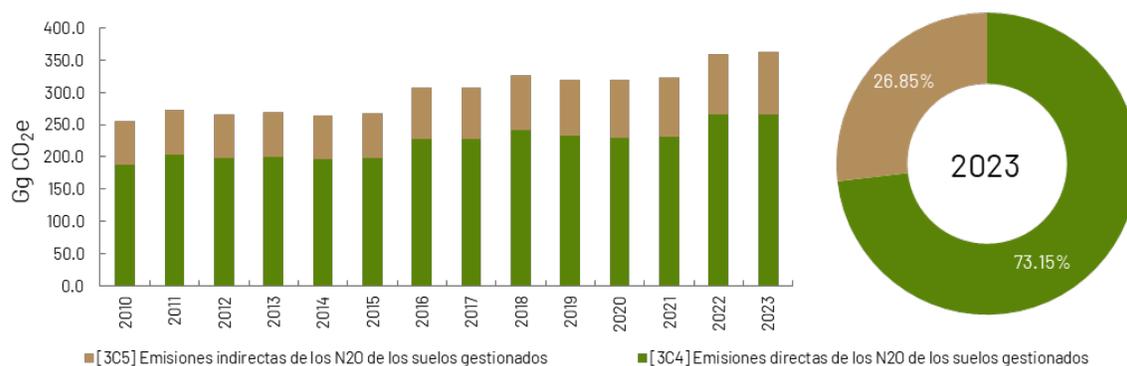
### 3C4-3C5 Suelos gestionados

Estas categorías integran las emisiones directas e indirectas de N<sub>2</sub>O debidas a las aportaciones de nitrógeno en los suelos gestionados derivadas de las actividades agrícolas. De forma natural, el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) es generado mediante procesos de nitrificación y desnitrificación, por lo que, al aumentar la disponibilidad del nitrógeno en el suelo, la producción de N<sub>2</sub>O que es emitido a la atmósfera se ve incrementada. Las emisiones indirectas de N<sub>2</sub>O se originan a partir de la pérdida del nitrógeno aplicado en los suelos por dos vías principales: 1) volatilización y posterior deposición de compuestos nitrogenados como amoníaco (NH<sub>3</sub>) y óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>); y 2) lixiviación y escorrentía.

En 2023, las emisiones directas e indirectas de suelos gestionados (categorías [3C4] y [3C5]) contabilizaron 362.4 Gg CO<sub>2</sub>e (265.1 y 97.3 GgCO<sub>2</sub>e, respectivamente), lo que supone un incremento promedio de 40.9% (40.6% y 41.6%) respecto al año 2010. La evolución de las emisiones a lo largo del periodo se muestra en la Figura 35.

Asimismo, es importante destacar el incremento de todas las variables analizadas, es decir los datos asociados al uso de fertilizantes nitrogenados. La Tabla 38, muestra las superficies sembradas, cosechadas y producción de los cultivos, así como la superficie fertilizada estimada.

Figura 35. Emisiones directas e indirectas de N<sub>2</sub>O en los suelos gestionados, [3C4] y [3C5] (Gg CO<sub>2</sub>e)



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 38. Estadísticas de producción agrícola y superficie fertilizada calculada

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2023
Superficie sembrada (miles de hectáreas)	732.29	695.28	745.84	701.60	745.30	731.75	707.33	707.15	670.64	576.41	702.27	646.74	599.59
Superficie cosechada (miles de hectáreas)	658.99	481.76	714.42	690.01	734.91	708.82	695.44	697.94	630.66	565.36	689.80	640.13	589.89
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2023
Producción (millones de toneladas)	6.78	5.12	8.56	7.89	8.26	7.02	8.36	8.50	8.59	7.67	7.49	9.12	9.66
Superficie fertilizada estimada (miles de hectáreas)	417.35	360.97	424.64	415.66	340.87	389.54	423.06	465.41	382.21	400.24	400.24	368.59	341.71

Fuente: Elaboración propia.

### 3C4-3C5.1 Metodología

Las emisiones directas e indirectas de N<sub>2</sub>O en los suelos gestionados se estiman con la metodología de nivel 1 del Refinamiento 2019 (cap. 11, vol. 4), conforme a los árboles de decisión (Figuras 11.2 y 11.3), lo que resulta en la aplicación de las ecuaciones 11.1, 11.9 y 11.10.

En la presente actualización del inventario se consideraron las siguientes fuentes de incorporación de nitrógeno: fertilizantes sintéticos nitrogenados (FSN); estiércol depositado

en pasturas y praderas por animales en pastoreo (FPRP), y residuos agrícolas (aéreos y subterráneos) de cultivos (FCR).

En general en el país, los estiércoles tratados en granja no tienen como destino su aplicación a los cultivos. Los estiércoles sólidos se acumulan en la granja, mientras que los líquidos son vertidos a las aguas. No se han estimado las emisiones de mineralización. Los histosoles no ocurren (NO) en México.

### **3C4-3C5.2 Datos de actividad (DA)**

A continuación, se describen los DA por fuentes de incorporación de nitrógeno.

#### **Fertilizantes sintéticos nitrogenados (FSN)**

El DA es la cantidad de nitrógeno aplicado a los suelos proveniente de fertilizantes sintéticos. Este dato se calculó a partir de la superficie fertilizada estatal y las dosis de fertilizante por Estado recomendadas en las agendas técnicas agrícolas estatales por cultivo publicadas por el INIFAP (2021). Se asume que del total de superficie fertilizada con urea el 46% de los kilogramos de fertilizante estimados corresponde al componente de nitrógeno (Morales, et al, 2021).

#### **Estiércol depositado en pasturas y praderas por animales en pastoreo (FPRP)**

El estiércol depositado por animales en pastoreo se estima según la metodología de la subcategoría [3A2] Gestión de estiércol.

#### **Residuos agrícolas (aéreos y subterráneos) reincorporados al suelo en tierras de cultivo (FCR)**

Los insumos utilizados para el cálculo del nitrógeno contenido en los residuos de los cultivos de acuerdo con las ecuaciones 11.6 y 11.7 del Refinamiento 2019 fueron: a) estadísticas de superficies cosechadas y producción en verde de cultivos reportados en el SIAP, b) valores por defecto del Cuadro 11.1A del refinamiento a las Directrices del IPCC (IPCC 2019), con excepción de los índices cultivo: residuo disponibles para algunos cultivos del país (Valdez-Vázquez et al., 2010); c) fracción de residuos predeterminado; d) cantidad total anual de residuo de cultivo, determinada en el inventario nacional; e) fracción de biomasa quemada, la cual se asumió en 10% de acuerdo con el manual de buenas prácticas del IPCC (2000), y f) factores de combustión conforme al Cuadro 2.6 del vol. 4, cap. 2 de las Directrices 2006.

En la Figura 36, se muestra la evolución de los insumos de nitrógeno a los suelos gestionados

Figura 36. Insumos de nitrógeno a los suelos gestionados (miles t N)



Fuente: Elaboración propia.

### 3C4-3C5.3 Factores de emisión (FE)

Respecto a las emisiones directas, para las fuentes de nitrógeno FSN, FPRP y FCR, se utilizaron los FE desagregados que se muestran en los Cuadros 11.1 y 11.1A del Refinamiento 2019. Para definir las condiciones de humedad para la selección de los factores, se obtuvieron los datos de precipitación media anual estatal reportados por el Sistema Meteorológico Nacional (SMN, 2021). Para el cálculo de las emisiones indirectas se debe calcular la deposición atmosférica y la estimación de la volatilización de  $\text{NH}_3$  y  $\text{NO}_x$ .

Para ello se utilizaron los FE desagregados por tipo de fertilizante que se señalan en el cuadro 11.3 (vol. 4, cap. 11) del Refinamiento 2019.

### 3C4-3C5.4 Incertidumbres y coherencia de las series temporales

La incertidumbre de los DA se tomó conforme a la recomendación de las Directrices 2006, siendo de 41.6%. La incertidumbre de los FE se tomó de los datos provistos en los cuadros 11.1 y 11.3 del Refinamiento 2019. Las incertidumbres estuvieron en un rango entre 0.013% y 0.019% para las emisiones de nitrógeno por fertilizantes en clima húmedo, de 0.0% a 0.026% para las emisiones de nitrógeno por FPRP en climas húmedos. Para la volatilización, la incertidumbre del FE estuvo en un rango de entre 0.011% y 0.017% para clima húmedo. Asimismo, se consideró la incertidumbre de las fracciones de volatilización y lixiviación (FRACGASF por tipo de fertilizante, FRACGASM y FRACLEACH) que se señalan en la tabla 11.3. La serie se considera coherente en el tiempo al emplearse la misma metodología y completa al tener una cobertura geográfica.

Se estimó una incertidumbre para [3C4] de  $\pm 47.34\%$  (139.62 a 390.59 GgCO<sub>2</sub>e) y para [3C5] de  $\pm 46.90\%$  (51.68 a 142.97 GgCO<sub>2</sub>e).

### 3C4-3C5.5 QA/QC de la categoría y verificación

Se realizó una comparación entre las cantidades estimadas y su proporción entre las cantidades reportadas a nivel estatal y nacional, se considera que son acordes.

Los DA y FE de esta subcategoría siguen los principios generales de QA/QC incluidos en la Introducción.

### 3C4-3C5.6 Mejoras previstas específicas de cada categoría

Se planean las siguientes mejoras:

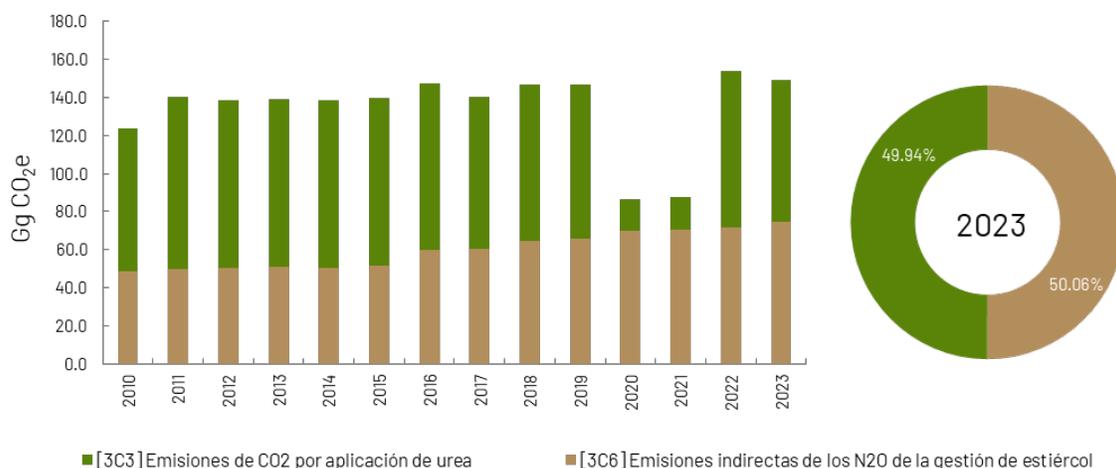
- Refinamiento de las estimaciones de lixiviación y escurrimiento teniendo en cuenta la diferenciación del clima húmedo para el valor de FRACLEACH.
- Revisión detallada de los supuestos de uso de los estiércoles en granja en relación con su aplicación al campo y estimación de sus emisiones dentro de estas categorías, si fuera necesario.
- Actualización de los cálculos para incluir las emisiones por mineralización.

### 3C3-3C6 Otras fuentes de emisión

En este apartado se incluye la información sobre las subcategorías: [3C3] Emisiones de CO<sub>2</sub> por aplicación de urea y [3C6] Emisiones indirectas de los N<sub>2</sub>O de la gestión del estiércol. La primera refleja las emisiones derivadas de agregaciones directas a los suelos gestionados como es el caso de carbonatos en forma de cal (p. ej., piedra caliza cálcica (CaCO<sub>3</sub>) o dolomita (CaMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>) y la incorporación de urea a los suelos durante la fertilización. La segunda, [3C6], se relaciona con la volatilización, escurrimiento y lixiviación del nitrógeno contenido en el estiércol mientras es almacenado y tratado antes de su aplicación al suelo.

Según la disponibilidad de información, únicamente se estimaron las categorías [3C3] y [3C6], ya que el SIAP no reporta cultivo de arroz; tampoco se reporta uso de cal en actividades agrícolas. En 2023, la suma de emisiones de estas dos subcategorías alcanzó un total de 148.8 Gg CO<sub>2</sub>e (74.3 y 74.5 Gg CO<sub>2</sub>e respectivamente), lo que representa un incremento del 20% respecto al año 2010. La evolución de las emisiones a lo largo del periodo se muestra en la Figura 37. Para [3C3] se identifica una tendencia negativa y para [3C6] una tendencia al incremento de las emisiones durante el periodo de 2010 a 2023 con una TMCA de -0.03% y 3.3% respectivamente.

Figura 37. Emisiones de otras fuentes del sector agrícola (Gg CO<sub>2</sub>e)



Fuente: Elaboración propia.

### **3C3-3C6.1 Metodología**

En esta actualización, las emisiones por uso de urea [3C3] se estiman bajo los lineamientos de las Directrices 2006 (cap. 11, vol. 4); mientras que para las emisiones indirectas de N<sub>2</sub>O de la gestión del estiércol [3C6] se aplicaron las metodologías recogidas en el Refinamiento 2019 (vol. 4, capítulos 10 y 5 respectivamente). Conforme a los árboles de decisiones correspondientes a cada una de estas subcategorías (Figuras 11.4, 11.5, 10.4 y 5.2, respectivamente) se eligió la metodología nivel 1 como la más adecuada; sin embargo, debido a la disponibilidad de la información.

### **3C3-3C6.2 Datos de actividad (DA)**

Para las emisiones indirectas de N<sub>2</sub>O de la gestión del estiércol [3C6], el DA es la cantidad de nitrógeno excretado en cada tipo de manejo, el cual se obtuvo conforme a los insumos descritos en el apartado [3A2] Gestión de estiércol. Se consideraron los mismos tipos de manejo y de especies que para la subcategoría [3A2].

Para estimar la subcategoría [3C3], se asume que la superficie fertilizada emplea urea; esta superficie es retomada del SIAP, así como con las dosis de fertilizantes indicadas en las Agendas Técnicas del INIFAP por cultivo para el Estado y reportes del FIRA.

### **3C3-3C6.3 Factores de emisión (FE)**

Para la aplicación de urea, se usó el FE por defecto de CO<sub>2</sub> de las Directrices 2006 (0.20 t C/t urea).

Para las emisiones indirectas de N<sub>2</sub>O de la gestión del estiércol, para el nitrógeno de los animales con metodología de nivel 1, se utilizaron los valores por defecto de parámetros y FE señalados en los Cuadros 10.19, 10.22, 10.23 y 11.3 del Refinamiento 2019. Para los animales con metodología nivel 2 (bovino), los FE han sido estimados conforme a lo dictado en el Refinamiento 2019, utilizando datos específicos del país para la tasa de excreción de nitrógeno y la fracción de la excreción anual, obtenidos mediante la información de la revisión bibliográfica mencionada en el apartado metodológico de la subcategoría [3A1] Fermentación entérica (véase sección Metodología).

### **3C3-3C6.4 Incertidumbres y coherencia de las series temporales**

Las incertidumbres de los DA fueron los previstos por defecto por el IPCC en las Directrices 2006 (IPCC 2006a) para todas las subcategorías, para [3C3] fue de 0.5% y [3C6] de 1.57%.

Se utilizaron los valores señalados en los cuadros 10.19, 10.22, 10.23 y 11.3 para las emisiones de la subcategoría [3C6] y de los cuadros 5.11, 5.11A, 5.12 y 5.12 para [3C7] del Refinamiento 2019 (IPCC 2019) y de las Directrices 2006 (IPCC 2006d).

La serie se considera coherente en el tiempo al emplearse la misma metodología y completa al tener una cobertura geográfica.

Se estimó una incertidumbre para [3C3] de ±50.00% (37.16 a 111.48 GgCO<sub>2</sub>e) y para [3C6] de ±43.22% (-42.30 a -106.68 GgCO<sub>2</sub>e)

### **3C3-3C6.5 QA/QC de la categoría y verificación**

Esta categoría sigue los principios generales de QA/QC.

### **3C3-3C6.6 Mejoras previstas específicas de cada categoría**

No se prevén planes de mejora a corto plazo para el resto de las categorías.

## 3B Uso de la tierra, Cambios de Uso de la Tierra y Silvicultura, UTCUTS

En este informe, las estimaciones del subsector UTCUTS consideran las emisiones y sumideros de las categorías de las Directrices 2006 de [3B] Tierra y [3D] Otros. Las estimaciones de [3D1] se deben a los productos de madera recolectada (PMR)<sup>6</sup> y cubren el periodo 2010-2023. Sin embargo, las estimaciones para [3B] Tierra contemplan el periodo 2000-2023 debido a que se dispone de imágenes satelitales a partir del año 2000.

### 3B.1 Descripción de la categoría Tierra

Las estimaciones de [3B] Tierra se realizaron utilizando las Directrices del IPCC 2006 (IPCC 2006d) y comprenden el periodo de 2000 al 2023. Se reportan los flujos de CO<sub>2</sub> relacionados con las tierras y el cambio de uso del suelo, particularmente:

- Tierras forestales y praderas que permanecen
- Tierras forestales convertidas a otros usos del suelo (deforestación)
- Otros usos del suelo convertidos en tierras forestales y praderas
- Pérdida de praderas
- Otros usos de suelo convertidos en otras tierras (humedales, asentamientos, cultivos y otras tierras).

Las emisiones netas del sector [3B] Tierra en 2023 fueron de -13,090.59 Gg de CO<sub>2</sub>e y en la Tabla 39 se presentan las emisiones/absorciones de GEI desglosadas por subcategoría y tipo de transición. Se observa que la mayor emisión de GEI en 2023 se originó por los pastizales y la conversión de Tierras forestales a Otros Usos de la Tierra, que ocasionan la liberación de 2,522.85 Gg CO<sub>2</sub>e; por el contrario, la permanencia de tierras forestales permitió la absorción de -15,613.44 Gg CO<sub>2</sub>e. Los valores negativos corresponden a absorciones y los positivos a emisiones.

Tabla 39. Emisiones de GEI por subcategoría de [3B] Tierra y por tipo de transición (GgCO<sub>2</sub>e), 2023

Código del IPCC	Subcategoría/transición		Emisiones netas (Gg de CO <sub>2</sub> e)
<b>3B1</b>	<b>Tierras forestales</b>		<b>-15,613.44</b>
3B1a	Tierras forestales que permanecen como tal		-14,566.58
3B1b	Tierras convertidas a tierras forestales		-1,046.86
	CL-FL	Tierras de cultivo convertidas en tierras forestales	-84.09
	GL-FL	Praderas convertidas en tierras forestales	-962.77
<b>3B2</b>	<b>Tierra de cultivo</b>		<b>354.99</b>
3B2a	Tierras de cultivo que permanecen como tal		0.00
	CL-CL	Tierras de cultivo que permanecen, agricultura perenne	0
3B2b	Tierras convertidas a tierras de cultivo		354.99

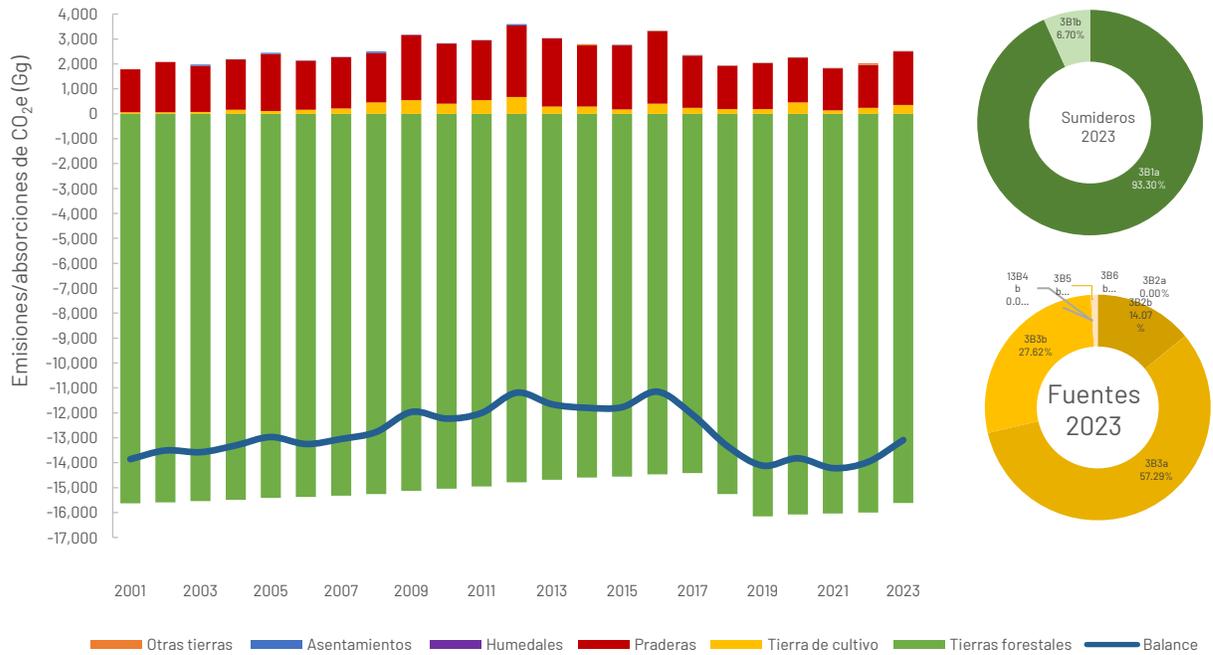
<sup>6</sup> En inglés HWP, por Harvest Wood Products

Código del IPCC	Subcategoría/transición		Emisiones netas (Gg de CO <sub>2</sub> e)
	FL-CL	Tierras forestales que pasan a Tierras de cultivo	349.0
	GL-CL	Praderas que pasan a Tierras de cultivo	5.97
<b>3B3</b>	<b>Praderas</b>		<b>2,142.32</b>
3B3a	Praderas que permanecen como tal		1,445.46
	GL-GL	Praderas que permanecen como tal	1,445.46
3B3b	Tierras convertidas en praderas		696.85
	FL-GL	Tierras forestales que pasan a Praderas	696.9
	CL-GL	Tierras de cultivo que pasan a Praderas	0.00
<b>3B4</b>	<b>Humedales</b>		<b>0.00</b>
3B4b	Tierras convertidas en humedales		0.00
	FL-WL	Tierras forestales que pasan a Humedales	0.00
	GL-WL	Praderas que pasan a Humedales	0.00
<b>3B5</b>	<b>Asentamientos</b>		<b>5.91</b>
3B5b	Tierras convertidas en asentamientos		5.91
	FL-SL	Tierras forestales que pasan a Asentamientos	4.728
	GL-SL	Praderas que pasan a Asentamientos	1.18
<b>3B6</b>	<b>Otras tierras</b>		<b>19.63</b>
3B6b	Tierras convertidas en otras tierras		19.63
	FL-OL	Tierras forestales que pasan a Otras tierras	19.63
	GL-OL	Praderas que pasan a Otras Tierras	0
<b>Total [3B] Tierra</b>			<b>-13,090.59</b>

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 38, se presentan las emisiones y sumideros en CO<sub>2</sub>e de [3B] Tierra con desglose por uso del suelo. Las absorciones de CO<sub>2</sub> estimadas proceden principalmente de la permanencia de las tierras forestales. Las absorciones totales en 2023 disminuyeron 7.3% respecto al 2001, alcanzando -1,067.66 Gg CO<sub>2</sub>e.

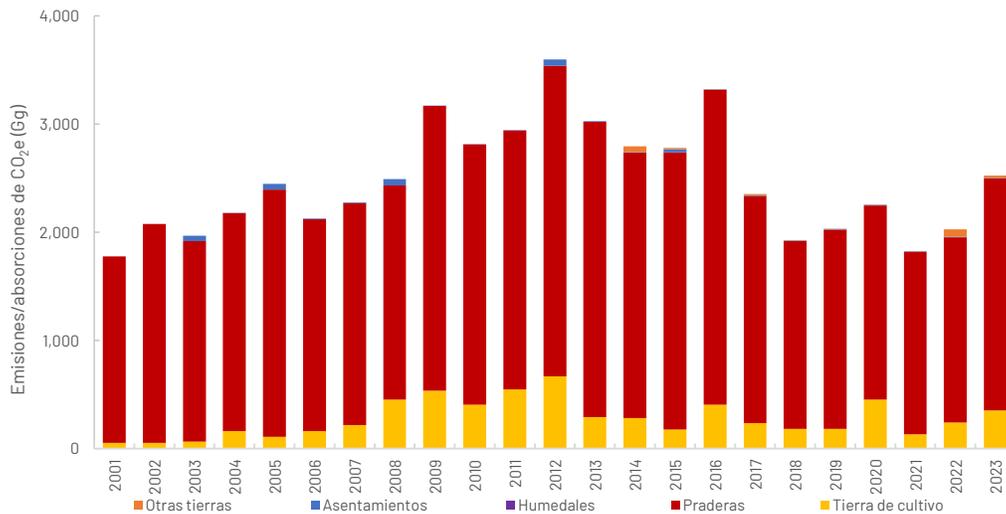
Figura 38. Evolución de las emisiones de CO<sub>2</sub>e del subsector [3B] Tierra



Fuente: Elaboración propia.

La Figura 39, es la misma información sin [3B1] Tierras forestales (dominante en los sumideros) para poder apreciar el comportamiento del resto de usos del suelo. Se observa que la mayor parte de las emisiones provienen de la pérdida de la biomasa de las Tierras forestales principalmente hacia Praderas (27.6%). La segunda fuente de emisiones deriva de la deforestación de Tierras forestales hacia Tierras de cultivo (34.2%).

Figura 39. Evolución de las emisiones de CO<sub>2</sub>e del subsector [3B] Tierra sin [3B1] Tierras forestales



Fuente: Elaboración propia.

## 3B.2 Definición de Tierra

De acuerdo con las Directrices del IPCC 2006, hay seis categorías generales, consideradas como la base para la estimación y declaración de emisiones y absorciones de GEI derivadas del uso de suelo y de los cambios de uso de suelo. Los usos del suelo pueden considerarse como categorías de primer nivel que representan generalidades y cubren la totalidad de la superficie, con subcategorías que describen circunstancias especiales significativas para la estimación de las emisiones y de las que se dispone de datos (INECC-SEMARNAT, 2018).

Las seis categorías generales definidas por el IPCC, con las que se puede reportar y estimar el carbono almacenado y las emisiones y absorciones de GEI asociadas con las actividades del sector [3B] Tierra se muestran en la Tabla 40.

Tabla 40. Definiciones de las categorías de [3B] Tierra de acuerdo con el IPCC, 2006

Categoría IPCC <sup>7</sup>	Definición
Tierras forestales (FL)	Esta categoría incluye toda la tierra con vegetación boscosa coherente con los umbrales utilizados para definir las tierras forestales en el inventario de gases de efecto invernadero, es decir, con una cobertura del dosel superior al 10%, con especies leñosas de más de 4 metros de altura o que potencialmente podrían alcanzar in situ, y con una extensión mínima de 1 hectárea.
Tierras de cultivo (CL)	Esta categoría incluye la tierra cultivada, incluidos los arrozales y los sistemas de agrosilvicultura donde la estructura de la vegetación se encuentra por debajo de los umbrales utilizados para la categoría de tierras forestales. Son los terrenos o tierras destinadas a la agricultura perenne o anual.
Praderas (GL)	Esta categoría incluye las tierras de pastoreo y los pastizales que no se consideran tierras de cultivo. Incluye también los sistemas con vegetación boscosa y otra vegetación no arbórea, como las hierbas y la maleza que están por debajo de los valores (cobertura del dosel menor al 10%). La categoría también incluye todos los pastizales, desde las tierras sin cultivar hasta las zonas de recreo, así como los sistemas silvo-pastoriles, coherentes con las definiciones nacionales.
Humedales (WL)	Incluye las tierras cubiertas de agua durante todo el año como las presas, terrenos destinados a la piscicultura, acuicultura y cuerpos de agua.
Asentamientos (SL)	Esta categoría incluye toda la tierra desarrollada, incluidas las infraestructuras de transporte (caminos y carreteras) y los asentamientos humanos de cualquier tamaño.
Otras tierras (OL)	Esta categoría incluye el suelo desnudo, roca y todos los terrenos descubiertos de vegetación y que no son asentamientos.

Fuente: Elaboración propia.

## 3B.3 Enfoque para representar superficies, y bases de datos de Tierra

La Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) diseñó e implementó el Sistema Nacional de Monitoreo Forestal (SNMF) para generar información geoespacial sobre la dinámica de la cobertura de los ecosistemas forestales, incluyendo la deforestación y degradación forestal.

<sup>7</sup> Las abreviaturas provienen de los nombres en inglés, que son de uso internacional para efectos de los inventarios hechos con la metodología del IPCC: Tierras forestales: Forest lands (FL); Praderas: Grass lands (GL); Tierras agrícolas o de cultivo: Crop lands (CL); Humedales: Wetlands (WL); Tierras con asentamientos humanos: Settlements (S), y Otras tierras: Other lands (OL).

La implementación óptima del SNMF contempla tres componentes esenciales: (i) el Inventario Nacional Forestal y de Suelos (INFyS) dedicado a la colecta, gestión y análisis de datos de campo para la generación de indicadores forestales; (ii) el sistema Satelital de Monitoreo Forestal (SAMOF), componente que se apoya en la percepción remota para el análisis de la cobertura de suelo y sus cambios originados por causas naturales o antrópicas para así estimar la degradación y las tasas de deforestación del país; y (iii) el Sistema Nacional de Monitoreo, Reporte y Verificación (SNMRV), dedicado a la estimación y reporte de flujos de emisiones de GEI en el sector forestal.

A nivel nacional, la CONAFOR ha diseñado una metodología para cuantificar las emisiones/absorciones de gases de efecto invernadero de la parte forestal a través del enfoque de muestreo sistemático, a través de una malla nacional de muestreo basada en INFyS, según las siguientes etapas:

- a) Diseño de una malla de muestreo sistemática con 3 equidistancias (2.5x2.5 km, 5x5 km y 10x10 km). El diseño de esta malla de muestreo se anidó en el diseño de muestreo del INFyS.
- b) Diseño de la unidad de muestreo, la cual consistió en parcelas cuadradas de 100 x 100 m, localizadas sobre las coordenadas centrales de los conglomerados del INFyS.
- c) Establecimiento de los criterios y la jerarquía de clasificación de cobertura y uso del suelo para la interpretación de las parcelas de muestreo.
- d) Realización una interpretación visual multi-temporal de categorías de cambio de cobertura y uso de suelo con imágenes satelitales de muy alta, alta y mediana resolución en el periodo de análisis.
- e) Captura de la información analizada en la interpretación visual en un cuestionario elaborado en la herramienta Collect Earth, construcción de base de datos e implementación de controles calidad.
- f) Realización de un análisis estadístico a nivel estatal para estimar. La estimación de las tasas de deforestación se realizó considerando área total del estado y una estratificación de Ecorregión Nivel 1 e intensidad de muestreo de 2.5x2.5 km, 5x5 km y 10x10 km, según corresponda.

Cuando se aplica este método, se cubre la superficie de análisis por un determinado número de puntos de muestra y se determina el cambio de uso de la tierra para cada punto. El punto de muestra corresponde al diseño de una parcela empleada para la interpretación, la cual tiene la forma geométrica de un cuadrado de una hectárea (10,000 m<sup>2</sup>). Asimismo, dentro de cada parcela y de manera sistemática se distribuyen 25 puntos equidistantes, separados a 20 m. Con base en esta referencia, se contabilizó los puntos que interceptaron con cada elemento, usados como guía para evaluar el porcentaje de cobertura de cada elemento dentro de la parcela.

Las parcelas de muestreo de esta malla se localizaron sobre las coordenadas centrales de los conglomerados (CGL) del INFyS. Cada conglomerado, tiene una forma circular con una superficie de 10,000 m<sup>2</sup>, compuesto a su vez por conglomerados por 4 sitios de muestreo con una superficie de 400 m<sup>2</sup> cada una, dispuestas en forma de "Y" invertida. Los elementos estadísticos bajo este diseño de muestreo permitieron estimar la confiabilidad del inventario e intensificar el muestreo en zonas con mayor dinámica de cambio y con estructuras vegetativas más complejas

Con el análisis de los puntos de muestreo, a nivel nacional se clasificaron las coberturas de suelo en 34 clases, de las cuales 15 se encuentran en el Estado de Yucatán. Las coberturas de suelo del fueron homologadas a las seis clases que recomienda el IPCC en sus directrices de inventarios nacionales, como se muestra en la Tabla 41.

Tabla 41. Correspondencia entre las clases de las series del INEGI y las categorías del IPCC

Número	Clases de cobertura de suelo (CCS) SAMOF	Clase IPCC
1	Bosque Cultivado	[3B1] Tierras Forestales
2	Selva Baja y Mediana Subperennifolia	[3B1] Tierras Forestales
3	Manglar y Petén	[3B1] Tierras Forestales
4	Selva Baja Caducifolia Subcaducifolia	[3B1] Tierras Forestales
5	Selva Mediana Caducifolia y Subcaducifolia	[3B1] Tierras Forestales
6	Popal	[3B3] Pastizal
7	Tular	[3B3] Pastizal
8	Vegetación de Dunas costeras	[3B3] Pastizal
9	Vegetación Halófila Hidrófila	[3B3] Pastizal
10	Pastizales Naturales	[3B3] Pastizal
11	Pastizales Cultivado e Inducido	[3B3] Pastizal
12	Tierras Agrícolas - Cultivos perennes	[3B2] Tierras de Cultivo
13	Tierras Agrícolas - Cultivos anuales	[3B2] Tierras de Cultivo
14	Urbano y Construido	[3B5] Asentamientos Humanos
15	Suelo Desnudo	[3B6] Otras Tierras
16	Agua	[3B4] Humedales

Fuente: CONAFOR, 2020.

Las 34 clases de cobertura de suelo a nivel nacional se dividen en 7 ecorregiones terrestres. Las ecorregiones son unidades geográficas con flora, fauna y ecosistemas característicos, mediante las cuales el país se divide en grandes "ecozonas" o regiones biogeográficas. Por otra parte, de acuerdo con el IPCC 2006, en los ecosistemas forestales el carbono se distribuye en cinco reservorios: biomasa viva por encima del suelo (biomasa aérea), biomasa viva por debajo del suelo (biomasa subterránea), madera muerta sobre el suelo, mantillo y carbono orgánico del suelo (COS). Los criterios para la definición de cada reservorio en presenta en la Tabla 42.

Tabla 42. Descripción de los reservorios de carbono

Reservorio	Descripción
Biomasa aérea	La biomasa y carbono estimado por registro vivo de arbolado y vegetación mayor (para todas sus ramas) se sumó por sitio del INFyS.
Biomasa Subterránea	Toda la biomasa de las raíces vivas. A menudo, las raíces finas, de menos La biomasa subterránea está formada por todas aquellas raíces las raíces vivas finas, mayores o iguales 2 mm de diámetro. Las menores a 2 mm de diámetro se excluyen de este almacén ya que empíricamente no se las puede distinguir de la materia orgánica del suelo o del mantillo.

Reservorio	Descripción
Madera Muerta	La Madera Muerta (MM) está constituida por biomasa leñosa muerta, madera muerta en pie, madera muerta de los tocones y de la madera muerta tirada sobre el piso (que no forma parte del mantillo). Dentro del área de muestreo (sitios de 400m <sup>2</sup> ) se registra la madera muerta en pie, la cual incluyó todos los registros mayores o iguales a 7.5 cm de diámetro normal (a 1.3 m de altura desde la base del individuo) y mayores o iguales a 1.3 m de altura. En la misma superficie se incluyen los tocones, como todos aquellos registros mayores o iguales 10 cm de diámetro en su límite superior y menores a 1.3 m de altura. Mediante líneas de intersección (Martín et al, 2012) se registra la madera muerta sobre el piso o material leñoso caído (MLC) está formado por todas aquellas ramas o tallos mayores a 2mm de diámetro.
Mantillo	El mantillo incluye 2 subcomponentes o sub-almacenes, a) hojarasca (HO) y b) capa de fermentación (F). Por un lado, la HO es la capa más superior del horizonte orgánico del suelo resultado de hojas y acículas recientemente caídas con una mínima alteración por la descomposición que conservan en mayor medida su estructura original. Por otro lado, la F se encuentra por debajo de la capa HO, donde encontramos materia orgánica que ha perdido completamente su estructura original y se encuentra en diferentes estados de descomposición.
Materia orgánica del suelo	En esta sección se Incluye el carbono orgánico contenido en suelos minerales hasta una profundidad de 30 cm y aplicada coherentemente a lo largo de la serie temporal 2000-2016. Las raíces finas vivas y muertas y la materia orgánica muerta que se encuentran dentro del suelo y que miden menos que el límite de diámetro mínimo (sugerido 2 mm) para raíces y materia orgánica muerta se incluyen con la materia orgánica del suelo cuando no se las puede distinguir de esta última empíricamente. El valor por defecto para la profundidad del suelo es de 30 cm.

Fuente: CONAFOR, 2020.

Para determinar las pérdidas o ganancias de contenido de carbono forestal en los reservorios, que a su vez pueden traducirse en emisiones o absorciones, se requiere determinar el cambio o permanencia de las superficies de las clases de cobertura de suelo en un periodo de tiempo:

- Permanencias. Aquellas clases de cobertura de suelo con contenido de carbono forestal que en un periodo de tiempo mantienen la misma clasificación, sin embargo, debido a factores antropogénicos o naturales pueden incrementar o reducir su contenido de carbono que resulta en absorciones o emisiones.
- Recuperación. Aquellas clases de cobertura de suelo que contribuyen a incremento en el contenido de carbono. Por ejemplo, las tierras convertidas a tierras forestales, cuyo cambio resulta en absorciones.
- Deforestación. Aquellas clases de cobertura de suelo que contribuyen a una reducción de su contenido de carbono. Por ejemplo, las tierras forestales convertidas a otros usos, cuyo cambio resulta en emisiones.

Se identificaron las permanencias o cambios en las clases de coberturas de suelo del IPCC; es decir, las transiciones que contribuyen a emisiones o absorciones. En total son 36 transiciones, algunas de las cuales son consideradas como permanencias, que corresponden a las superficies de las clases de cobertura de suelo con contenido de carbono, que en el periodo evaluado no cambian su clasificación, entre las cuales se encuentra: tierras forestales (TF), pastizales (P) y tierras de cultivo (TC). La deforestación corresponde a las

transiciones que reducen el contenido de carbono en el periodo evaluado de una superficie de tierra forestal a otros usos de la tierra (Pastizales, Tierras de cultivo, asentamientos humanos, humedales y otras tierras). La recuperación debido al incremento del contenido de carbono, por cambio en el periodo evaluado de otros usos de la tierra (Pastizales, Tierras de cultivo, asentamientos humanos, humedales y otras tierras) hacia una superficie de tierra forestal. También, pueden presentarse emisiones o absorciones por otros cambios de superficies que involucran la pérdida o recuperación biomasa tales como las pérdidas o recuperación de pastizales.

Para determinar las transiciones de cobertura de suelo en el estado de Yucatán se empleó información de 4,396 parcelas anidadas al INFyS. Las parcelas se distribuyeron sistemáticamente de la siguiente manera:

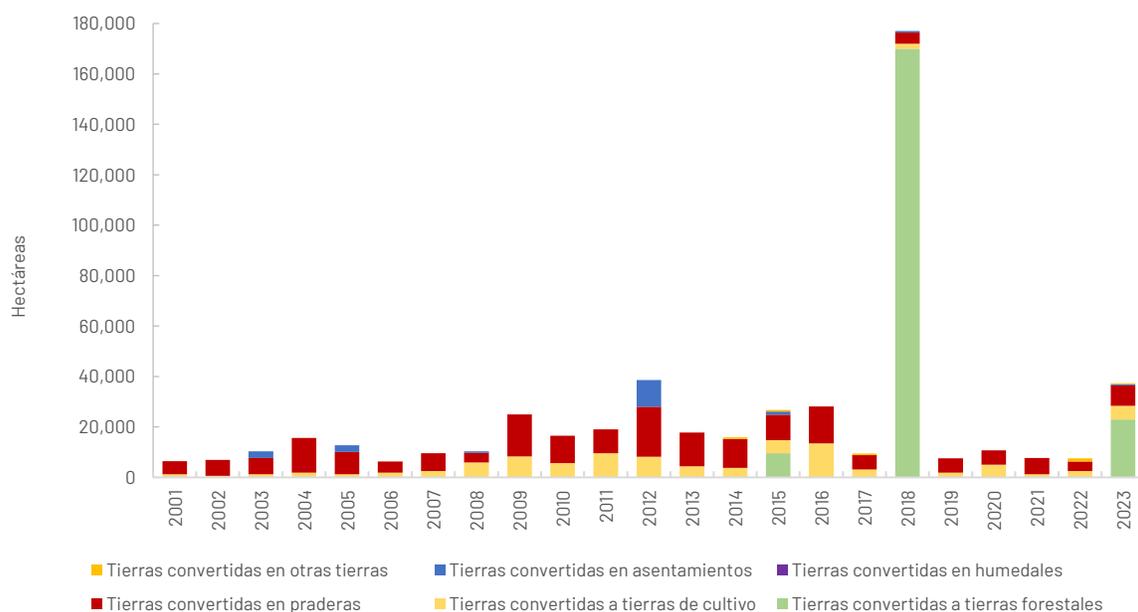
- Las equidistancias de 10 X 10 km corresponden principalmente a superficies con coberturas de suelo áridas
- Parcelas distribuidas en equidistancias de 5 X 5 km que corresponden a superficies que contienen principalmente selvas bajas
- Parcelas con equidistancias de 2.5 X 2.5 km, que corresponden a superficies que contienen principalmente selvas medianas.
- Asimismo, en la distribución de estas parcelas se consideró las ecorregiones de selvas cálido húmedas y selvas cálido secas

La superficie del estado de Yucatán es 3,944,749 ha, en la cual se distribuyeron las parcelas, de acuerdo con las equidistancias y ecorregión de análisis.

En cada ecorregión-equidistancia se contabilizó el número total de parcelas y su distribución para todas las transiciones IPCC en cada uno de los años para el periodo 2000-2018. Posteriormente, se calculó la proporción por cada transición en la que se detectó algún cambio en las clases de cobertura IPCC (tierras forestales, pastizales, tierras de cultivo, asentamientos humanos, humedales y otras tierras) en cada año del periodo evaluado, dividiendo la cantidad de parcelas identificados en cada transición IPCC y para cada ecorregión-equidistancia, entre el número total de parcelas de esa ecorregión-equidistancia. Las estimaciones de superficie para cada ecorregión-equidistancia y transición IPCC se obtuvieron multiplicando la proporción por la superficie total del área analizada.

En la Figura 40, se muestran las superficies por uso diferenciado de las áreas que se encuentran en transición. Las superficies en transición son el valor acumulado de los cambios anuales entre dos usos en el periodo analizado en línea con los requisitos de estimación de las Directrices 2006.

Figura 40. Evolución de las superficies en cambio de uso, 2001-2023



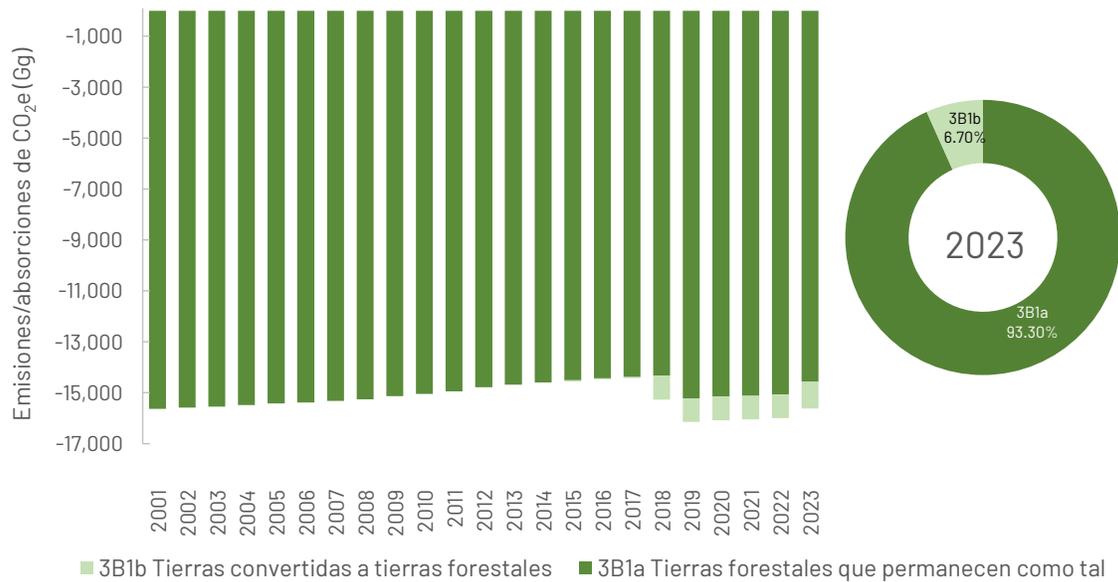
Fuente: Elaboración propia.

### 3B1.1 Tierras forestales

Las emisiones en Tierras forestales (FL), incluidos dos de los cinco reservorios de carbono<sup>8</sup>, se calcularon a partir de las proporciones de superficie para la malla sistemática-equidistante. [3B1] Tierras forestales, es un sumidero que en 2023 alcanzó -13,090.59 Gg de CO<sub>2</sub>e, y en los últimos 23 años, se observa una pérdida del 0.1% de las absorciones, particularmente por la disminución de la cobertura vegetal hacia praderas (GL) y tierras de tierras de cultivo (CL). [3B1a] Tierras forestales que permanecen, es el principal sumidero con el 93.3% de las absorciones para la categoría Tierras forestales (Figura 41).

<sup>8</sup> Biomasa aérea y biomasa subterránea.

Figura 41. Emisiones y absorciones de [3B1] Tierras forestales (Gg de CO<sub>2</sub>e), 1993-2023



Fuente: Elaboración propia.

### 3B1.2 Metodología

Las Tierras forestales [3B1] se clasifican en dos secciones y las emisiones/absorciones se calculan por separado:

- [3B1a] Tierras forestales que permanecen como Tierras forestales (FF):
- [3B1b] Tierras convertidas en tierras forestales (CONVL-FL).

Para obtener los datos de carbono para cada año, se elaboró una matriz de contenidos de carbono por depósito, en la que a cada una de las parcelas se asignó un contenido de carbono para cada año del periodo 2000-2022. Los contenidos de carbono de la biomasa aérea (BA), biomasa subterránea (BS), Madera Muerta (MM) y Mantillo (Man), fueron obtenidos del levantamiento de información del Inventario Nacional Forestal y de Suelos (INFyS), y empleando la clasificación de las transiciones de clases de cobertura IPCC.

El levantamiento de información de acuerdo con la metodología del INFyS corresponde a vegetaciones arbóreas y arbustivas con diámetros a la altura del pecho mayores a 7.5 cm y dada la importancia estas vegetaciones para las estimaciones de carbono forestal, en el presente inventario se aplicó un factor de ajuste para la biomasa aérea de la vegetación de diámetro pequeño y así evitar una posible subestimación de los contenidos de carbono. El factor de ajuste fue desarrollado y proporcionado por investigadores del Centro de Investigación Científica de Yucatán (Hernández-Stefanoni J.L y Dupuy Rada J.M), y es específico para los ecosistemas del estado de Yucatán.

Las estimaciones de carbono del reservorio de biomasa aérea para el Estado de Yucatán se realizaron a partir de los datos de la malla nacional de CONAFOR, analizando la base de datos de 3,724 sitios de muestreo que corresponden a 931 parcelas (conglomerados) del INFyS. Los

cuales también se distribuyen sobre la misma malla sistemática empleados para los datos de actividad que abarca la superficie total del estado.

En general, los cambios en las existencias de carbono dentro de un estrato se estiman sumando los cambios de todos los reservorios, como se muestra en la siguiente Ecuación 1:

Ecuación 1. Cambios en las existencias anuales de carbono para una subcategoría de uso de la tierra como la suma de los cambios de cada uno de los estratos dentro de la categoría

$$\Delta C_{LUI} = \Delta C_{AB} + \Delta C_{BB} + \Delta C_{DW} + \Delta C_{LI} + \Delta C_{SO} + \Delta C_{HWP}$$

Dónde:

- $\Delta C_{LUI}$** = Cambio en las existencias de carbono para un estrato de una categoría de uso de la tierra.
- AB**= Biomasa aérea
- BB**= Biomasa subterránea
- DW**= Madera muerta
- LI**= Hojarasca
- SO**= Suelo
- HWP**= Productos de madera recolectada

### 3B1.3 Datos de actividad (DA)

El DA es la superficie de [3B1a] Tierras forestales que permanecen y las [3B1b] Tierras convertidas en tierras forestales. La fuente de información se ha explicado anteriormente en "Enfoque para representar superficies, y bases de datos de Tierra [3B]".

### 3B1.4 Factores de emisión (FE)

Los factores de emisión/absorción de las transiciones de permanencias de las clases IPCC para cada reservorio, fueron estimados a través de los criterios de cambio anualizado (CCA) entre el contenido de carbono del "re muestreo" (CCRM) y el valor del contenido de carbono del "muestreo" (CCM) en el periodo evaluado. Cuando la diferencia fue positiva, representó un incremento de carbono, lo que indica que es un factor de absorción de dióxido de carbono; cuando la diferencia es negativa, representó una pérdida de carbono, equivalente a un factor de emisión. Sin embargo, para los cálculos de los GEI, se invirtieron los signos de los valores de los factores de emisión y absorción para su homologación con las emisiones de GEI en el presente documento. La ecuación utilizada se presenta a continuación (Ecuación 2):

Ecuación 2. Criterio de cambio o tasa de cambio

$$CCA = (CCRM - CCM) / \text{Intervalo MRM}$$

Dónde:

- CCA**= Criterio de cambio anualizado o tasa de cambio anualizado.
- CCRM**= Contenido de carbono para la biomasa, por arriba del suelo o por debajo del suelo de acuerdo con el remuestreo del INFyS. Unidades en toneladas.
- CCM**= Contenido de carbono para la biomasa, por arriba del suelo o por debajo del suelo, de acuerdo con el Muestreo del INFyS. Unidades en toneladas.
- Intervalo MRM**= Intervalo de tiempo entre la medición de campo del muestreo y el remuestreo, cuando ambos ciclos tienen registro de campo

Los factores de absorción para las transiciones de recuperación forestal fueron estimados a través de la ecuación anterior.

Los factores de emisión de las transiciones de las clases de cobertura IPCC para la deforestación y otras pérdidas de carbono en la biomasa para diferentes vegetaciones en el periodo 2000–2022 se estimaron de la siguiente manera: en el caso de las pérdidas de tierras forestales y de praderas se consideró como emisión el contenido de carbono más cercano al cambio de clase de vegetación, ya sea muestreo o remuestreo pero siempre y cuando la medición se realizó previamente al cambio de categoría; posteriormente, se realizó la estimación de las densidades de carbono con el enfoque de estimadores de razón y basado en el diseño del INFyS. El estimador de razón utiliza los datos de contenido de carbono para la biomasa, por arriba del suelo o por debajo del suelo, y la superficie muestreada a nivel de sitio (400 m<sup>2</sup>), mediante la siguiente Ecuación 3:

Ecuación 3. Razón para estimación de contenido de carbono en biomasa

$$\hat{R} = \left( \sum_i^n = 1 y_i \right) / \left( \sum_i^n = 1 a_i \right)$$

Dónde:

- R=** Estimador de razón
- y<sub>i</sub>**= Carbono total en el sitio (o UMS) *i*.
- a<sub>i</sub>**= Superficie muestreada en el sitio (o UMS) *i* (400 m<sup>2</sup>).
- n=** Número total de sitios en el estrato

En la Tabla 43 se muestran los factores de emisión/absorción (t C/ha) de las transiciones IPCC para los reservorios de biomasa aérea, biomasa subterránea, madera muerta y mantillo de las ecorregiones de selvas cálido húmedas y selvas cálido secas, los valores negativos corresponden a absorciones de dióxido de carbono (factores de absorción) y los positivos a emisiones (factores de emisión). Los estos valores fueron obtenidos del análisis mencionado anteriormente y ajustados para el estado de Yucatán; así como también de valores nacionales utilizados por la CONAFOR en el Tercer Informe BIANUAL de Actualización.

Tabla 43. Factores de emisión/absorción para cada reservorio, ecorregión y tipo de transiciones de clase de cobertura IPCC.

Transiciones IPCC	Selvas cálido húmedas (t C/ha)				Selvas cálido secas (t C/ha)			
	BA	BS	MM	Man	BA	BS	MM	Man
Permanencia de tierras forestales	-1.54 <sup>e</sup>	-0.29 <sup>f</sup>	0.00	0.00	-0.53 <sup>e</sup>	-0.09 <sup>f</sup>	0.00	0.00
Permanencia de pastizales <sup>b</sup>	-0.21 <sup>e</sup>	-0.03 <sup>f</sup>	0.00	0.00	2.37 <sup>e</sup>	0.57 <sup>f</sup>	0.00	0.00
Tierras forestales que cambian a otros usos de la tierra (deforestación) <sup>c</sup>	19.58 <sup>e</sup>	3.48 <sup>f</sup>	3.18 <sup>f</sup>	2.33 <sup>f</sup>	4.23 <sup>e</sup>	0.77 <sup>f</sup>	1.23 <sup>f</sup>	1.60 <sup>f</sup>
Usos de la tierra que cambian a tierras forestales (recuperación) <sup>d</sup>	-1.00 <sup>g</sup>	-0.33 <sup>g</sup>	-0.10 <sup>g</sup>	-0.34 <sup>g</sup>	-0.09 <sup>g</sup>	-0.03 <sup>g</sup>	-0.04 <sup>g</sup>	-0.05 <sup>g</sup>

BA: Biomasa Aérea BS: Biomasa Subterránea MM: madera muerta Man: mantillo

<sup>a</sup>: comprende la transición: "TF-TF"

<sup>b</sup> comprende la transición: "P-P"

<sup>c</sup> comprende la transición: "TF-P", "TF-TC", "TF-AH", "TF-H" y "TF-OT"

<sup>d</sup> comprende la transición: "P-TF", "TC-TF", "AH-TF", "H-TF" y "OT-TF"

<sup>e</sup> factores de emisión/absorción para reservorios de biomasa aérea ajustados al estado de Yucatán.

<sup>f</sup> factores de emisión/absorción recalculados para el estado de Yucatán

<sup>g</sup> factores de emisión/absorción nacionales.

Fuente: Gobierno de Yucatán, 2021.

Los factores de emisión del reservorio carbono orgánico del suelo fue obtenido de valores nacionales utilizados por la CONAFOR en el Tercer Informe Bianual de Actualización, para las transiciones de las clases de cobertura IPCC para deforestación y pérdidas de pastizales en las ecorregiones de selvas cálido húmedas y selvas cálidos secas.

### **3B1.5 Incertidumbres y coherencia de las series temporales**

Las Incertidumbres para los FE se tomaron CONAFOR. La incertidumbre de los DA (superficies) proviene de la evaluación de la variabilidad de las superficies por ecorregión y se cifra en 34.32% para la subcategoría [3B1] Tierras forestales. La serie se considera coherente en el tiempo al emplearse la misma metodología y completa al tener una misma cobertura geográfica.

### **3B1.6 QA/QC de la categoría y verificación**

La información básica de la que se extrae está sometida a controles de revisión específicos dentro de la CONAFOR, así como los estándares de calidad del CMM para la elaboración de inventarios de GEI. Esta categoría sigue los principios generales de QA/QC.

### **3B1.7 Mejoras previstas específicas de cada categoría**

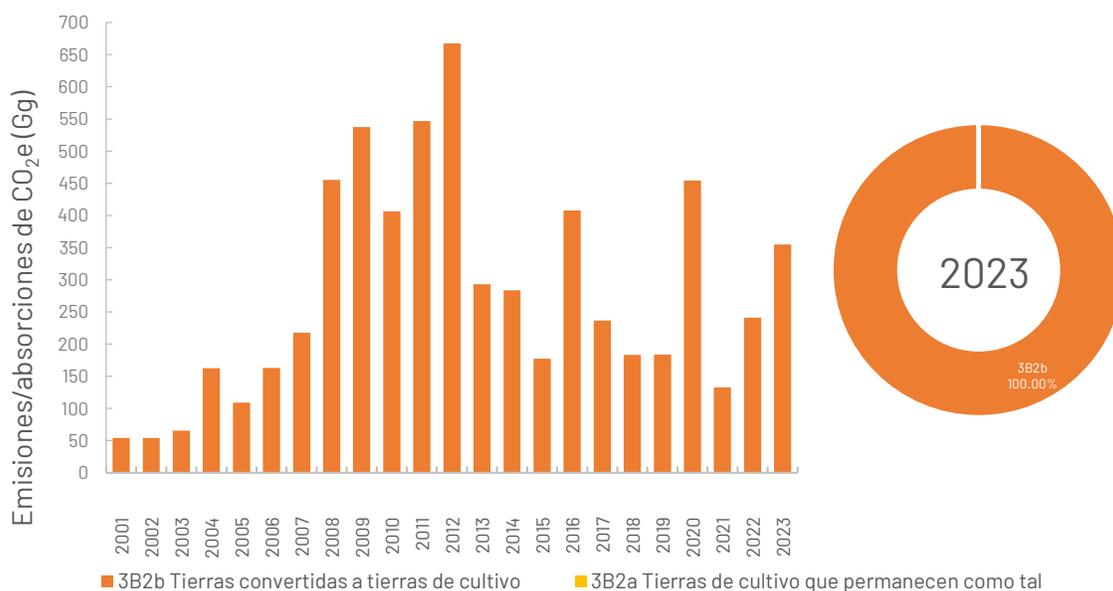
No se prevén planes de mejora a corto plazo para esta categoría

### **3B2-3B3 Tierras de cultivo y pastizales [3B2 y 3B3]**

La subcategoría [3B2] Tierras de cultivo, específicamente [3B2a] Tierras convertidas en tierras de cultivo generó emisiones de 354.99 Gg de CO<sub>2</sub>e, en 2023 debido al incremento de la superficie agrícola proveniente de Tierras Forestales y Praderas, cantidad 87% mayor que la del año 2001. Por su parte, [3B2a] Tierras de tierras de cultivo que permanecen no registro absorciones debido a que se consideran cultivos anuales (Figura 42).

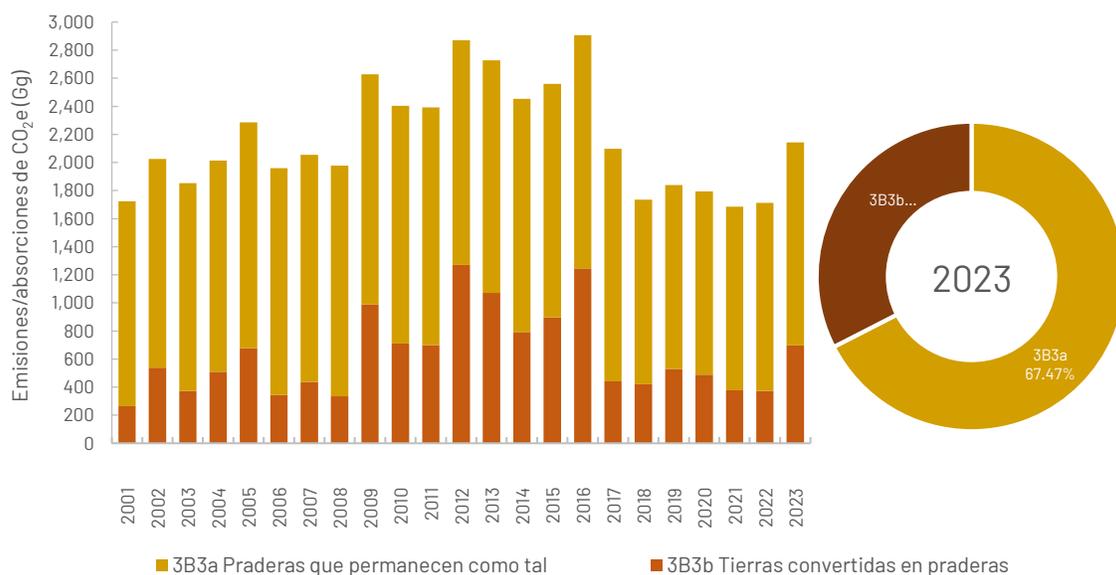
De la misma forma, [3B3] Praderas es una fuente neta de emisiones, ya que en 2023 alcanzó 2,142.32 Gg de CO<sub>2</sub>e. La evolución de las emisiones netas a lo largo del periodo se muestra en la Figura 43.

Figura 42. Emisiones y absorciones [3B2] Tierras de cultivo (Gg de CO<sub>2</sub>e), 1993-2023



Fuente: Elaboración propia.

Figura 43. Emisiones y absorciones [3B3] Praderas (Gg de CO<sub>2</sub>e), 1993-2023



Fuente: Elaboración propia.

### 3B2-3B3.1 Metodología

Las Tierras de cultivo [3B2] se clasifican en dos secciones y las emisiones/absorciones se calculan por separado:

- [3B2a] Tierras de cultivo que permanecen como tales (RCL)
- [3B2b] Tierras convertidas en tierras de cultivo (CONVL-FL).

Para estimar las emisiones/absorciones de CO<sub>2</sub> provenientes de los cambios de superficie del suelo entre los periodos, se debe multiplicar la superficie por el factor de emisión por tipo de vegetación para las transiciones:

1. RCL-RCL: Tierras de cultivo que permanecen como tierras cultivadas (agricultura perenne).
2. FL-CL: Tierras forestales que pasan a Tierras de cultivo.
3. GL-CL: Praderas que pasan a Tierras de cultivo.

Los terrenos agrícolas permanentes (RCL) consideran solamente la superficie de agricultura perenne que permanece como tal en el periodo analizado. No se incluye agricultura anual debido a que es de otro sector. Las tierras convertidas a Tierras de cultivo, implica la estimación de los cambios producidos en las existencias de carbono de cinco depósitos de carbono (biomasa aérea, biomasa subterránea, madera muerta, hojarasca y materia orgánica del suelo).

Para el caso de Praderas [3B3] se clasifican en dos secciones y las emisiones/absorciones se calculan por separado:

- [3B3a] Praderas que permanecen como Praderas (GL-GL).
- [3B3b] Tierras Forestales que pasan a Praderas (FL-GL).

Para las praderas que permanecen como tales, las emisiones y absorciones de carbono se basan en la estimación de los cambios en las prácticas de gestión de las existencias de carbono. Para las tierras convertidas en Praderas, las emisiones y absorciones de carbono se basan en la estimación de los efectos de la sustitución de un determinado tipo de vegetación por la vegetación del pastizal.

Para estimar las emisiones/absorciones de CO<sub>2</sub> provenientes de los cambios de superficie del suelo entre los periodos, se debe multiplicar la superficie por el factor de emisión por tipo de vegetación para las diferentes transiciones (GL-GL y FL-GL).

En general, los cambios en las existencias de carbono para Tierras de cultivo [3B2] y Praderas [3B3], se estiman sumando los cambios de todos los reservorios, como se ha explicado anteriormente de la Ecuación 1 en el "Metodología" de la subcategoría [3B1] Tierras forestales.

En general, los cambios en las existencias de carbono para Tierras de cultivo [3B2] y Praderas [3B3], se estiman sumando los cambios de todos los reservorios, como se ha explicado anteriormente de la Ecuación 1 en el apartado "Metodología" de la subcategoría [3B1] Tierras forestales.

## **3B2-3B3.2 Datos de actividad (DA)**

El DA es la superficie de tierras de cultivo y praderas que permanecen y en conversión. La fuente de información se ha explicado anteriormente en el apartado "Enfoque para representar superficies, y bases de datos de Tierra [3B]".

### **3B2-3B3.3 Factores de emisión (FE)**

Los factores de emisión/absorción de las transiciones de permanencias de las clases IPCC para cada reservorio, fueron estimados a través de los criterios de cambio anualizado (CCA) entre el contenido de carbono del "re muestreo" ( CCRM) y el valor del contenido de carbono del "muestreo" ( CCM) en el periodo evaluado; tal como se explicó en el "Factores de Emisión (FE)" de la subcategoría [3B1] Tierras forestales.

### **3B2-3B3.4 Incertidumbres y coherencia de las series temporales**

Las Incertidumbres para los FE se tomaron CONAFOR. La incertidumbre de los DA (superficies) proviene de la evaluación de la variabilidad de las superficies por clase de vegetación y se cifra en 2.93% para la categoría [3B2] Tierras de cultivo, y en 19.31% [3B3] Praderas. La serie se considera coherente en el tiempo al emplearse la misma metodología y completa al tener una misma cobertura geográfica.

### **3B2-3B3.5 QA/QC de la categoría y verificación**

La información básica de la que se extrae está sometida a controles de revisión específicos dentro del INEGI como del INECC, así como los estándares de calidad del CMM para la elaboración de inventarios de GEI. Esta categoría sigue los principios generales de QA/QC.

### **3B2-3B3.4 Mejoras previstas específicas de cada subcategoría**

No se prevén planes de mejora a corto plazo para esta categoría.

### **3B4-3B5-3B6 Otros usos de la tierra**

En este apartado se incluye la información sobre las categorías: [3B4] Humedales, [3B5] Asentamientos y [3B6] Otras tierras.

Las emisiones de estas fuentes durante 2023 fueron de 5.91 Gg de CO<sub>2</sub>e para Asentamientos, y de 19.63 Gg de CO<sub>2</sub>e para Otras tierras; mientras que no se registraron emisiones para Humedales.

La evolución de las emisiones netas a lo largo del periodo se muestra en la Figura 44. Estas emisiones derivan principalmente de cambios de praderas y tierras forestales hacia estas tres subcategorías.

Figura 44. Emisiones y absorciones de [3B4] Humedales, [3B5] Asentamientos y [3B6] Otras tierras (Gg de CO<sub>2</sub>e), 1993-2023



Fuente: Elaboración propia.

### 3B4-3B5-3B6.1 Metodología

Los Humedales [3B4] se divide en dos secciones y las emisiones y las absorciones se calculan por separado:

- [3B4a] Humedales que permanecen como Humedales (WL-WL).
- [3B4b] Tierras convertidas en Humedales (CONVL-SL).

Para los humedales que permanecen como tal [3B4a] incluye zonas de extracción de turba y la tierra que está cubierta o saturada de agua durante todo el año (presas, terrenos destinados a la piscicultura, acuicultura y cuerpos de agua) o durante parte de éste (por ejemplo, las turberas). Esta subcategoría no se realizó ninguna estimación ya que no se cuentan con datos tan específicos para el país para tierras anegadas y manejo de turberas.

Para los cambios sucedidos de tierras que pasan a Humedales [3B4b], se estimaron las existencias de carbono de los cinco depósitos (biomasa aérea, biomasa subterránea, madera muerta, hojarasca y materia orgánica del suelo). Los cambios sucedidos en esta transición pierden todo el carbono almacenado en la vegetación inicial.

Para la categoría Asentamientos [3B5] se clasifican en dos secciones y las emisiones/absorciones se calculan por separado:

- [3B5a] Asentamientos que permanecen como Asentamientos (SL-SL).
- [3B5b] Tierras convertidas en Asentamientos (CONVL-SL).

Los asentamientos que permanecen como tales incluyen el arbolado urbano, vegetación herbácea perenne, como el césped y las plantas de los jardines, los árboles de los asentamientos rurales, los jardines de las haciendas y áreas rurales (IPCC, 2006c).

Para los cambios sucedidos de tierras que pasan a Asentamientos [3B5b], se estimaron las existencias de carbono de los cinco depósitos (biomasa aérea, biomasa subterránea, madera muerta, hojarasca y materia orgánica del suelo). Los cambios sucedidos en esta transición pierden todo el carbono almacenado en la vegetación inicial.

Finalmente, para Otras Tierras [3B6], esta categoría comprende suelo desnudo, roca, hielo, bancos de arena, minas a cielo abierto, desiertos y todas las áreas de tierra no gestionadas desprovistas de vegetación que no entran en las otras categorías. De acuerdo a las clases de INEGI, en esta categoría se integran las áreas sin vegetación aparente y las desprovistas de vegetación.

La subcategoría Otras tierras [3B6] se clasifican en dos secciones y las emisiones/absorciones se calculan por separado:

- [3B6a] Otras tierras que permanecen como tales (OL-OL).
- [3B6b] Tierras convertidas en Otras tierras (CONVL-OL).

De acuerdo con IPCC (2006) y su Refinamiento (2019), las superficies de otras tierras que permanecen como tales [3B6a] deben incluirse en la matriz de cambios de uso de la tierra, sólo para la verificación de la superficie total y no para estimar emisiones/absorciones.

Para los cambios sucedidos de tierras que cambian a Otras tierras [3B6b], se estimaron las existencias de carbono de los cinco depósitos (biomasa aérea, biomasa subterránea, madera muerta, hojarasca y materia orgánica del suelo). Los cambios sucedidos en esta transición pierden todo el carbono almacenado en la vegetación inicial.

Para estimar las emisiones/absorciones de CO<sub>2</sub> provenientes de los cambios de superficie del suelo entre los periodos, se debe multiplicar la superficie por el factor de emisión por tipo de vegetación para las diferentes transiciones:

1. FL-OL, Tierras forestales que pasan a Otras tierras.
2. GL-OL, Praderas que pasan a Otras tierras.

En general, los cambios en las existencias de carbono para Tierras de cultivo [3B2] y Praderas [3B3], se estiman sumando los cambios de todos los reservorios, como se ha explicado anteriormente de la Ecuación 1 en el apartado "Metodología" de la subcategoría [3B1] Tierras forestales.

### **3B4-3B5-3B6.2 Datos de actividad (DA)**

El DA es la superficie de humedales, asentamientos y otras tierras que permanecen y en conversión. La fuente de información se ha explicado anteriormente en el "Enfoque para representar superficies, y bases de datos de Tierra [3B]".

### **3B4-3B5-3B6.3 Factores de emisión (FE)**

Los factores de emisión/absorción de las transiciones de permanencias de las clases IPCC para cada reservorio, fueron estimados a través de los criterios de cambio anualizado (CCA) entre el contenido de carbono del "re muestreo" ( CCRM) y el valor del contenido de carbono del "muestreo" ( CCM) en el periodo evaluado; tal como se explicó en el "Factores de Emisión (FE)" de la subcategoría [3B1] Tierras forestales.

### **3B4-3B5-3B6.4 Incertidumbres y coherencia de las series temporales**

Las Incertidumbres para los FE se tomaron del INEGYCEI 1990-2015 (INECC-SEMARNAT, 2018), y se promediaron por clase de uso de suelo y vegetación. La incertidumbre de los DA (superficies) proviene de la evaluación de la variabilidad de las superficies por clase de vegetación y se cifra en 0.35% para la categoría [3B4] Humedales, 0.14% para [3B5] Asentamientos y de 0.09% para [3B6] Otras tierras. La serie se considera coherente en el tiempo al emplearse la misma metodología y completa al tener una misma cobertura geográfica.

### **3B4-3B5-3B6.5 QA/QC de la categoría y verificación**

La información básica de la que se extrae está sometida a controles de revisión específicos dentro del INEGI como del INECC, así como los estándares de calidad del CMM para la elaboración de inventarios de GEI. Esta categoría sigue los principios generales de QA/QC.

### **3B4-3B5-3B6.6 Mejoras previstas específicas de cada categoría**

No se prevén planes de mejora a corto plazo para esta categoría.

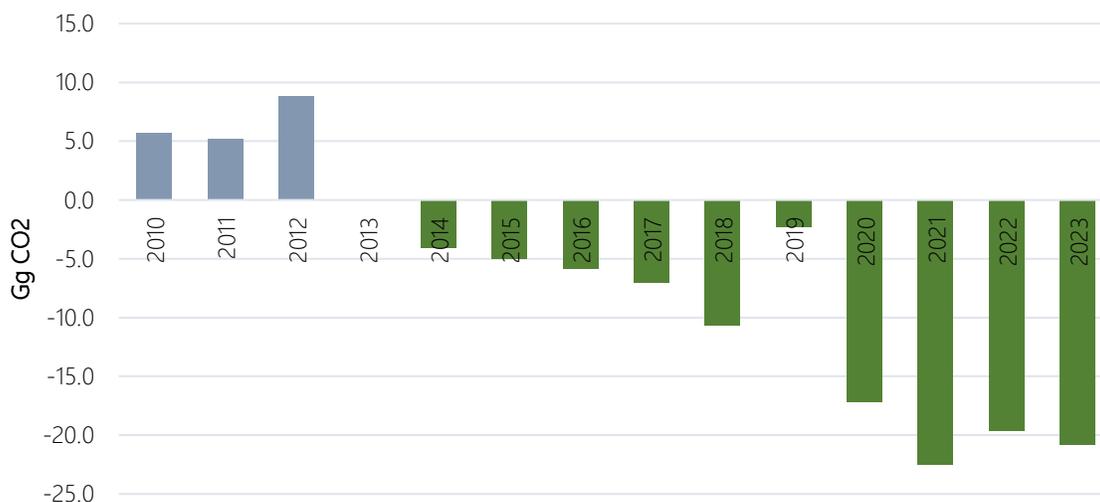
## **3D Productos de madera recolectada**

De acuerdo con las directrices del IPCC 2006, gran parte de la madera cosechada de las tierras forestales, de cultivo y de otros tipos de uso de la tierra permanece en los productos durante períodos de tiempo de diferente duración, se debe estimar y declarar el aporte de estos productos de madera recolectada (PMR) a las emisiones/absorciones de CO<sub>2</sub> de ASOUT anuales. PMR incluye todo el material de madera (incluida la corteza) que se abandonan en los sitios de recolección, La broza y otro material que queda en los sitios de recolección deben considerarse materia orgánica muerta en la categoría correspondiente de uso de la tierra y no PMR, los PMR constituyen un reservorio de carbono.

En esta categoría se estiman las emisiones y absorciones de CO<sub>2</sub> de productos de madera en el Estado de Durango como son: en rollo, aserrada, paneles, papel y cartón, pulpa de madera, recuperación de papel, astillas y partículas, carbón de leña y residuos de madera.

Los Productos de madera recolectada (PMR)[3D1], en el caso del Estado de Yucatán, en 2023, presenta una absorción de - 20.84 Gg CO<sub>2</sub>e, en 2010 fue un emisor neto con 5.67 Gg CO<sub>2</sub>e. La evolución de las emisiones netas a lo largo del periodo se muestra en la Figura 45.

Figura 45. Emisiones/absorciones de [3D1] Productos de madera recolectada en Yucatán



Fuente: Elaboración propia.

### 3D.1 Metodología

La fuente de información fue FAOSTAT (2021) y la metodología descrita en las Directrices IPCC 2006 y su Refinamiento 2019, que estima las emisiones y absorciones de los cambios en las existencias de carbono depositados en los productos de madera bajo un enfoque de Tier 1.

### 3D.2 Datos de actividad (DA)

El DA es la cantidad de madera en productos semifinalizados<sup>9</sup> que entra en el depósito de PMR en cada año. La fuente de información son los Anuarios Estadístico de la Producción Forestal publicados por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. La Tabla 44, muestra la evolución de las entradas de productos semifinalizados por año.

Tabla 44. Datos de productos de madera

Productos maderables (m3r)	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Aserrio	279.0					136.0	20.0	69.0	65.0	43.0	405.0	747.0	580.3	672.3
Celulosa	0.0													
Chapa y triplay	0.0													
Postes	585.0	255.0	412.0	684.0	598.0	1,357.0	846.0	1,400.0	1,671.0	692.0	1,869.0	3,080.0	2,488.9	2,517.9
Leña	0.0	97.0	71.0	91.0	74.0	97.0	134.0	223.0	128.0	287.0	722.0	800.0	820.0	728.8
Carbon	1,369.0	3,447.0	763.0	4,966.0	7,798.0	5,225.0	8,005.0	6,839.0	8,278.0	7,262.0	11,322.0	9,795.0	11,070.4	12,074.1
Durmientes														
<b>TOTAL</b>	<b>2,233.0</b>	<b>3,799.0</b>	<b>1,246.0</b>	<b>5,741.0</b>	<b>8,470.0</b>	<b>6,815.0</b>	<b>9,005.0</b>	<b>8,531.0</b>	<b>10,142.0</b>	<b>8,284.0</b>	<b>14,318.0</b>	<b>14,422.0</b>	<b>14,959.6</b>	<b>15,993.1</b>
%	0.04%	0.07%	0.02%	0.10%	0.15%	0.11%	0.13%	0.09%	0.12%	0.14%	0.15%	0.16%	0.17%	0.18%

Fuente: Anuarios Estadísticos Forestales - SEMARNAT.

<sup>9</sup> Madera aserrada, tableros a base de madera y papel y cartón

### 3D.3 Factores de emisión (FE)

Los parámetros de estimación se presentan en la Tabla 45, los cuales son valores por defecto de las tablas 12.1, 12.2 y 12.3 del Refinamiento 2019 (vol. 4, cap. 12).

Tabla 45 Parámetros de estimación de las variaciones del depósito de PMR

	Madera aserrada	Tableros a base de madera	Papel y cartón
Densidad	Mg/m <sup>3</sup>	Mg/m <sup>3</sup>	
Fracción de carbono	t C/t m.s.	t C/t m.s.	
Factor de conversión de carbono	Mg C/m <sup>3</sup>	Mg C/m <sup>3</sup>	Mg C/m <sup>3</sup>
Vida media	años	años	años

### 3D.4 Incertidumbres y coherencia de las series temporales

La incertidumbre del DA proviene de la estimación de los propios datos y se cifra en un 52.24%. La incertidumbre de los FE se tomó de las Directrices 2006 (vol. 4, cap. 10, pág. 37). La serie se considera coherente en el tiempo al emplearse la misma metodología y completa al tener una cobertura geográfica estatal.

Se estimó la incertidumbre en  $\pm 53.66\%$  (-9.66 a 32.02 GgCO<sub>2</sub>e).

### 3D.5 QA/QC de la categoría y verificación

La información básica de la que se extrae está sometida a controles de revisión específicos propios. Esta categoría sigue los principios generales de QA/QC.

### 3D.6 Mejoras previstas

Se prevén las siguientes mejoras:

- Generar estadística de importaciones y exportaciones por producto.

## Capítulo 4: Residuos

### 4 Visión general del sector

En esta sección se contabilizan las emisiones de GEI por el tratamiento y eliminación de los residuos sólidos y de las aguas residuales domésticas e industriales. Los gases que se emiten principalmente en este sector son metano ( $\text{CH}_4$ ), debido a la descomposición de la materia orgánica en condiciones anaeróbicas; dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) por la incineración y quema a cielo abierto de residuos y óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) en las descargas de las aguas residuales.

Para el Estado de Yucatán las categorías a estimar son:

- [4A] Eliminación de residuos sólidos
- [4C] Incineración y quema abierta de residuos
- [4D] Tratamiento y eliminación de aguas residuales

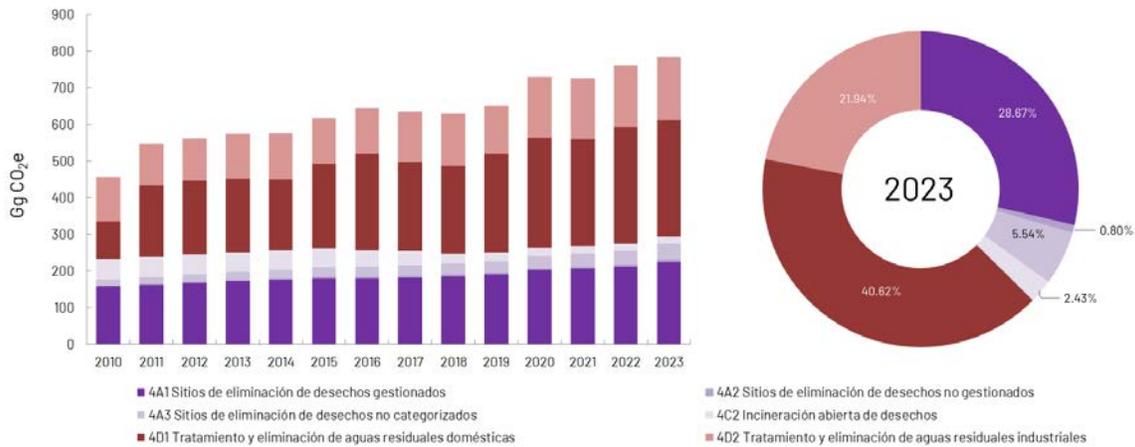
Las emisiones del sector [4] Residuos en 2023 se contabilizaron en 782.71 Gg  $\text{CO}_2\text{e}$ , lo que representó el 7.51% de las emisiones del IEEGYCEI (sin absorción). El sector presenta un incremento en sus emisiones de GEI durante el periodo de análisis con una TMCA de 4.24%, siendo el subsector [4D] Tratamiento y eliminación de aguas residuales el de mayor crecimiento con una TMCA de 6.20% y [4A] Eliminación de residuos sólidos con una TMCA de 3.45%, ambos subsectores están estrechamente ligados con el crecimiento poblacional, lo que implica un incremento en la generación de aguas residuales y en la generación de residuos sólidos

La categoría tratamiento y eliminación de aguas residuales [4D] contribuye con el 4.70% de las emisiones del IEEGYCEI (sin absorción), seguida por la Eliminación de residuos sólidos [4A] que contribuye con el 2.63%, el resto proviene por la quema a cielo abierto de los residuos sólidos [4C2] con el 0.18%.

El principal GEI es el metano ( $\text{CH}_4$ ) generado principalmente [4A] y [4D], seguido por el óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) emitido durante la eliminación de aguas residuales [4D]. En la Figura 46, se presenta la evolución de las emisiones de las categorías para el sector [4] Residuos así como su contribución en el año 2023.

Son categoría clave en este sector [4A1] Sitios de eliminación de residuos gestionados; [4D2] Tratamiento y eliminación de aguas residuales industriales y [4D1] Tratamiento y eliminación de aguas residuales domésticas.

Figura 46. Evolución de las emisiones de GEI de la categoría [4] Residuos.

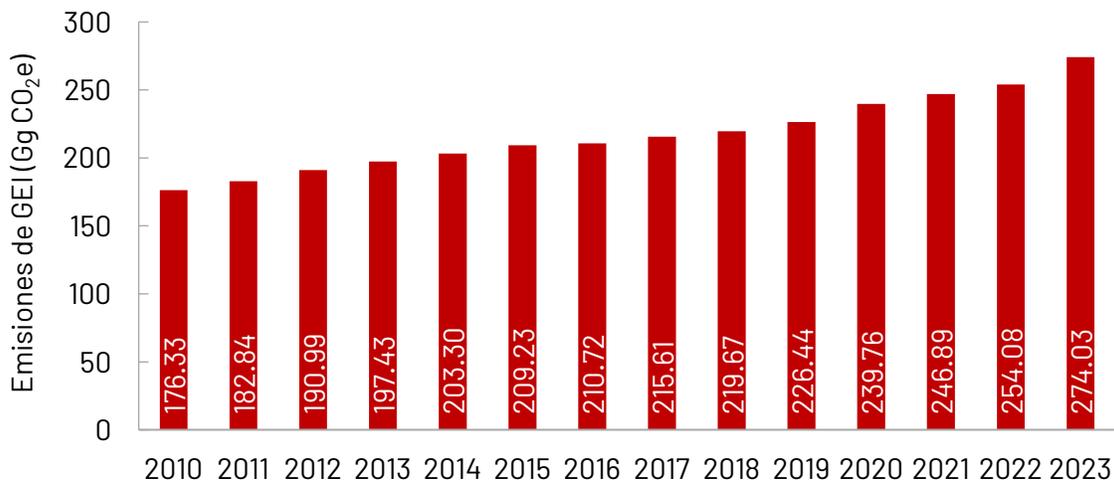


Fuente: Elaboración propia.

## 4A Eliminación de residuos sólidos

En 2023, la eliminación de residuos sólidos contabilizó 274.03 Gg CO<sub>2</sub>e. La evolución de las emisiones a lo largo del periodo se muestra en la Figura 47. A lo largo de todo el periodo 2010-2023 se registraron 160 sitios de disposición final, de los cuales el Relleno Sanitario de Mérida concentró 76.11% de los residuos confinados en la entidad.

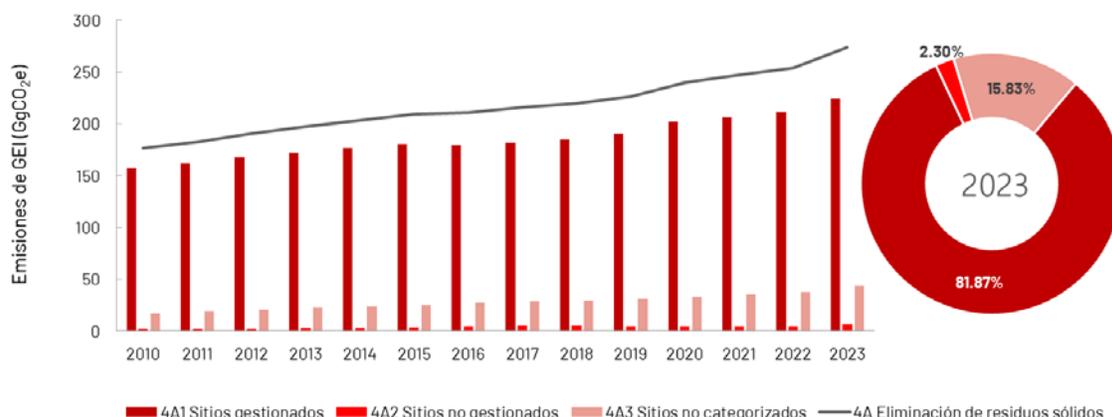
Figura 47. Emisiones de [4A] Eliminación de residuos sólidos



Fuente: Elaboración propia.

Las emisiones crecieron 1.6 veces en comparación con las del año 2010, a una tasa de crecimiento media anual (TCMA) de 3.4%. De acuerdo con la clasificación de los sitios de disposición final, el 81.87% de las emisiones corresponde a la subcategoría 4A1 Sitios gestionados, el 15.83% a la subcategoría 4A3 Sitios no categorizados, y el 2.30% a la subcategoría 4A2 Sitios no gestionados (Figura 48 y Tabla 46).

Figura 48. Emisiones de [4A] por subcategoría



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 46. Emisiones de [4A] por subcategoría

Año	4A1 Sitios gestionados		4A2 Sitios no gestionados		4A3 Sitios no categorizados		4A Eliminación de residuos sólidos	
	Emisiones (Gg)		Emisiones (Gg)		Emisiones (Gg)		Emisiones (Gg)	
	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub> e	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub> e	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub> e	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub> e
2010	5.61	157.11	0.07	1.91	0.62	17.31	6.30	176.33
2011	5.77	161.50	0.08	2.15	0.69	19.19	6.53	182.84
2012	5.98	167.50	0.09	2.45	0.75	21.04	6.82	190.99
2013	6.15	172.10	0.10	2.76	0.81	22.57	7.05	197.43
2014	6.29	176.21	0.11	3.11	0.86	23.98	7.26	203.30
2015	6.44	180.27	0.13	3.54	0.91	25.42	7.47	209.23
2016	6.41	179.59	0.15	4.08	0.97	27.05	7.53	210.72
2017	6.50	181.97	0.17	4.76	1.03	28.88	7.70	215.61
2018	6.60	184.93	0.17	4.87	1.07	29.87	7.85	219.67
2019	6.81	190.69	0.17	4.72	1.11	31.03	8.09	226.44
2020	7.21	201.83	0.16	4.60	1.19	33.33	8.56	239.76
2021	7.38	206.51	0.16	4.54	1.28	35.84	8.82	246.89
2022	7.56	211.64	0.16	4.53	1.35	37.91	9.07	254.08
2023	8.01	224.35	0.22	6.28	1.55	43.39	9.79	274.03

Fuente: Elaboración propia.

## 4A.1 Metodología

Se utilizó la metodología de las Directrices 2006 del IPCC para la elaboración de Inventarios Nacionales de GEI, complementada con la actualización del Refinamiento 2019, relativa a los factores de corrección de metano por tipo de sitio de disposición final. Adicionalmente, se aplicó el enfoque metodológico Tier 2 con parámetros nacionales como el Modelo Mexicano

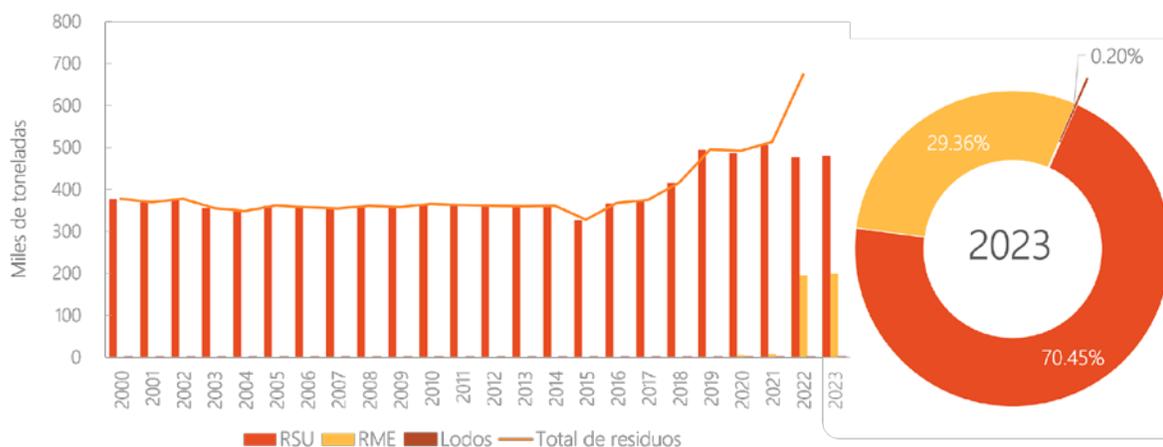
de Biogás y la composición de los residuos, siguiendo el árbol de decisión de la Figura 3.1 del capítulo. 3, vol. 5, de las Directrices 2006.

## 4A.2 Datos de actividad (DA)

Se empleó la cantidad de residuos sólidos urbanos y de manejo especial depositados en los 160 sitios de disposición final, la cual se cuantificó en 681,211.08 toneladas anuales de residuos, de las cuales el 70.45% corresponde a residuos sólidos urbanos (RSU) y el resto a residuos de manejo especial (RME) con 29.36% y lodos procedentes de plantas de tratamiento (0.20%). (Figura 49).

La fuente de información de la cantidad de residuos depositados fue la Secretaría de Desarrollo Sustentable del Estado de Yucatán (SDSY) para el año 2020. La serie temporal 2000-2023 se complementa con datos de los Censos Nacionales de Gobiernos Municipales y Delegacionales (CNGMD) del Instituto Nacional de Estadística y Geografía 2011, 2017, 2019 y 2020, e interpolaciones con base en el comportamiento poblacional reportado en los Censos de Población y Vivienda 2000, 2010 y 2020, el Censo de Población y Vivienda 2005 y la Encuesta Intercensal del 2015 de INEGI.

Figura 49. Cantidad de residuos eliminados en sitios de disposición final

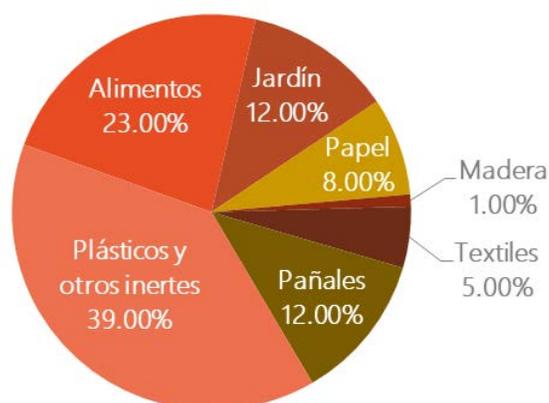


Fuente: Elaboración propia con datos municipales, de la SRNMAD e INEGI.

La fuente de información para los datos de composición de los residuos fue tomada del Inventario Nacional de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero 1990-2019 (SEMARNAT-INECC, 2023). En la Figura 50, se presenta la composición de los residuos que se consideraron para la contabilidad de emisiones en sitios de disposición final.

De acuerdo con la información consultada de los Censos Nacionales de Gobiernos Municipales y Delegacionales (CNGMD) de INEGI, así como de la SRNMAD, la clasificación de los sitios de disposición final corresponde en un 44% a sitios controlados anaeróbicos, 42% a sitios no gestionados poco profundos, 7% a sitios bien manejados semiaeróbicos y 7% a sitios no gestionados poco profundos (Tabla 47).

Figura 50. Composición de residuos (Porcentaje)



Fuente: SDSY,2024

Tabla 47. Clasificación de los SDF de acuerdo con su infraestructura y condiciones de operación

Tipo de sitio	Número de sitios	Porcentaje
Bien manejado semiaeróbico	1	0.63%
Controlado anaeróbico	11	6.88%
Sitio no categorizado	38	23.75%
Sitio no gestionado poco profundo	102	63.75%
Sitio no gestionado profundo	7	4.38%
Sito de gestión de aireación activa adecuada	1	0.63%
Total	160	100.00%

Fuente: Elaboración propia con datos municipales, de la SDSYe INEGI.

### 4A.3 Parámetros de estimación

Los parámetros empleados en la estimación se obtuvieron de las Directrices 2006 y del Refinamiento 2019, así como datos del Modelo Mexicano del Biogás 2.0 (MMB)(U.S. EPA & SCS Engineers, 2009)(Tabla 48,Tabla 49,Tabla 50 y Tabla 51).

Tabla 48. Parámetros empleados en la estimación de emisiones de [4A]

Parámetro	Fuente	Descripción/Valores
FCM (Factor de Corrección de Metano)	Refinamiento 2019 (tabla 3.1, cap. 3. Vol. 5.), (IPCC, 2019).	Tabla 2

Parámetro	Fuente	Descripción/Valores
COD (Carbono Orgánico Degradable)	Refinamiento 2019 (tabla 3.1, cap. 3. Vol. 5.), (IPCC, 2019).	Tabla 3
CODf (Fracción de COD)	Refinamiento 2019 (tabla 3.1, cap. 3. Vol. 5.), (IPCC, 2019).	Tabla 3
K (tasa de generación de CH <sub>4</sub> )	MMB (US EPA & SCS Engineers, 2009).	Tabla 4
Composición de los residuos a nivel municipal o estatal	DSPM de Yucatán.	Figura 3
(F) Fracción de metano en biogás	Refinamiento 2019 (tabla 3.1, cap. 3. Vol. 5.), (IPCC, 2019).	Tabla 3.2, cap. 3, vol. 5, p. 3.16
(OX) Fracción de oxidación	Refinamiento 2019 (tabla 3.1, cap. 3. Vol. 5.), (IPCC, 2019).	Tabla 3.2, cap. 3, vol. 5, tabla 3.2, p. 3.17

Fuente: Elaboración propia

Tabla 49. Valores de FCM

Sitio de disposición	IPCC
Controlado anaeróbico	1
Bien manejado semiaeróbico	0.5
Sitio no gestionado poco profundo	0.4
Sitio no categorizado	0.6

Fuente: Refinamiento 2019 de las Directrices del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático. Volumen 5 "Residuos", Capítulo 3, p. 3.13.

Tabla 50. Valores de COD y CODF empleados

Parámetro	Comida	Jardín	Papel	Madera y paja	Textiles	Pañales
DOC	0.15	0.2	0.4	0.43	0.24	0.24
DOCf	0.7	0.7	0.5	0.1	0.5	0.5

Fuente: Directrices del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático 2006 y 2019 para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero. Volumen 5 "Residuos", Capítulo 2.

Tabla 51. Valores del Índice de generación de metano (k)

k 1; Alimenticios, otros orgánicos y 20% de pañales	k 2; Vegetales, poda, papel higiénico	k 3; Papel, cartón y textiles	k 4; Madera, caucho, piel, huesos y paja	Lodos
0.1	0.05	0.02	0.01	0.185

Fuente: Modelo Mexicano de Biogás Versión 2.0, tomado del INEGYCEI 1990-2015, (INECC.-SEMARNAT, 2014).

#### 4A.4 Incertidumbres y coherencia de las series temporales

La incertidumbre del DA (datos de residuos y su composición) proviene del Cuadro 3.5, cap. 3, vol. 5 de las Directrices 2006, y se cifra en un 47.96% para datos de actividad, en 95.27% para los FE (factores de emisión y parámetros), y en 106.66% la incertidumbre combinada.

La serie se considera coherente en el tiempo una vez registrados los hechos que ocasionaron las variaciones registradas.

#### 4A.5 QA/QC de la categoría y verificación

Esta categoría sigue los principios generales de QA/QC incluidos en la Introducción.

#### 4A.6 Mejoras previstas específicas de cada categoría

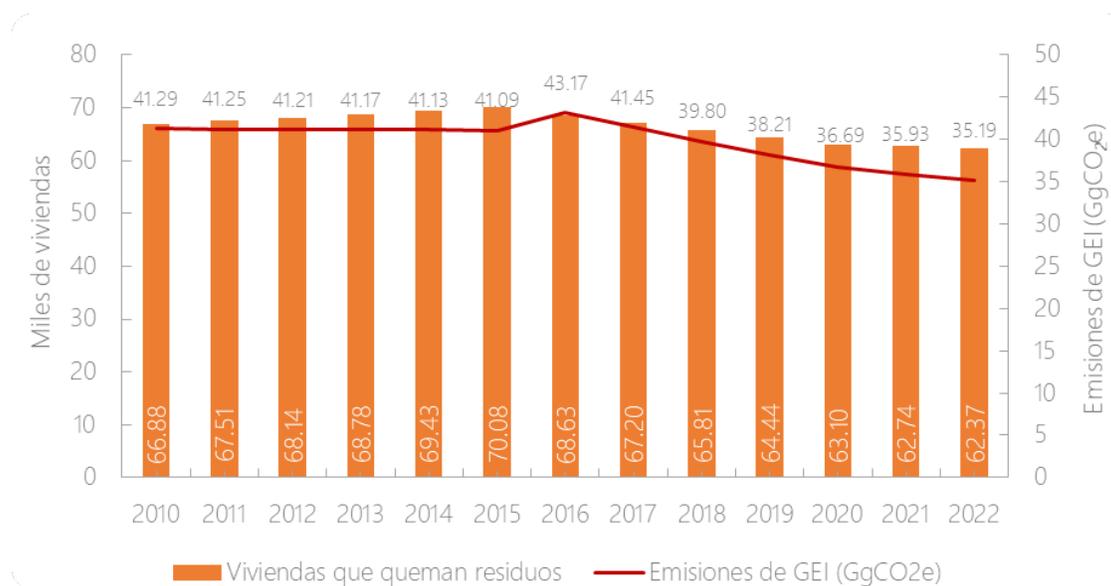
Se planean las siguientes mejoras:

- Mantener un registro de la cantidad de residuos municipales depositados en todo tipo de SDF.
- Cuantificar el volumen de residuos incinerados en los SDF.
- Realizar estudios de generación per cápita de residuos que permita caracterizar las diferencias entre zonas rurales y urbanas.

#### 4C Incineración y quema a cielo abierto de residuos sólidos

La categoría [4C] Incineración y quema a cielo abierto de residuos sólidos contabilizó 18.98 Gg CO<sub>2</sub>e en 2023, cantidad que representó una reducción de -66.05% respecto a 2010. La evolución de las emisiones a lo largo del periodo se muestra en la Figura 51, que corresponden a la única subcategoría registrada: [4C2] Quema a cielo abierto de residuos sólidos.

Figura 51. Emisiones de [4C2] Quema a cielo abierto de residuos sólidos



Fuente: Elaboración propia.

## 4C.1 Metodología

La estimación empleó la metodología de las Directrices 2006 y el Refinamiento 2019. La quema a cielo abierto de residuos sólidos empleó el enfoque Tier 1, siguiendo el árbol de decisión de la Figura 5.1 del capítulo 5, vol. 5, de la Directrices 2006.

## 4C.2 Datos de actividad (DA)

Los DA refieren la cantidad de residuos sólidos urbanos quemados a cielo abierto, estimados a partir de las viviendas que reportan esta práctica provista en los Censos y Conteos de Población y Vivienda (INEGI, 2005, 2010, 2015 y 2020). Se emplean también datos sobre la ocupación promedio de las viviendas de INEGI, y la generación per cápita de residuos, usando las referencias del Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de Residuos 2012, (SEMARNAT, 2012), e información provista por la Secretaría de Desarrollo Sustentables de Yucatán para el año 2020 a nivel municipal.

La serie estadística de toneladas de residuos quemados se estima a partir de la interpolación de las estimaciones de los años 2010, 2015 y 2020, que cuentan con información censal o estadística sobre las viviendas que queman residuos.

## 4C.3 Factores de emisión (FE)

Las emisiones de CO<sub>2</sub> de la incineración abierta de residuos sólidos, el contenido de materia seca, la fracción de carbono en materia seca y la fracción de carbono fósil en el carbono total se obtuvieron de los valores por defecto de las Directrices 2006 (tabla 2.4 y 2.5, vol. 2, cap. 5). Finalmente, el valor del factor de oxidación se obtuvo de los datos por defecto de las Directrices 2006 (tabla 5.2, vol. 5, cap. 5).

La estimación de las emisiones de CH<sub>4</sub> de la incineración abierta se llevó a cabo mediante la consideración de los FE por defecto de las Directrices 2006 (sección 5.4.2), mientras que la estimación de las emisiones de N<sub>2</sub>O se realizó considerando el FE por defecto de las Directrices 2006 (IPCC, 2006e)(tabla 5.6, vol. 5, cap. 5).

#### **4C.6 Incertidumbres y coherencia de las series temporales**

La incertidumbre de los DA (viviendas que queman residuos) se estimó a partir de los valores de error, coeficiente de variación y límites de confianza de las estadísticas de vivienda, y se cuantificó en 3.35%. La incertidumbre de los FE se tomó de las Directrices (IPCC, 2006d)(vol. 5, cap. 5, tablas 3.5): 286.83% para CO<sub>2</sub>, y 10% para CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O. La incertidumbre combinada se estimó en 6,755%.

#### **4C.7 QA/QC de la categoría y verificación**

Esta categoría sigue los principios generales de QA/QC.

#### **4C.8 Mejoras previstas**

Se planean las siguientes mejoras:

- Explorar la obtención de datos de residuos quemados a cielo abierto en sitios de disposición final.

## 4D Tratamiento y eliminación de aguas residuales domésticas y aguas residuales industriales

En esta categoría se estiman las emisiones por el tratamiento y eliminación de aguas residuales domésticas e industriales, la generación de las aguas residuales está directamente relacionada con la población y el desarrollo económico del Estado. Los gases que se estiman en esta categoría son metano ( $\text{CH}_4$ ) debido a la descomposición de materia orgánica en condiciones anaeróbicas y el óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) asociado a la degradación de los compuestos nitrogenados en las aguas residuales.

Las emisiones de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) procedentes de las aguas residuales no se consideran en la Directrices del IPCC porque son de origen biogénico y no deben sumarse a las emisiones del inventario.

Durante 2023, las emisiones por el tratamiento y eliminación de aguas residuales domésticas e industriales [4D] contabilizaron 489.70 GgCO<sub>2</sub>e, lo que representa un aumento con una TMCA de 6.20% respecto al año 2010. La evolución de las emisiones a lo largo del periodo se muestra en la Figura 52, donde se puede observar que la categoría de mayor contribución es [4D2] Tratamiento y eliminación de aguas residuales industriales y la fuente de mayor contribución es [4D2a] Tratamiento de aguas residuales industriales.

Figura 52. Emisiones de [4D] Tratamiento y eliminación de aguas residuales (GgCO<sub>2</sub>e)



Fuente: Elaboración propia.

Para el año 2023, se estimaron en 177.91 GgCO<sub>2</sub>e las emisiones asociadas al tratamiento de aguas residuales industriales [4D2a], lo que representa una contribución del 36.33% a las emisiones totales del sector [4D], siendo el sector de carnes y aves el de mayor contribución a las emisiones generando el 32.31% de las emisiones totales del sector [4D]. Así mismo las emisiones derivadas de la eliminación de aguas residuales industriales sin tratamiento [4D2b] aportan un 28.60% a dichas emisiones.

En cuanto al tratamiento y eliminación de las aguas residuales domésticas, se registraron emisiones de 171.72 GgCO<sub>2</sub>e en 2023, equivalentes al 35.07% de las emisiones totales del

sector [4D]. De estas, 57.99 GgCO<sub>2e</sub> corresponden al tratamiento, mientras que 113.73 GgCO<sub>2e</sub> se generan por la eliminación sin tratamiento de las aguas residuales domésticas.

## 4D.1 Metodología

La metodología usada es la descrita en las Directrices 2006 y es completada con algunos elementos del Refinamiento 2019. Se usó Tier 1 mejorado para el cálculo de las emisiones de CH<sub>4</sub> de las PTAR de acuerdo con la disponibilidad de información, siguiendo el árbol de decisión de las Directrices 2006 (cap. 6, vol. 5.).

Las emisiones de esta subcategoría dependen del carbono orgánico degradable que se encuentra presente en las aguas residuales y del factor de emisión de metano. Para Yucatán se consideraron dos zonas económicas, rurales y urbanas introduciendo el factor de 1.25 para la población urbana y 1 para la población rural.

Para los factores de corrección de metano se utilizaron los datos publicados en el último Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero 1990-2019 (INEGyCEI 1990-2019) (INECC-SEMANAT, 2021), en el cual se indica que se utilizó un juicio de experto para obtener el MCF específicos del país dependiendo del tipo de tratamiento.

Para la estimación de las emisiones de N<sub>2</sub>O de aguas residuales domésticas se utilizó la metodología del Refinamiento 2019, (ecuaciones 6.7 y 6.9, cap. 6 del vol. 5), bajo el enfoque de nivel 1 (Tier 1), siguiendo el árbol de decisión del Refinamiento 2019 (Figura 6.4 del cap. 6, vol. 5).

## 4D.2 Datos de actividad (DA)

Los datos de actividad parten de los caudales tratados en cada una de la PTAR domésticas e industriales, por tipo de tratamiento utilizado (ver Tabla 52). Los datos de demanda bioquímica de oxígeno (DBO (Tabla 53), demanda química de oxígeno (DQO) y caudales no tratados tanto domésticos como industriales, se obtuvieron a partir de la correlación de las aguas tratadas estatales y el PIB estatal (INEGI, 2021b) y la información publicada por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2023) a nivel nacional.

Tabla 52. Datos de actividad para la estimación de emisiones en [4D]

Datos de actividad	Fuente	Descripción
Caudal tratado (m <sup>3</sup> /año)	CONAGUA	Información obtenida de reportes anuales 2010-2021
Caudal no tratado ARM (m <sup>3</sup> /año)	(CONAGUA, 2021)	Reportes anuales 2010 al 2021

Datos de actividad	Fuente	Descripción
Caudal tratado de ARI (m <sup>3</sup> /año)	Cedula de Operación Anual (COA)	SEMARNAT
Caudal no tratado ARI (m <sup>3</sup> /año)	(CONAGUA, 2021)	Reportes anuales 2010 al 2021
% DBO en lodos (sobre DBO removido)	(INECC-SEMARNAT, 2023)	Opinión de experto
Grado de utilización del sistema o tratamiento Tij(%)	Estimación propia con base a (CONAGUA, 2021)	Reportes anuales 2010 al 2021
Población (habitantes)	(CONAPO, 2023)	Población 2010 al 2021
Consumo de proteína per cápita (kg/persona/año)	(FAOSTAT, 2023)	Datos específicos para México 2000 al 2023

Fuente: Elaboración propia.

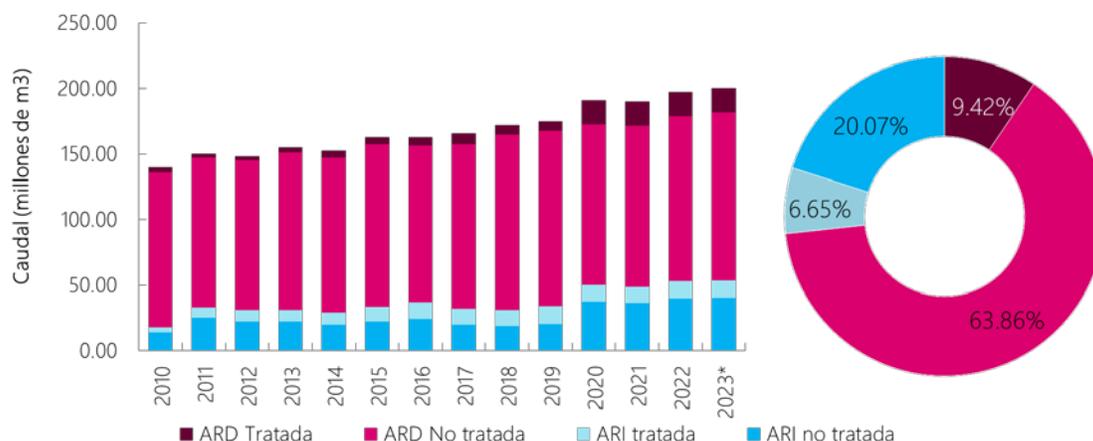
Tabla 53. Porcentaje de DBO en lodos por tipo de tratamiento

Tecnología de tratamiento	% DBO en lodos		Consideraciones
	Sobre DBO		
	Alimentada	Removida	
Anaerobio	15%	20%	
Biológico	35%	39%	
Discos biológicos	35%	39%	
Lodos activados	40%	45%	Se considera lodos activados convencional (media-alta carga). No aplicar para PTAR con digestores anaerobios de lodos.
RAFA o UASB	15%	20%	
Tanque o fosa sépticos	12%	20%	Asumiendo que los lodos se purgan después de cada uno o dos años
No tratada	0%	0%	No aplica

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 53, se muestra el caudal de las aguas residuales domésticas e industriales tratadas y no tratadas en el Estado de Yucatán para el periodo de 2010 al 2023.

Figura 53. Volumen de aguas residuales domésticas e industriales tratadas y no tratadas



Fuente: Elaboración propia.

### 4D.3 Factores de emisión (FE)

Los parámetros empleados para el cálculo de las emisiones de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O se enlistan en la Tabla 54.

Tabla 54. Parámetros empleados en la estimación de emisiones en [4D]

Parámetro	Fuente	Descripción/ubicación
Factor de corrección de metano (MCF)	Refinamiento (IPCC, 2019) y juicio de experto/ (INECC-SEMARNAT, 2023)	Específicos del país considerado para cada uno de los diferentes tipos de tratamientos
Capacidad máxima de producción de metano	Directrices (IPCC, 2006e) / (INECC-SEMARNAT, 2023)	Específicos del país considerado para cada uno de los diferentes tipos de tratamientos
Tratamiento de aguas residuales fracciones de eliminación de nitrógeno (N <sub>REM</sub> ), según tipo de tratamiento	Refinamiento (IPCC, 2019)	
DQO industrias	(CONAGUA, (IPCC, 2006), PIB estatal, (INECC-SEMARNAT, 2023)	

Parámetro	Fuente	Descripción/ubicación
I recolectadas (población urbana y rural)	Directrices (IPCC, 2006e), Refinamiento (IPCC, 2019)	1.25 (población urbana) /1.0 (población rural)
Bo (kgCH <sub>4</sub> /kgDBO)	Refinamiento (IPCC, 2019)	0.6 kgCH <sub>4</sub> /kgDBO (debido a que en México no se dispone de datos específicos, se usa el valor más alto recomendado)
Factor de conversión (kgDQO/kgDBO)	Directrices (IPCC, 2006e)	2.4 kgDQO/kgDBO
F <sub>NON-COM</sub>	Refinamiento (IPCC, 2019)	1.04 para Latinoamérica
F <sub>NPR</sub> (kgN/kg de proteína)	Directrices (IPCC, 2006e), Refinamiento (IPCC, 2019)	0.16 kgN/kg de proteína
F <sub>IND-COM</sub>	Directrices (IPCC, 2006e), Refinamiento (IPCC, 2019)	1.25
EF <sub>EFLUENT</sub> (kg N <sub>2</sub> O-N/kg N)	Directrices (IPCC, 2006e)	0.005

Fuente: Elaboración propia.

Los factores de corrección de metano (MCF por sus siglas en inglés) considerados para determinar los factores de emisión de CH<sub>4</sub> han sido los reportados por defecto en la Directrices de 2006 y para otros casos se utiliza la opinión o juicio de experto reportado en el INEGYCEI 1990-2019 (INECC-SEMARNAT, 2023). (Ver Tabla 55). En la Tabla 56 se presenta la demanda bioquímica de oxígeno (DQO) para el sector industrial.

Tabla 55. MCF específicos del país considerado para cada uno de los diferentes tipos de tratamiento en Yucatán

Tecnología de tratamiento	MCF	Fuente
Anaerobio	0.8	(IPCC, 2006e)
Biológico	0.06	(IPCC, 2006e)
Discos biológicos o biódiscos	0.06	(Noyola, 2018)
Tanque o fosa sépticos	0.50	(IPCC, 2019e)
Lodos activados (flujos menores a 100 l/s)	0.06	(Noyola, 2018)

Tecnología de tratamiento	MCF	Fuente
RAFA o UASB	0.80	(IPCC, 2006e)
No tratada	0.10	(IPCC, 2006e)
Bo=capacidad máxima de producción de metano=0.6 kgCH <sub>4</sub> /kg DBO; FE=Bo*MCF (kgCH <sub>4</sub> /kgDBO)		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 56. Parámetros de DQO de las industrias en Yucatán

Industria	DQO (kg/m <sup>3</sup> )	Fuente
Bebidas no alcohólicas	3.3	CONAGUA
Manufactura de papel	0.98	
Malta y cerveza	3.692	
Alimenticio	3.3	
Plásticos y resinas	1.0	(IPCC, 2006e)
Carnes y aves	4.1	
Jabón y detergentes	0.9	
Verduras, frutas y zumos	5	
Aceites vegetales	0.85	
Producción de almidón	10	
Producción de lácteos	2.7	(CIATEJ, 2009)
Rastros	8.0	

Fuente: Elaboración propia con datos del IEGYCEI, México 1990-2019

#### 4D.4 Incertidumbres y coherencia de las series temporales

La incertidumbre de los datos de actividad (DA) y de los factores de emisión (FE) para aguas residuales domésticas e industriales tratadas y no tratadas, provienen de los datos por defecto de las Directrices 2006 (IPCC 2006e), vol. 5, cap. 6, Tablas 6.7 y 6.10.

En el caso de los datos específicos para México (TIER 2), la incertidumbre del factor de emisión se reporta en Noyola et al. (2018). Se estimó una incertidumbre de  $\pm 0.99$  (484.83 a 494.57 GgCO<sub>2e</sub>) para [4D].

La serie se considera coherente en el tiempo al emplearse la misma metodología.

#### **4D.5 QA/QC de la categoría y verificación**

Esta categoría sigue los principios generales de QA/QC conforme al sistema de gestión de calidad (SGC). Se incluyen las mejoras metodológicas del Refinamiento 2019

De acuerdo con el Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero 1990-2019, los MCF empleados para la estimación del presente inventario son los más adecuados a las condiciones de operación de las PTAR en México y se utilizan factores de producción de lodos expresados como DBO con base en opinión de experto.

#### **4D.6 Mejoras previstas específicas de cada categoría**

Se planean las siguientes mejoras:

- Mejora de la información sobre los caudales de aguas residuales industriales y sus sistemas de tratamiento así como documentar el posible aprovechamiento de metano en el sector de carnes y aves.
- Mejora de la información sobre las características fisicoquímicas de los caudales de aguas residuales domésticas e industriales.
- Mejorar la información sobre el porcentaje de agua no tratada tanto doméstica como industrial dentro del Estado de Yucatán.

## Carbono Negro (CN)

A continuación, se incluye la descripción metodológica de los cálculos de las emisiones de carbono negro (CN) en las categorías donde se contabiliza.

### 1A Industrias de la energía

#### Metodología

Para el cálculo de las emisiones de carbono negro se utilizaron métodos de nivel 1, que estima las emisiones como una fracción de las emisiones de material particulado de 2.5µm (PM<sub>2.5</sub>), derivadas de la quema de combustibles. Los datos de actividad (consumo de combustibles) fueron los mismos utilizados para el cálculo de las emisiones de gases de efecto invernadero.

Con respecto a los factores de emisión, éstos se tomaron del Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero 1990-2015 (INECC-SEMARNAT, 2018), los cuales incluyen factores de emisión de PM<sub>2.5</sub> y los porcentajes (share) de relación entre CN y PM<sub>2.5</sub>, para cada combustible y actividades de uso final de la energía.

Los factores de emisión utilizados correspondieron a los presentados por el INECC en el Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero 1990-2015 (INECC-SEMARNAT, 2018) descritos más adelante. Para el cálculo de las emisiones de PM<sub>2.5</sub> y CN se utilizaron las siguientes ecuaciones.

Ecuación 4. Emisiones de PM<sub>2.5</sub>

$$EmisionesPM_{2.5} = \Sigma (Combustible_j * FE_{PM_{2.5}j})$$

Donde:

$EmisionesPM_{2.5}$  = Emisiones de PM<sub>2.5</sub> en (kg)

$Combustible_j$  = Dato de actividad/consumo de combustible tipo  $j$  en (TJ)

$FE_{PM_{2.5}j}$  = Factor de emisión de PM<sub>2.5</sub> por tipo de combustible  $j$ , (en su caso, por tipo de actividad) (kg/TJ)

Fuente: Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero 1990-2015 INEGYCEI

Ecuación 5. Emisiones de CN

$$EmisionesCN = \Sigma (Emisiones_{PM_{2.5}} * SH_j)$$

Donde:

*EmisionesCN* = Emisiones de Carbono Negro en (kg)

*EmisionesPM<sub>2.5</sub>* = Emisiones de PM<sub>2.5</sub> en (kg)

$SH_j = \text{Porcentaje}$  = Porcentaje de relación de CN/PM<sub>2.5</sub> por tipo de combustible y (puede aplicar igualmente por tipo de actividad/sector)

Fuente: Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero 1990-2015 INEGYCEI

## Elección de los factores de emisión

Los FE y los porcentajes de CN/PM<sub>2.5</sub> se tomaron del INEGYCEI 1990-2019 (INECC-SEMARNAT, 2023) y a su vez éstos provienen de los perfiles de especiación de la Junta de Recursos del Aire de California.<sup>37</sup> En las Tabla 57, Tabla 58, Tabla 59, Tabla 60, Tabla 61, Tabla 62 y Tabla 63, se presentan los parámetros y FE empleados para cada subcategoría y fuente de emisión.

Tabla 57. Factores de emisión de CN para la fuente de emisión [1A1a]

Combustible	FE PM <sub>2.5</sub> (kg/TJ)	SHARE CN/PM <sub>2.5</sub>
Gas natural	3.22	20%
Combustóleo	86.74	20%
Diésel	6.46	20%
Gas LP	2.78	7%
Coque de petróleo	22.50	14%
Carbón	8.95	14%
Gas residual	3.22	20%

Fuente: INEGyCEI 1990-2019

Tabla 58. Factores de emisión para las fuentes de emisión [1A1b] y [1A1c]

Combustibles	PM <sub>2.5</sub> (kg/TJ)	SHARE CN/PM <sub>2.5</sub>
Gas LP	2.78	7%
Gasolinas	7.38	15%
Querosenos	6.59	20%
Diésel	6.51	20%
Combustóleo	89.24	20%
Gas natural	3.09	20%

Fuente: INEGyCEI 1990-2019

Tabla 59. Factores de emisión para las fuentes de emisión [1A1b] y [1A1c]

Combustible	PM <sub>2.5</sub> (kg/TJ)
Coque carbón	36.76
Carbón	14.77
Coque de petróleo	36.76
Gas LP	2.77
Diésel	6.57
Combustóleo	87.84
Gas seco	3.21
Bagazo	939.76

Fuente: INEGyCEI 1990-2019

Tabla 60. Porcentaje de relación entre carbono negro y PM<sub>2.5</sub> para los diferentes sectores industriales

Sector	CN/PM <sub>2.5</sub>	Dato de actividad*
Industria	5%	Industria de caleras, siderurgia, química
	30%	Combustión de bagazo

\*Atmospheric Brown Clouds (ABC). Emission Inventory Manual.

Fuente: INEGyCEI 1990-2019

Tabla 61. Factores de emisión de CN y porcentaje de relación entre CN y PM<sub>2.5</sub> para las fuentes de emisión [1A3a], [1A3c] y [1A3d]

Combustibles	PM <sub>2.5</sub> (kg/TJ)	CN/PM <sub>2.5</sub>
Gasolinas y naftas	7.38	0.15
Turbosina	6.85	0.48
Diésel	6.51	0.264
Gas licuado	2.97	0.252
Gas seco	3.09	0.141
Combustóleo	7.38	0.15

Fuente: INEGyCEI 1990-2019

Tabla 62. Factores de emisión de CN y correlación CN/PM2.5 para la fuente de emisión [1A3b]

Combustible	Catalizador	Año	PM <sub>2.5</sub> (kg/TJ)	CN/PM <sub>2.5</sub>
Gasolinas y naftas	sin controlar	1990 y ant	7.38	0.15
Gasolinas y naftas	catalizador dos vías	1991 a 1993	7.38	0.15
Gasolina	catalizador tres vías	1994 y post vías	7.38	0.15
Diésel transporte	todos	todos	74.25	0.69
Diesel agropecuario	todos	todos	193.28	0.6
Gas seco	todos	todos	3.09	0.141
Gas licuado	todos	todos	2.97	0.252

Fuente: INEGyCEI 1990-2019

Tabla 63. Factores de emisión de CN y porcentaje de relación entre carbono negro y PM2.5 para la subcategoría [1A4]

	FE PM <sub>2.5</sub> (kg/TJ)	FEPM <sub>2.5</sub> (Gg/PJ)	Share BV PM <sub>2.5</sub>
[1A4a] Comercial			
Gas licuado	536.36	0.54	7%
Diésel	2.55	0.002	20%
Gas seco	0.80	0.0008	20%
Combustóleo	89.24	0.089	20%
[1A4b] Residencial			
Leña	464.59	0.4646	17%
Gas licuado	536.37	0.5364	7%
Queroseno	2.46	0.0025	20%
Gas seco	0.80	0.0008	20%
[1A4c] Agricultura			
Gas licuado	536.37	0.54	7%

	FE PM <sub>2.5</sub> (kg/TJ)	FEPM <sub>2.5</sub> (Gg/PJ)	Share BV PM <sub>2.5</sub>
Queroseno	2.46	0.002	20%
Diésel	2.55	0.003	20%

Fuente: INEGyCEI 1990-2019

### 3C1 Quema de biomasa

La quema de biomasa incluye los incendios no provocados, los incendios forestales, la quema prescrita (quema a cielo abierto) y la quema de residuos agrícolas.

Se estimaron en 2023, 0.0108 Gg de CN, donde la mayor aportación corresponde a la quema de biomasa en tierras forestales, con el 54% de las emisiones, seguido de las emisiones generadas por quema de biomasa en tierras de cultivo (46%) y en mucha menor proporción las emisiones por quema de biomasa en praderas.

Se estima una tasa de crecimiento de 7% anual; sin embargo, la incidencia de quema de biomasa en tierras forestales y praderas, no siguen un patrón establecido, en comparación con la quema en tierras de cultivo, que está en relación directa con la superficie sembrada.

### Metodología

**Método de nivel 1.** Se tiene un solo factor de emisión por unidad de superficie, superficie quemada y un factor de especiación.

Ecuación 6. Estimaciones de carbono negro para quema a cielo abierto, nivel 1

$$E_{CN} = A * FE_{PM_{2.5}} * FS_{CN/PM_{2.5}}$$

Dónde:

**E<sub>CN</sub>**= Emisiones de carbono negro

**A**= Superficie quemada (ha)

**FE<sub>PM<sub>2.5</sub></sub>**= Factor de emisión de PM<sub>2.5</sub> por área (ha)

**FS<sub>CN/PM<sub>2.5</sub></sub>**= Factor de especiación para convertir PM<sub>2.5</sub> en carbono negro

**Método de nivel 2.** Tiene factores de emisión basados en la biomasa y características específicas del combustible.

Ecuación 7. Estimaciones de carbono negro para quema a cielo abierto, nivel 2

$$E_{CN,k} = (0.45 * A_k * B_k * a_k * b_k) * FE_{k,PM_{2.5}} * FS_{k,CN/PM_{2.5}}$$

Dónde:

**E<sub>CN,k</sub>**= Emisiones de carbono negro de bioma k

**0.45**= Fracción de carbono en el combustible

**A<sub>k</sub>**= Superficie quemada (ha) de bioma k

**B<sub>k</sub>**= Carga de combustible (masa de combustible por superficie de bioma k)

- a<sub>k</sub>**= Fracción de biomasa superficial para bioma k
- b<sub>k</sub>**= Eficiencia de combustión (fracción de combustible quemado para bioma k)
- FE<sub>PM2.5</sub>**= Factor de emisión de PM<sub>2.5</sub> para bioma k (emisiones por masa de carbono en el combustible [kg/kg-C en combustible])
- FS<sub>CN/PM2.5</sub>**= Factor de especiación para convertir PM<sub>2.5</sub> en carbono negro para bioma k

### 3C1b Quema de biomasa

En este caso, se utilizaron los datos establecidos en el estudio realizado por el INECC en 2016: Determinación de factores de emisión de Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>), partículas en suspensión de 2.5 y 10 micras (PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10</sub>) y contaminantes de vida corta, Metano (CH<sub>4</sub>) y Carbono negro por prácticas de quema agrícola.

En este estudio se describe los procedimientos realizados para obtener los factores de emisión, específicos para México, basados en mediciones obtenidas en simulaciones de condiciones de una quema abierta para las variedades agrícolas cultivadas en el país para alfalfa, algodón, caña de azúcar, cebada, frijol, maíz, sorgo y trigo.

Para obtener la cantidad de materia de residuos agrícolas incinerados, se utiliza la siguiente ecuación:

Ecuación 8. Biomasa incinerada en campos de residuos agrícolas

$$r_{inc} = P * R_{r-c} * f_{ms} * f_{cinc}$$

Dónde:

- r<sub>inc</sub>**= Masa de residuo agrícola incinerado en campo (ton)
- P**= Producción agrícola del cultivo
- R<sub>r-c</sub>**= Relación residuo-cultivo
- f<sub>ms</sub>**= Fracción de materia seca
- f<sub>cinc</sub>**= Fracción de cultivo incinerado en campo
- f<sub>oxi</sub>**= Factor de oxidación (fracción de carbono que no se oxida), valor de 0.90 para residuos agrícolas

### Datos de actividad (DA)

Los datos de actividad (número de hectáreas consumidas por incendios forestales y estimación de residuos agrícolas) fueron los mismos utilizados para el cálculo de las emisiones de gases de efecto invernadero.

### Factores de emisión (FE)

Los factores de emisión obtenidos por el INECC son (Tabla 64):

Tabla 64. Factores de emisión de partículas PM2.5, PM10 y CN para los principales cultivos en México

Quema de residuos	FE PM <sub>10</sub> (g PM <sub>10</sub> /Kg)	FE CN - PM <sub>10</sub> (g CN/kg)	FE PM <sub>2.5</sub> (g PM <sub>2.5</sub> /Kg)	FE CN - PM <sub>2.5</sub> (g CN/kg)	FE g del contaminantes/kg de residuo (EPA) PM <sub>2.5</sub>
Alfalfa	11.11	0.25	9.98	0.24	23
Algodón	13.37	0.47	8.22	0.41	4.53
Caña de azúcar	1.81	0.37	1.19	0.34	12.95
Cebada	1.77	0.24	1.19	0.22	11
Frijol	2.75	0.19	2.24	0.19	22
Maíz	3.3	0.19	2.7	0.18	12
Sorgo	21.56	0.43	11.3	0.29	9
Trigo	4.07	0.35	2.54	0.24	18

Fuente: INECC, 2016.

Mientras que los elementos de residuos cultivos se presentan en la Tabla 65.

Tabla 65. Elementos para calcular la biomasa que se quema en cultivos

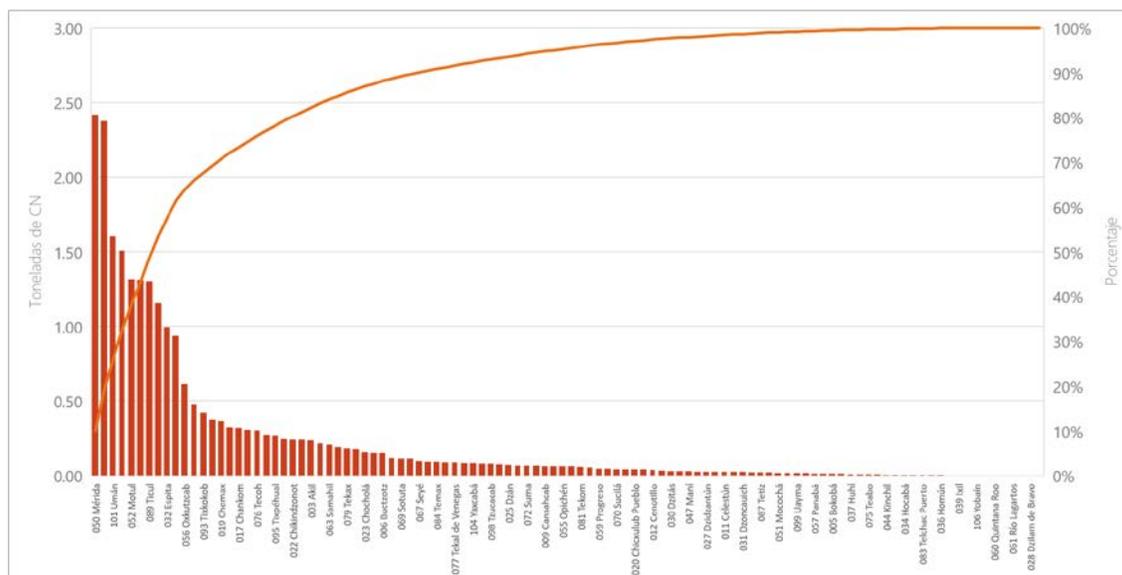
Cultivo	Relación residuo-cultivo	Fracción materia seca	Fracción de cultivo incinerado en campo
Alfalfa	0	0.903	0
Algodón	3	0.906	0.2
Caña de azúcar	0.15	0.895	0.72
Cebada	2.3	0.903	0.2
Frijol	1.3	0.919	0.2
Maíz	1.5	0.919	0.2
Sorgo	1.5	0.914	0
Trigo	1.5	0.891	0.2

Fuente: INECC, 2016.

## 4C2 Quema a cielo abierto de residuos sólidos

Las emisiones de carbono negro por la quema abierta de residuos se cuantificaron en 24.21 toneladas y observan una tasa de reducción de -55.99% frente a las emisiones de 2010, cuando se estimaron 55.25 toneladas en 2010. Como se observa en la Figura 54, el 60% de las emisiones corresponden a los siguientes municipios: Mérida (9.96%), Valladolid (9.78%), Umán (6.61%), Kanasín (6.21%), Motul (5.41%), Hunucmá (5.39%) y Ticul (5.36%).

Figura 54. Emisiones de [4C2] Quema a cielo abierto de residuos sólidos por municipio



Fuente: Elaboración propia.

## Metodología

Se utilizó el FE de acuerdo con la Ecuación 3 de las Directrices 2006 (vol. 3, cap. 5). Para la cuantificación de estas emisiones sólo se considera la composición de carbono fósil de los residuos quemados a cielo abierto, y se excluyen los residuos de origen biogénico como los residuos de jardinería y alimentos.

## Datos de actividad (DA)

Los datos de actividad empleados son la generación per cápita de residuos y el porcentaje de viviendas que queman residuos, obtenidos de los Censos de Población y Vivienda 2010 y 2020, la Encuesta Intercensal 2015 de INEGI, así como el Programa para la Gestión Integral de Residuos del Estado de Durango 2011 e información proporcionada por la Secretaría de Desarrollo Sustentable de Yucatán.

## Factores de emisión (FE)

En el caso del carbono negro (CN) se utilizó el FE de acuerdo con la Ecuación 3 de las Directrices 2006 (vol. 3, cap. 5). Para la cuantificación de estas emisiones solo se considera la composición de carbono fósil de los residuos quemados a cielo abierto, y se excluyen los residuos de origen biogénico como los residuos de jardinería y alimentos.

El FE se obtuvo mediante una investigación realizada en México tomando en cuenta las características y circunstancias nacionales (Christian et al., 2010); el resultado fue un FE de 0.646 g CN/t de residuos quemados a cielo abierto.

## **Anexos**

### **Anexo I: Categorías Clave**

Código IPCC	código/ Categoría	GEI a evaluar	Emisiones o absorciones del año t (Gg CO2e)	Valor absoluto de emisiones y absorciones del año t (Gg CO2e)	Evaluación del nivel	Total acumulativo de la evaluación del nivel
3B1a	Tierras forestales que permanecen como tal	CO2	-14,566.58	14,566.58	50.96%	50.96%
1A1ai	Industrias de la energía. Generación eléctrica (Combustión de gas natural)	CO2	2,719.59	2,719.59	9.51%	60.48%
1A3b	Transporte terrestre (Gasolina)	CO2	2,030.79	2,030.79	7.10%	67.58%
3B3a	Praderas que permanecen como tal	CO2	1,445.46	1,445.46	5.06%	72.64%
3B1b	Tierras convertidas a tierras forestales	CO2	-1,046.86	1,046.86	3.66%	76.30%
3A1	Fermentación Entérica	CH4	941.07	941.07	3.29%	79.59%
3B3b	Tierras convertidas en praderas	CO2	696.85	696.85	2.44%	82.03%
1A3b	Transporte terrestre (Diesel automotriz)	CO2	598.08	598.08	2.09%	84.13%
3B2b	Tierras convertidas a tierras de cultivo	CO2	354.99	354.99	1.24%	85.37%
1A2e	Procesamiento de alimentos, bebidas y tabaco (Combustión de gas natural)	CO2	333.74	333.74	1.17%	86.54%
2A1	Producción de cemento	CO2	318.04	318.04	1.11%	87.65%
2F1aii	Refrigeración y aire acondicionado estacionario, comercios	HFC	291.61	291.61	1.02%	88.67%
4D2	Tratamiento y eliminación de aguas residuales industriales	CH4	289.22	289.22	1.01%	89.68%
3C4	Emisiones directas de N2O de suelos gestionados	N2O	265.11	265.11	0.93%	90.61%
4A1	Sitios de eliminación de desechos gestionados	CH4	224.35	224.35	0.78%	91.39%
1A2f	Minerales no metálicos (coque de petróleo)	CO2	198.41	198.41	0.69%	92.09%
1A3a	Aviación civil (Turbosina)	CO2	172.40	172.40	0.60%	92.69%
1A1ai	Industrias de la energía. Generación eléctrica (Combustión de diésel)	CO2	152.99	152.99	0.54%	93.22%
4D1	Tratamiento y eliminación de aguas residuales domésticas	CH4	132.50	132.50	0.46%	93.69%
1A4b	Residencial (combustión de gas LP)	CO2	115.17	115.17	0.40%	94.09%
1A3b	Transporte terrestre (Gasolina)	N2O	114.28	114.28	0.40%	94.49%
1A4a	Comercial/Institucional (combustión de gas LP)	CO2	111.46	111.46	0.39%	94.88%
1A3d	Navegación marítima y fluvial (diesel nacional)	CO2	107.91	107.91	0.38%	95.26%
3C5	Emisiones indirectas de N2O de suelos gestionados	N2O	97.32	97.32	0.34%	95.60%
1A1ai	Industrias de la energía. Generación eléctrica (Combustión de combustóleo)	CO2	94.96708	94.97	0.33%	95.93%
1A4b	Residencial (combustión de leña)	CH4	92.689552	92.69	0.32%	96.26%
1A2c	Productos químicos (Gas natural)	CO2	81.48	81.48	0.29%	96.54%
Código IPCC	código/ Categoría	GEI a evaluar	Emisiones o absorciones del año t (Gg CO2e)	Valor absoluto de emisiones y absorciones del año t (Gg CO2e)	Evaluación del nivel	Total acumulativo de la evaluación del nivel

3C6	Emisiones Indirectas de N2O por SME	N2O	74.49	74.49	0.26%	96.80%
3C3	Aplicación de urea	CO2	74.32	74.32	0.26%	97.06%
1A3c	Ferrocarril (Diesel ferroviario)	CO2	65.42	65.42	0.23%	97.29%
3A2	Manejo del estiércol	N2O	60.59	60.59	0.21%	97.50%
1A2e	Procesamiento de alimentos, bebidas y tabaco (diesel)	CO2	50.55	50.55	0.18%	97.68%
4A3	Sitios de eliminación de desechos no categorizados	CH4	43.39	43.39	0.15%	97.83%
1B2b	Distribución de gas natural (fuga)	CH4	42.98	42.98	0.15%	97.98%
4D1	Tratamiento y eliminación de aguas residuales domésticas	N2O	39.22	39.22	0.14%	98.12%
1A2i	Minería y cantería (combustión de diesel)	CO2	32.19	32.19	0.11%	98.23%
1A2l	Textiles y cueros (combustión de gas natural)	CO2	31.70	31.70	0.11%	98.34%
4D2	Tratamiento y eliminación de aguas residuales industriales	N2O	28.76	28.76	0.10%	98.44%
1A2i	Minería y cantería (combustión de Coque de petróleo)	CO2	28.74	28.74	0.10%	98.54%
3A2	Manejo del estiércol	CH4	26.36	26.36	0.09%	98.64%
2F1ai	Refrigeración y aire acondicionado estacionario, sector residencial	HFC	25.10	25.10	0.09%	98.72%
3D1	Productos de madera recolectada	CO2	-20.84	20.84	0.07%	98.80%
2D1	Uso de lubricantes	CO2	19.66	19.66	0.07%	98.87%
3B6b	Tierras convertidas en otras tierras	CO2	19.63	19.63	0.07%	98.93%
1A4a	Comercial/Institucional (combustión de diésel)	CO2	18.91	18.91	0.07%	99.00%
1B2b	Transporte y almacenamiento de Gas natural (fuga)	CH4	1.88E+01	18.75	0.07%	99.07%
1A2e	Procesamiento de alimentos, bebidas y tabaco (combustión de gas natural)	CO2	17.34	17.34	0.06%	99.13%
1B2b	Uso de gas natural en instalaciones industriales (fuga)	CH4	15.63	15.63	0.05%	99.18%
1A2k	Construcción (combustión de diesel)	CO2	15.51	15.51	0.05%	99.24%
1A2l	Textiles y cueros (combustión de GLP)	CO2	15.06	15.06	0.05%	99.29%
1A1cii	Industrias de la energía. Otras industrias de la energía (Combustión de gas natural)	CO2	12.77	12.77	0.04%	99.33%
1B2b	Transporte y almacenamiento de Gas natural (venteo)	CH4	1.25E+01	12.50	0.04%	99.38%
2F1aiii	Refrigeración y aire acondicionado estacionario, hoteles	HFC	12.12	12.12	0.04%	99.42%
1A2c	Productos químicos (Diesel)	CO2	12.07	12.07	0.04%	99.46%
1A3b	Transporte terrestre (Gasolina)	CH4	11.990564	11.99	0.04%	99.50%
1A4b	Residencial (combustión de leña)	N2O	11.70	11.70	0.04%	99.54%
4C2	Quema a cielo abierto de residuos	CH4	11.13	11.13	0.04%	99.58%
<b>Código IPCC</b>	<b>código/ Categoría</b>	<b>GEI a evaluar</b>	<b>Emisiones o absorciones del año t (Gg CO2e)</b>	<b>Valor absoluto de emisiones y absorciones del año t (Gg CO2e)</b>	<b>Evaluación del nivel</b>	<b>Total acumulativo de la evaluación del nivel</b>

1A2e	Procesamiento de alimentos, bebidas y tabaco (Combustión de gas LP)	CO2	10.93	10.93	0.04%	99.62%
1A4c	Sector Agropecuario (combustión de gas LP)	CO2	10.67	10.67	0.04%	99.66%
1A2i	Minería y cantería (combustión de GLP)	CO2	8.57	8.57	0.03%	99.69%
1A2f	Minerales no metálicos (FIRSU)	CO2	7.88	7.88	0.03%	99.72%
1A3b	Transporte terrestre (Gas L.P.)	CO2	7.70	7.70	0.03%	99.74%
2A2	Producción de cal	CO2	7.37	7.37	0.03%	99.77%
1A3c	Ferrocarril (Diesel ferroviario)	N2O	6.68	6.68	0.02%	99.79%
4A2	Sitios de eliminación de desechos no gestionados	CH4	6.28	6.28	0.02%	99.81%
3B5b	Tierras convertidas en asentamientos	CO2	5.91	5.91	0.02%	99.83%
4C2	Quema a cielo abierto de residuos	CO2	5.42	5.42	0.02%	99.85%
1A2k	Construcción (combustión de GLP)	CO2	5.14	5.14	0.02%	99.87%
2C1	Producción de hierro y acero	CO2	3.32	3.32	0.01%	99.95%
3C1a	Emisiones de GEI por quemado de biomasa en tierras forestales	CH4	3.13	3.13	0.01%	99.88%
4C2	Quema a cielo abierto de residuos	N2O	2.43	2.43	0.01%	99.89%
2F1avi	Refrigeración y aire acondicionado sector industrial	HCFC	2.37	2.37	0.01%	99.90%
1A2g	Equipo de transporte (combustión de diesel)	CO2	2.22	2.22	0.01%	99.91%
1A2l	Textiles y cueros (combustión de diésel)	CO2	2.01	2.01	0.01%	99.91%
2F1avi	Refrigeración y aire acondicionado sector industrial	HFC	1.63	1.63	0.01%	99.92%
1A2a	Producción de hierro y acero (diesel)	CO2	1.39	1.39	0.00%	99.92%
1A1ai	Industrias de la energía. Generación eléctrica (Combustión de gas natural)	CH4	1.318456	1.32	0.00%	99.93%
1A2f	Minerales no metálicos (comb.alt.liq.)	CO2	1.29	1.29	0.00%	99.93%
1A3a	Aviación civil (Turbosina)	N2O	1.26	1.26	0.00%	99.94%
1A1ai	Industrias de la energía. Generación eléctrica (Combustión de gas natural)	N2O	1.24782	1.25	0.00%	99.94%
1A2c	Productos químicos (Combustóleo)	CO2	0.99	0.99	0.00%	99.96%
1A3a	Aviación civil (Gasavión)	CO2	0.96	0.96	0.00%	99.96%
2F1aiv	Refrigeración y aire acondicionado estacionario, sector hospitales	HFC	0.94	0.94	0.00%	99.96%
3C1a	Emisiones de GEI por quemado de biomasa en tierras forestales	N2O	0.87	0.87	0.00%	99.97%
1A3d	Navegación marítima y fluvial (diesel nacional)	N2O	0.78	0.78	0.00%	99.97%
1A2e	Procesamiento de alimentos, bebidas y tabaco (Combustión de gasolina)	CO2	0.65	0.65	0.00%	99.97%
1A2c	Productos químicos (GLP)	CO2	0.52	0.52	0.00%	99.97%
1A2f	Minerales no metálicos (llantas)	CO2	0.49	0.49	0.00%	99.98%
<b>Código IPCC</b>	<b>código/ Categoría</b>	<b>GEI a evaluar</b>	<b>Emisiones o absorciones del año t (Gg CO2e)</b>	<b>Valor absoluto de emisiones y absorciones del año t (Gg CO2e)</b>	<b>Evaluación del nivel</b>	<b>Total acumulativo de la evaluación del nivel</b>

2F1av	Refrigeración y aire acondicionado estacionario, oficinas	HFC	0.41	0.41	0.00%	99.98%
1A2f	Minerales no metálicos (coque de petróleo)	N2O	0.40	0.40	0.00%	99.98%
1A2f	Minerales no metálicos (comb.alt.sól.)	CO2	0.37	0.37	0.00%	99.98%
1A3b	Transporte terrestre (Diesel automotriz)	N2O	0.37	0.37	0.00%	99.98%
1A1ai	Industrias de la energía. Generación eléctrica (Combustión de diésel)	N2O	0.33392	0.33	0.00%	99.98%
1A3d	Navegación marítima y fluvial (diesel nacional)	CH4	0.287448	0.29	0.00%	99.98%
1A2a	Producción de hierro y acero (GLP)	CO2	0.27	0.27	0.00%	99.98%
1A4b	Residencial (combustión de gas LP)	CH4	0.247749	0.25	0.00%	99.99%
1A4a	Comercial/Institucional (combustión de gas LP)	CH4	0.239758	0.24	0.00%	99.99%
1A2f	Minerales no metálicos (coque de petróleo)	CH4	0.210990	0.21	0.00%	99.99%
1A3b	Transporte terrestre (Gas L.P.)	CH4	0.204361	0.20	0.00%	99.99%
1A4a	Comercial/Institucional (combustión de gasolinas)	CO2	0.20	0.20	0.00%	99.99%
1A1ai	Industrias de la energía. Generación eléctrica (Combustión de combustóleo)	N2O	0.19005	0.19	0.00%	99.99%
1A1ai	Industrias de la energía. Generación eléctrica (Combustión de diésel)	CH4	0.176409	0.18	0.00%	99.99%
1A2l	Textiles y cueros (combustión de gasolina)	CO2	0.17	0.17	0.00%	99.99%
1A2m	Industria no especificada (combustión de GLP)	CO2	0.17	0.17	0.00%	99.99%
1A2e	Procesamiento de alimentos, bebidas y tabaco (Combustión de gas natural)	CH4	0.161799	0.16	0.00%	99.99%
1A2e	Procesamiento de alimentos, bebidas y tabaco (Combustión de gas natural)	N2O	0.15	0.15	0.00%	99.99%
1A5	Sector no especificado (combustión de GLP)	CO2	0.14	0.14	0.00%	99.99%
3C1b	Emisiones de GEI por quemado de biomasa en tierras de cultivo	CH4	0.12	0.12	0.00%	99.99%
1A2g	Equipo de transporte (combustión de GLP)	CO2	0.12	0.12	0.00%	99.99%
1A2f	Minerales no metálicos (llantas)	N2O	0.11	0.11	0.00%	99.99%
1A2e	Procesamiento de alimentos, bebidas y tabaco (diesel)	N2O	0.11	0.11	0.00%	99.99%
1A3c	Ferrocarril (Diesel ferroviario)	CH4	0.102430	0.10	0.00%	99.99%
1A1ai	Industrias de la energía. Generación eléctrica (Combustión de combustóleo)	CH4	0.100405	0.10	0.00%	99.99%
1A2f	Minerales no metálicos (FIRSU)	N2O	0.09	0.09	0.00%	99.99%
1A1ai	Industrias de la energía. Generación eléctrica (Combustión de gasolina)	CO2	0.07941	0.08	0.00%	100.00%
1A5	Sector no especificado (combustión de Gasolina)	CO2	0.08	0.08	0.00%	100.00%
1A4a	Comercial/Institucional (combustión de diésel)	CH4	0.072681	0.07	0.00%	100.00%
1A2f	Minerales no metálicos (FIRSU)	CH4	0.072194	0.07	0.00%	100.00%

Código IPCC	código/ Categoría	GEI a evaluar	Emisiones o absorciones del año t (Gg CO2e)	Valor absoluto de emisiones y absorciones del año t (Gg CO2e)	Evaluación del nivel	Total acumulativo de la evaluación del nivel
1B2b	Distribución de gas natural (fuga)	CO2	0.07	0.07	0.00%	100.00%
1A2i	Minería y cantería (combustión de diesel)	N2O	0.07	0.07	0.00%	100.00%
1A2i	Minería y cantería (combustión de combustóleo)	CO2	0.06	0.06	0.00%	100.00%
1A2e	Procesamiento de alimentos, bebidas y tabaco (diesel)	CH4	0.058289	0.06	0.00%	100.00%
1A2i	Minería y cantería (combustión de Coque de petróleo)	N2O	0.06	0.06	0.00%	100.00%
1A5	Sector no especificado (combustión de diesel)	CO2	0.05	0.05	0.00%	100.00%
1A4b	Residencial (combustión de gas LP)	N2O	0.05	0.05	0.00%	100.00%
1A4a	Comercial/Institucional (combustión de gas LP)	N2O	0.05	0.05	0.00%	100.00%
1A4a	Comercial/Institucional (combustión de diésel)	N2O	0.04	0.04	0.00%	100.00%
1A2c	Productos químicos (Gas natural)	CH4	0.039501	0.04	0.00%	100.00%
1A3b	Transporte terrestre (Diesel automotriz)	CH4	0.039216	0.04	0.00%	100.00%
1A2c	Productos químicos (Gas natural)	N2O	0.04	0.04	0.00%	100.00%
1A2i	Minería y cantería (combustión de diesel)	CH4	0.037120	0.04	0.00%	100.00%
1A2e	Procesamiento de alimentos, bebidas y tabaco (combustóleo)	N2O	0.03	0.03	0.00%	100.00%
1A2k	Construcción (combustión de diesel)	N2O	0.03	0.03	0.00%	100.00%
3C1b	Emisiones de GEI por quemado de biomasa en tierras de cultivo	N2O	0.03	0.03	0.00%	100.00%
1A3a	Aviación civil (Turbosina)	CH4	0.033240	0.03	0.00%	100.00%
1A2i	Minería y cantería (combustión de Coque de petróleo)	CH4	0.030567	0.03	0.00%	100.00%
1A2c	Productos químicos (Diesel)	N2O	0.03	0.03	0.00%	100.00%
1A4c	Sector Agropecuario (combustión de gas LP)	CH4	0.022961	0.02	0.00%	100.00%
1A2k	Construcción (combustión de lubricantes)	CO2	0.02	0.02	0.00%	100.00%
1A2e	Procesamiento de alimentos, bebidas y tabaco (combustóleo)	CH4	0.018332	0.02	0.00%	100.00%
1A2k	Construcción (combustión de diesel)	CH4	0.017885	0.02	0.00%	100.00%
1A2f	Minerales no metálicos (comb.alt.liq.)	N2O	0.02	0.02	0.00%	100.00%
1A2l	Textiles y cueros (combustión de gas natural)	CH4	0.015370	0.02	0.00%	100.00%
1A2l	Textiles y cueros (combustión de gas natural)	N2O	0.01	0.01	0.00%	100.00%
1A2c	Productos químicos (Diesel)	CH4	0.013912	0.01	0.00%	100.00%
1A2f	Minerales no metálicos (comb.alt.liq.)	CH4	0.013811	0.01	0.00%	100.00%
1A1cii	Industrias de la energía. Otras industrias de la energía(Combustión de diesel)	CO2	0.01	0.01	0.00%	100.00%
1A3a	Aviación civil (Gasavión)	N2O	0.01	0.01	0.00%	100.00%

Código IPCC	código/ Categoría	GEI a evaluar	Emisiones o absorciones del año t (Gg CO2e)	Valor absoluto de emisiones y absorciones del año t (Gg CO2e)	Evaluación del nivel	Total acumulativo de la evaluación del nivel
1A2e	Procesamiento de alimentos, bebidas y tabaco (Combustión de biogás)	CH4	0.006675	0.01	0.00%	100.00%
1A2l	Textiles y cueros (combustión de GLP)	CH4	0.006479	0.01	0.00%	100.00%
1A2e	Procesamiento de alimentos, bebidas y tabaco (Combustión de biogás)	N2O	0.01	0.01	0.00%	100.00%
1A3b	Transporte terrestre (Gas L.P.)	N2O	0.01	0.01	0.00%	100.00%
1A1cii	Industrias de la energía. Otras industrias de la energía(Combustión de gas natural)	CH4	0.006192	0.01	0.00%	100.00%
1A2l	Textiles y cueros (combustión de GLP)	N2O	0.01	0.01	0.00%	100.00%
1A1cii	Industrias de la energía. Otras industrias de la energía(Combustión de gas natural)	N2O	0.01	0.01	0.00%	100.00%
1A2f	Minerales no metálicos (llantas)	CH4	0.004902	0.00	0.00%	100.00%
1A2g	Equipo de transporte (combustión de diesel)	N2O	0.00	0.00	0.00%	100.00%
1A2e	Procesamiento de alimentos, bebidas y tabaco (Combustión de gas LP)	CH4	0.004700	0.00	0.00%	100.00%
1B2b	Uso de gas natural en instalaciones industriales (fuga)	CO2	4.60E-03	0.00	0.00%	100.00%
1A2e	Procesamiento de alimentos, bebidas y tabaco (Combustión de gasolina)	N2O	0.00	0.00	0.00%	100.00%
1A2f	Minerales no metálicos (comb.alt.sól.)	N2O	0.00	0.00	0.00%	100.00%
1A2l	Textiles y cueros (combustión de diésel)	N2O	0.00	0.00	0.00%	100.00%
1A4c	Sector Agropecuario (combustión de gas LP)	N2O	4.35E-03	0.00	0.00%	100.00%
1B2b	Transporte y almacenamiento de Gas natural (quemado)	CO2	4.33E-03	0.00	0.00%	100.00%
1A2i	Minería y cantería (combustión de GLP)	CH4	0.003686	0.00	0.00%	100.00%
1A2f	Minerales no metálicos (comb.alt.sól.)	CH4	0.003500	0.00	0.00%	100.00%
1A2i	Minería y cantería (combustión de GLP)	N2O	0.00	0.00	0.00%	100.00%
1A2a	Producción de hierro y acero (diesel)	N2O	0.00303	0.00	0.00%	100.00%
1A2g	Equipo de transporte (combustión de diesel)	CH4	0.002561	0.00	0.00%	100.00%
1A2i	Minería y cantería (combustión de gasolina)	CO2	0.00	0.00	0.00%	100.00%
1A2l	Textiles y cueros (combustión de diésel)	CH4	0.002316	0.00	0.00%	100.00%
1A2k	Construcción (combustión de GLP)	CH4	0.002210	0.00	0.00%	100.00%
1A2k	Construcción (combustión de GLP)	N2O	2.09E-03	0.00	0.00%	100.00%
1A2c	Productos químicos (Combustóleo)	N2O	0.00199	0.00	0.00%	100.00%
1A2a	Producción de hierro y acero (diesel)	CH4	0.001601	0.00	0.00%	100.00%
1A2e	Procesamiento de alimentos, bebidas y tabaco (Combustión de gasolina)	N2O	0.00	0.00	0.00%	100.00%
1B2b	Transporte y almacenamiento de Gas natural (quemado)	CO2	1.23E-03	0.00	0.00%	100.00%
1A2c	Productos químicos (Combustóleo)	CH4	0.001050	0.00	0.00%	100.00%

Código IPCC	código/ Categoría	GEI a evaluar	Emisiones o absorciones del año t (Gg CO2e)	Valor absoluto de emisiones y absorciones del año t (Gg CO2e)	Evaluación del nivel	Total acumulativo de la evaluación del nivel
1A4a	Comercial/Institucional (combustión de gasolinas)	CH4	0.000769	0.00	0.00%	100.00%
1A4e	Procesamiento de alimentos, bebidas y tabaco (Combustión de gasolina)	CH4	0.000743	0.00	0.00%	100.00%
1B2a	Transporte y almacenamiento de Gas LP (quema)	CO2	4.80E-04	0.00	0.00%	100.00%
1A4a	Comercial/Institucional (combustión de gasolinas)	N2O	0.00044	0.00	0.00%	100.00%
1A2l	Textiles y cueros (combustión de gasolina)	N2O	0.00038	0.00	0.00%	100.00%
1A2k	Construcción (combustión de lubricantes)	N2O	0.00029	0.00	0.00%	100.00%
1A2k	Construcción (combustión de lubricantes)	CH4	0.000232	0.00	0.00%	100.00%
1A2c	Productos químicos (GLP)	CH4	0.000225	0.00	0.00%	100.00%
1A2c	Productos químicos (GLP)	N2O	0.0002128267	0.00	0.00%	100.00%
1A2l	Textiles y cueros (combustión de gasolina)	CH4	0.000199	0.00	0.00%	100.00%
1A3a	Aviación civil (Gasavión)	CH4	0.000185	0.00	0.00%	100.00%
1A1ai	Industrias de la energía. Generación eléctrica (Combustión de gasolina)	N2O	0.0001711079	0.00	0.00%	100.00%
1A5	Sector no especificado (combustión de Gasolina)	N2O	0.0001671623	0.00	0.00%	100.00%
1A2i	Minería y cantería (combustión de combustóleo)	N2O	0.0001300511	0.00	0.00%	100.00%
1A2a	Producción de hierro y acero (GLP)	CH4	0.000116	0.00	0.00%	100.00%
1A2a	Producción de hierro y acero (GLP)	N2O	0.0001096059	0.00	0.00%	100.00%
1A5	Sector no especificado (combustión de diesel)	N2O	0.0001036683	0.00	0.00%	100.00%
1B2a	Transporte y almacenamiento de Gas LP (quema)	N2O	1.03E-04	0.00	0.00%	100.00%
1A1ai	Industrias de la energía. Generación eléctrica (Combustión de gasolina)	CH4	0.000090	0.00	0.00%	100.00%
1A5	Sector no especificado (combustión de Gasolina)	CH4	0.000088	0.00	0.00%	100.00%
1A5	Sector no especificado (combustión de GLP)	CH4	0.000075	0.00	0.00%	100.00%
1A5	Sector no especificado (combustión de GLP)	N2O	0.00	0.00	0.00%	100.00%
1A2i	Minería y cantería (combustión de combustóleo)	CH4	0.000069	0.00	0.00%	100.00%
1A5	Sector no especificado (combustión de GLP)	CH4	0.000062	0.00	0.00%	100.00%
1A5	Sector no especificado (combustión de GLP)	N2O	0.00	0.00	0.00%	100.00%
1A5	Sector no especificado (combustión de diesel)	CH4	0.000055	0.00	0.00%	100.00%
1A2g	Equipo de transporte (combustión de GLP)	CH4	0.000050	0.00	0.00%	100.00%
1A2g	Equipo de transporte (combustión de GLP)	N2O	0.00	0.00	0.00%	100.00%
1A1cii	Industrias de la energía. Otras industrias de la energía (Combustión de diesel)	N2O	0.00	0.00	0.00%	100.00%

Código IPCC	código/ Categoría	GEI a evaluar	Emisiones o absorciones del año t (Gg CO2e)	Valor absoluto de emisiones y absorciones del año t (Gg CO2e)	Evaluación del nivel	Total acumulativo de la evaluación del nivel
1A1cii	Industrias de la energía. Otras industrias de la energía(Combustión de diesel)	CH4	0.000010	0.00	0.00%	100.00%
1A2i	Minería y cantería (combustión de gasolina)	N2O	0.00	0.00	0.00%	100.00%
1A2i	Minería y cantería (combustión de gasolina)	CH4	0.000003	0.00	0.00%	100.00%
1B2a	Transporte y almacenamiento de Gas LP (quema)	CH4	3.05E-07	0.00	0.00%	100.00%
1A1ai	Industrias de la energía. Generación eléctrica (Combustión de gas seco)	CO2	0.00	0.00	0.00%	100.00%
1A1ai	Industrias de la energía. Generación eléctrica (Combustión de gas seco)	CH4	0.000000	0.00	0.00%	100.00%
1A1ai	Industrias de la energía. Generación eléctrica (Combustión de gas seco)	N2O	0.00	0.00	0.00%	100.00%
1A2f	Minerales no metálicos (lubricantes)	CO2	0.00	0.00	0.00%	100.00%
1A2f	Minerales no metálicos (lubricantes)	CH4	0.000000	0.00	0.00%	100.00%
1A2f	Minerales no metálicos (lubricantes)	N2O	0.00	0.00	0.00%	100.00%
1A2i	Minería y cantería (combustión de Coque de carbón)	CO2	0.00	0.00	0.00%	100.00%
1A2i	Minería y cantería (combustión de Coque de carbón)	CH4	0.000000	0.00	0.00%	100.00%
1A2i	Minería y cantería (combustión de Coque de carbón)	N2O	0.00	0.00	0.00%	100.00%
1A2k	Construcción (combustión de Carbón mineral)	CO2	0.00	0.00	0.00%	100.00%
1A2k	Construcción (combustión de Carbón mineral)	CH4	0.000000	0.00	0.00%	100.00%
1A2k	Construcción (combustión de Carbón mineral)	N2O	0.00	0.00	0.00%	100.00%
1A2k	Construcción (combustión de Coque de petróleo)	CO2	0.00	0.00	0.00%	100.00%
1A2k	Construcción (combustión de Coque de petróleo)	CH4	0.000000	0.00	0.00%	100.00%
1A2k	Construcción (combustión de Coque de petróleo)	N2O	0.00	0.00	0.00%	100.00%
1A3b	Transporte terrestre (Gas natural)	CO2	0.00	0.00	0.00%	100.00%
1A3b	Transporte terrestre (Gas natural)	CH4	0.000000	0.00	0.00%	100.00%
1A3b	Transporte terrestre (Gas natural)	N2O	0.00	0.00	0.00%	100.00%
1B2b	Transporte y almacenamiento de Gas natural (venteo)	N2O	0.00E+00	0.00	0.00%	100.00%
1B2b	Transporte y almacenamiento de Gas natural (fuga)	N2O	0.00E+00	0.00	0.00%	100.00%
1B2b	Distribución de gas natural (fuga)	N2O	0.00	0.00	0.00%	100.00%
1B2b	Uso de gas natural en instalaciones industriales (fuga)	N2O	0.00	0.00	0.00%	100.00%
3B2a	Tierras de cultivo que permanecen como tal	CO2	0.00	0.00	0.00%	100.00%
3B4b	Tierras convertidas en humedales	CO2	0.00	0.00	0.00%	100.00%
3C1c	Emisiones de GEI por quemado de biomasa en tierras praderas	CH4	0.00	0.00	0.00%	100.00%
3C1c	Emisiones de GEI por quemado de biomasa en tierras praderas	N2O	0.00	0.00	0.00%	100.00%

Fuente: Elaboración propia

## Anexo II Evaluación de Incertidumbre

Código o IPCC	Nivel	Emisiones / absorciones 2023 (Gg)	Incertidumbre combinada como % del total de emisiones en el año 2023	rango	
<b>1</b>	<b>Energía</b>	<b>7,416.84</b>	<b>4.03</b>	<b>7,118.16</b>	<b>7,715.52</b>
1A	Actividades de quema del combustible	7,326.89	4.03	7,031.97	7,621.82
1A1	Industrias de la energía	2,983.80	6.26	2,796.91	3,170.68
1A1a	Producción de electricidad y calor	2,971.00	6.29	2,784.12	3,157.89
1A1c	Otras industrias de la energía	12.79	6.85	11.92	13.67
1A2	Industrias de la manufactura y la construcción	862.01	3.86	828.69	895.32
1A2a	Hierro y acero	1.66	4.38	1.59	1.74
1A2c	Productos químicos	95.18	5.91	89.55	100.81
1A2e	Procesamiento de alimentos, bebidas y tabaco	413.77	5.58	390.69	436.85
1A2f	Minerales no metálicos	209.37	10.95	186.45	232.30
1A2g	Equipo de transporte	2.34	4.89	2.23	2.46
1A2i	Minería (con excepción de combustibles) y cantería	69.78	5.34	66.05	73.50
1A2k	Construcción	20.73	4.05	19.89	21.56
1A2l	Textiles y cueros	49.00	4.70	46.69	51.30
1A2m	Industria no especificada	0.17	5.00	0.16	0.18
1A3	Transporte	3,119.30	5.90	2,935.40	3,303.19
1A3a	Aviación civil	174.66	5.02	165.89	183.43
1A3b	Transporte terrestre	2,763.45	6.63	2,580.18	2,946.73
1A3c	Ferrocarriles	72.20	13.28	62.61	81.79
1A3d	Navegación marítima y fluvial	108.97	7.16	101.17	116.78
1A4	Otros sectores	361.53	36.20	230.67	492.39
1A4a	Comercial/Institucional	130.97	4.33	125.30	136.64
1A4b	Residencial	219.85	59.47	89.12	350.59
1A4c	Agropecuario	10.70	5.00	10.17	11.24
1A5	Sector no especificado	0.27	3.20	0.26	0.28
1B	Emisiones fugitivas provenientes de la fabricación de combustibles	89.95	52.48	42.74	137.15
1B2	Emisiones fugitivas provenientes de la fabricación de combustibles	89.95	52.48	42.74	137.15
1B2a	Transporte y almacenamiento de Gas LP	0.00	119.96	0.00	0.00
1B2b	Distribución y uso de gas natural	8.99E+01	52.49	4.27E+01	1.37E+02
<b>2</b>	<b>Procesos industriales y uso de productos</b>	<b>682.56</b>	<b>35.73</b>	<b>438.66</b>	<b>926.47</b>
2A	Industria de los minerales	325.41	2.79	316.34	334.47
2A1	Producción de cemento	318.04	2.83	309.04	327.03
2A2	Producción de cal	7.37	15.13	6.25	8.49
2C	Industria de los metales	3.32	26.93	2.42	4.21
2C1	Producción de hierro y acero	3.32	26.93	2.42	4.21

Código IPCC	Nivel	Emisiones / absorciones 2023 (Gg)	Incertidumbre combinada como % del total de emisiones en el año 2023	rango	
2D	Uso de productos no energéticos de combustibles y de solventes	19.66	50.30	9.77	29.55
2D1	Uso de lubricantes	19.66	50.30	9.77	29.55
2F	Uso de productos sustitutos de las SAO	334.18	72.88	90.65	577.71
2F1	Refrigeración y aire acondicionado	334.18	72.88	90.65	577.71
2F1ai	Refrigeración y aire acondicionado estacionario, sector residencial	25.10	63.24	9.23	40.98
2F1aii	Refrigeración y aire acondicionado estacionario, comercios	291.61	83.27	48.77	534.44
2F1aiii	Refrigeración y aire acondicionado estacionario, hoteles	12.12	76.34	2.87	21.38
2F1aiv	Refrigeración y aire acondicionado estacionario, sector hospitales	0.94	98.85	0.01	1.87
2F1av	Refrigeración y aire acondicionado estacionario, oficinas	0.41	47.70	0.21	0.61
2F1avi	Refrigeración y aire acondicionado estacionario, industria	4.00	32.46	2.70	5.30
<b>3</b>	<b>ASOUT</b>	<b>-11,568.02</b>	<b>44.84</b>	<b>-6,381.02</b>	<b>-16,755.02</b>
<b>3</b>	<b>ASOUT sin 3B, 3D</b>	<b>1,543.41</b>	<b>27.92</b>	<b>1,112.56</b>	<b>1,974.26</b>
3A	Ganado	1,028.02	39.56	621.37	1,434.66
3A1	Fermentación entérica	941.07	42.92	537.21	1,344.93
3A2	Gestión de estiércol	86.95	54.63	39.45	134.44
3B	Tierra	-13,090.59	39.49	-	-
3B1	Tierras forestales	-15,613.44	28.77	-	-
3B1a	Tierras forestales que permanecen como tal	-14,566.58	30.08	10,184.41	-
3B1b	Tierras convertidas a tierras forestales	-1,046.86	94.55	-57.03	-2,036.69
3B2	Tierras de cultivo	354.99	107.97	-28.30	738.29
3B2a	Tierras de cultivo que permanecen como tal	0.00	0.00	0.00	0.00
3B2b	Tierras convertidas a tierras de cultivo	354.99	107.97	-28.30	738.29
3B3	Praderas	2,142.32	117.98	-385.27	4,669.90
3B3a	Praderas que permanecen como tal	1,445.46	164.80	-936.69	3,827.62
3B3b	Tierras convertidas a praderas	696.85	121.26	-148.15	1,541.86
3B4	Humedales	0.00	117.98	0.00	0.00
3B4b	Tierras convertidas en humedales	0.00	0.00	0.00	0.00
3B5	Asentamiento	5.91	30.37	4.12	7.71
3B5b	Tierras convertidas en asentamientos	5.91	30.37	4.12	7.71
3B6	Otras tierras	19.63	106.88	-1.35	40.61
3B6b	Tierras convertidas en otras tierras	19.63	106.88	-1.35	40.61
3C	Fuentes agregadas y fuentes de emisión no CO2 de la tierra, no incluye 3C1	515.39	27.63	373.01	657.77
3C1	Emisiones de GEI por quema de biomasa	4.16	117.35	-0.72	9.03

3C1a	Emisiones de GEI por quemado de biomasa en tierras forestales	4.00	121.70	-0.87	8.88
<b>Código IPCC</b>	<b>Nivel</b>	<b>Emisiones / absorciones 2023 (Gg)</b>	<b>Incertidumbre combinada como % del total de emisiones en el año 2023</b>	<b>rango</b>	
3C1b	Emisiones de GEI por quemado de biomasa en tierras de cultivo	0.15	139.65	-0.06	0.37
3C1c	Emisiones de GEI por quemado de biomasa en Praderas	0.00	0.00	0.00	0.00
3C3	Aplicación de Urea	74.32	50.00	37.16	111.48
3C4	Emisiones directas de N2O de los suelos gestionados	265.11	47.34	139.62	390.59
3C5	Emisiones indirectas de N2O de suelos gestionados	97.32	46.90	51.68	142.97
3C6	Emisiones Indirectas de N2O por SME	74.49	43.22	42.30	106.68
<b>3D</b>	<b>Otros</b>	<b>-20.84</b>	<b>53.66</b>	<b>-9.66</b>	<b>-32.02</b>
3D1	Productos de madera recolectada	-20.84	53.66	-9.66	-32.02
<b>4</b>	<b>Residuos</b>	<b>782.71</b>	<b>21.74</b>	<b>612.55</b>	<b>952.87</b>
4A	Eliminación de residuos sólidos	274.03	61.81	104.65	443.40
4A1	Sitios de eliminación de desechos gestionados	224.35	74.50	57.21	391.50
4A2	Sitios de eliminación de desechos no gestionados	6.28	43.30	3.56	9.01
4A3	Sitios de eliminación de desechos no categorizados	43.39	62.85	16.12	70.66
4C	Incineración y quema a cielo abierto de residuos	18.98	82.19	3.38	34.59
4C2	Incineración a cielo abierto de residuos	18.98	82.19	3.38	34.59
4D	Tratamiento y eliminación de aguas residuales	489.70	0.99	484.83	494.57
4D1	Tratamiento y eliminación de aguas residuales domésticas	171.72	0.32	171.17	172.28
4D2	Tratamiento y eliminación de aguas residuales industriales	317.98	1.52	313.14	322.81

Fuente: Elaboración propia.

## Anexo III Fuentes estimadas y no estimadas

Código del IPCC	Nombre de la categoría	Estatus	Gases
1	ENERGÍA	Estimada	CO2, CH4, N2O
1A	Actividades de quema de combustible	Estimada	CO2, CH4, N2O
1A1	Industrias de la energía	Estimada	CO2, CH4, N2O
1A1a	Producción de electricidad y calor como actividad principal	Estimada	CO2, CH4, N2O
1A1ai	Generación de electricidad	Estimada	CO2, CH4, N2O
1A1aii	Generación combinada de calor y energía (CHP)	No Ocurre	-
1A1aiii	Plantas generadoras de energía	Estimada	CO2, CH4, N2O
1A1b	Refinación del petróleo	No Ocurre	
1A1c	Fabricación de combustibles sólidos y otras industrias energéticas	Estimada	CO2, CH4, N2O
1A1ci	Manufactura de combustibles sólidos	No Ocurre	
1A1cii	Otras industrias de la energía	Estimada	CO2, CH4, N2O
1A2	Industrias manufactureras y de la construcción	Estimada	CO2, CH4, N2O
1A2a	Hierro y acero	Estimada	CO2, CH4, N2O
1A2b	Metales no ferrosos	No Ocurre	
1A2c	Productos químicos	Estimada	CO2, CH4, N2O
1A2d	Pulpa, papel e imprenta	No ocurre	
1A2e	Procesamiento de los alimentos, bebida y tabaco	Estimada	CO2, CH4, N2O
1A2f	Minerales no metálicos	Estimada	CO2, CH4, N2O
1A2g	Equipo de transporte	Estimada	CO2, CH4, N2O
1A2h	Maquinaria	No ocurre	
1A2i	Minería (con excepción de combustibles) y cantería	Estimada	CO2, CH4, N2O
1A2j	Madera y productos de madera	No estimada	
1A2k	Construcción	Estimada	CO2, CH4, N2O
1A2l	Textiles y cuero	Estimada	CO2, CH4, N2O
1A2m	Industria no especificada: manufacturas	Estimada	CO2, CH4, N2O

Código del IPCC	Nombre de la categoría	Estatus	Gases
1A3	Transporte	Estimada	CO2, CH4, N2O
1A3a	Aviación civil	Estimada	CO2, CH4, N2O
1A3ai	Aviación internacional (Tanques de combustible internacional)	Estimada	CO2, CH4, N2O
1A3aii	Aviación de cabotaje	Estimada	CO2, CH4, N2O
1A3b	Transporte terrestre	Estimada	CO2, CH4, N2O
1A3bi	Automóviles	Estimada	CO2, CH4, N2O
1A3bi1	Automóviles de pasajeros con catalizadores tridireccionales	Estimada	CO2, CH4, N2O
1A3bi2	Automóviles de pasajeros sin catalizadores tridireccionales	Estimada	CO2, CH4, N2O
1A3bii	Camiones para servicio ligero	Estimada	CO2, CH4, N2O
1A3bii1	Camiones para servicio ligero con catalizadores tridireccionales	Estimada	CO2, CH4, N2O
1A3bii2	Camiones para servicio ligero sin catalizadores tridireccionales	Estimada	CO2, CH4, N2O
1A3biii	Camiones para servicio pesado y autobuses	Estimada	CO2, CH4, N2O
1A3biv	Motocicletas	Estimada	CO2, CH4, N2O
1A3bv	Emisiones por evaporación procedentes de vehículos	Estimada	CO2, CH4, N2O
1A3bvi	Catalizadores basados en urea	Estimada	CO2, CH4, N2O
1A3c	Ferrocarriles	Estimada	CO2, CH4, N2O
1A3d	Navegación marítima y fluvial	Estimada	CO2, CH4, N2O
1A3di	Navegación marítima y fluvial internacional (Tanques de combustible internacional)	No estimada	
1A3dii	Navegación marítima y fluvial nacional	Estimada	CO2, CH4, N2O
1A3e	Otro tipo de transporte	No Ocurre	-
1A3ei	Transporte por gasoductos	No Ocurre	-
1A3eii	Todo terreno	No Ocurre	-
1A4	Otros sectores	Estimada	
1A4a	Comercial/Institucional	Estimada	CO2, CH4, N2O
1A4b	Residencial	Estimada	CO2, CH4, N2O

Código del IPCC	Nombre de la categoría	Estatus	Gases
1A4c	Agricultura/Silvicultura/Pesca/Piscifactorías	Estimada	CO2, CH4, N2O
1A4ci	Estacionario	No Estimada	CO2, CH4, N2O
1A4cii	Vehículos todo terreno y otra maquinaria	No Estimada	-
1A4ciii	Pesca (combustión móvil)	No Estimada	-
1A5	No especificado	Estimada	CO2, CH4, N2O
1A5a	Estacionario	Estimada	CO2, CH4, N2O
1A5b	Móvil	No Estimada	-
1A5bi	Móviles (componente de aviación)	No Estimada	-
1A5bii	Móviles (componente de navegación marítima y fluvial)	No Estimada	-
1A5biii	Móviles (otros)	No Estimada	-
1A5c	Operaciones multilaterales	No Estimada	-
1B	Emisiones fugitivas provenientes de la fabricación de combustibles	Estimada	CO2, CH4, N2O
1B1	Combustibles sólidos	No Ocurre	-
1B1a	Minería carbonífera y manejo del carbón	No Ocurre	-
1B1ai	Minas subterráneas	No Ocurre	-
1B1ai1	Minería	No Ocurre	-
1B1ai2	Emisiones de gas de carbono posteriores a la minería	No Ocurre	-
1B1ai3	Minas subterráneas abandonadas	No Ocurre	-
1B1ai4	Quema en antorcha de metano drenado o conversión de metano en CO2	No Ocurre	-
1B1aii	Minas de superficie	No Ocurre	-
1B1aii1	Minería	No Ocurre	-
1B1aii2	Emisiones de gas de carbono posteriores a la minería	No Ocurre	-
1B1b	Combustión no controlada y vertederos para quema de carbón	No Ocurre	-
1B1c	Transformación de combustibles sólidos	No Ocurre	-
1B2	Petróleo y gas natural	Estimada	CO2, CH4, N2O
1B2a	Petróleo	No ocurre	CO2, CH4, N2O

Código del IPCC	Nombre de la categoría	Estatus	Gases
1B2ai	Venteo	No ocurre	
1B2aaii	Quema en antorcha	No ocurre	
1B2aiiii	Todos los demás	No Estimada	
1B2aiiii1	Exploración	No Estimada	
1B2aiiii2	Producción y refinación	No Estimada	
1B2aiiii3	Transporte	No Estimada	
1B2aiiii4	Refinación	No Estimada	
1B2aiiii5	Distribución de los productos del petróleo	No Estimada	
1B2aiiii6	Otros	No Estimada	-
1B2b	Gas natural	Estimada	CO2, CH4, N2O
1B2bi	Venteo	Estimada	CO2, CH4, N2O
1B2bii	Quema en antorcha	Estimada	CO2, CH4, N2O
1B2biii	Todos los demás	No Ocurre	
1B2biii1	Exploración	No Estimada	
1B2biii2	Producción	No Estimada	
1B2biii3	Procesamiento	No Estimada	
1B2biii4	Transmisión y almacenamiento	No Estimada	
1B2biii5	Distribución	No Estimada	
1B2biii6	Otros (fuga)	No Estimada	
1B3	Otras emisiones provenientes de la producción de energía	No Ocurre	
1C	Transporte y almacenamiento de dióxido de carbono	No Ocurre	
1C1	Transporte de CO2	No Ocurre	
1C1a	Gasoductos	No Ocurre	
1C1b	Embarcaciones	No Ocurre	-
1C1c	Otros (sírvase especificar)	No Ocurre	-
1C2	Inyección y almacenamiento	No Ocurre	-
1C2a	Inyección	No Ocurre	-

Código del IPCC	Nombre de la categoría	Estatus	Gases
1C2b	Almacenamiento	No Ocurre	-
1C3	Otros	No Ocurre	-
2	PROCESOS INDUSTRIALES Y USO DE PRODUCTOS	Estimada	CO2, HFE, HFC, HCFC, CFC, PFC, SF6
2A	Industria de los minerales	Estimada	CO2
2A1	Producción de cemento	Estimada	CO2
2A2	Producción de cal	Estimada	CO2
2A3	Producción de vidrio	No ocurre	
2A4	Otros usos de carbonatos en los procesos	No Ocurre	-
2A4a	Cerámicas	No Ocurre	-
2A4b	Otros usos de la ceniza de sosa	No Ocurre	-
2A4c	Producción de magnesia no metalúrgica	No Ocurre	-
2A4d	Otros (sírvase especificar)	No Ocurre	-
2A5	Otros (sírvase especificar)	No ocurre	-
2B	Industria química	No Estimada	
2B1	Producción de amoníaco	No Ocurre	
2B2	Producción de ácido nítrico	No Ocurre	
2B3	Producción de ácido adípico	No Ocurre	-
2B4	Producción de caprolactama, glyoxal y ácido glyoxílico	No Ocurre	-
2B5	Producción de carburo	No Ocurre	-
2B6	Producción de dióxido de titanio	No Ocurre	-
2B7	Producción de ceniza de sosa	No Ocurre	-
2B8	Producción petroquímica y de negro de humo	No Estimada	
2B8a	Metanol	No Ocurre	-
2B8b	Etileno	No Ocurre	-
2B8c	Dicloruro de etileno y monómero de cloruro de vinilo	No Ocurre	-
2B8d	Óxido de etileno	No Ocurre	-
2B8e	Acrilonitrilo	No Ocurre	-

Código del IPCC	Nombre de la categoría	Estatus	Gases
2B8f	Negro de humo	No Ocurre	-
2B9	Producción fluoroquímica	No Ocurre	-
2B9a	Emisiones de productos derivados	No Ocurre	-
2B9b	Emisiones fugitivas	No Ocurre	-
2B10	Otros (Producción de químicos básicos inorgánicos)	No Ocurre	-
2C	Industria de los metales	Estimada	CO2
2C1	Producción de hierro y acero	Estimada	CO2
2C2	Producción de ferroaleaciones	No Ocurre	
2C3	Producción de aluminio	No Ocurre	-
2C4	Producción de magnesio	No Ocurre	-
2C5	Producción de plomo	No Ocurre	
2C6	Producción de zinc	No Ocurre	-
2C7	Otros (sírvase especificar)	No Ocurre	-
2D	Uso de productos no energéticos de combustibles y de solvente	Estimada	CO2
2D1	Uso de lubricante	Estimada	CO2
2D2	Uso de la cera de parafina	No Estimada	-
2D3	Uso de solvente	No Estimada	-
2D4	Otros (sírvase especificar)	No Estimada	-
2E	Industria electrónica	No Ocurre	-
2E1	Circuito integrado o semiconductor	No Ocurre	-
2E2	Pantalla plana tipo TFT	No Ocurre	-
2E3	Productos fotovoltaicos	No Ocurre	-
2E4	Fluido de transporte y transferencia térmica	No Ocurre	-
2E5	Otros	No Ocurre	-
2F	Usos de productos como sustitutos de las sustancias que agotan la capa de ozono	Estimada	HFE, HFC, HCFC, CFC, PFC, SF6
2F1	Refrigeración y aire acondicionado	Estimada	HFE, HFC, HCFC, CFC, PFC, SF6

Código del IPCC	Nombre de la categoría	Estatus	Gases
2F1a	Refrigeración y aire acondicionado estacionario	Estimada	HFE, HFC, HCFC, CFC, PFC, SF6
2F1b	Aire acondicionado móvil	No Estimada	-
2F2	Agentes espumantes	No Estimada	-
2F3	Productos contra incendios	No Estimada	-
2F4	Aerosoles	No Estimada	-
2F5	Solventes	No Estimada	-
2F6	Otras aplicaciones (sírvase especificar)	No Estimada	-
2G	Manufactura y utilización de otros productos	No Estimada	-
2G1	Equipos eléctricos	No Ocurre	-
2G1a	Manufactura de equipos eléctricos	No Ocurre	-
2G1b	Uso de equipos eléctricos	No Estimada	-
2G1c	Eliminación de equipos eléctricos	No Estimada	-
2G2	SF6 y PFC del uso de otros productos	No Estimada	-
2G2a	Aplicaciones militares	No Estimada	-
2G2b	Aceleradores	No Estimada	-
2G2c	Otros (sírvase especificar): Aislante térmico	No Estimada	-
2G3	N2O del uso de productos	No Ocurre	-
2G3a	Aplicaciones médicas	No Ocurre	-
2G3b	Propulsor para productos presurizados y aerosoles	No Ocurre	-
2G3c	Otros (sírvase especificar)	No Ocurre	-
2G4	Otros (sírvase especificar)	No Ocurre	-
2H	Otros	No Estimada	-
2H1	Industria de la pulpa y del papel	No Estimada	-
2H2	Industria de la alimentación y la bebida	No Estimada	-
2H3	Otros	No Estimada	-
3	AGRICULTURA, SILVICULTURA Y OTROS USOS DE LA TIERRA	Estimada	CO2, CH4, N2O
3A	Ganado	Estimada	CH4 y N2O

Código del IPCC	Nombre de la categoría	Estatus	Gases
3A1	Fermentación entérica	Estimada	CH4
3A1a	Ganado	Estimada	CH4
3A1ai	Vacas lecheras	Estimada	CH4
3A1aii	Otro ganado	No Estimada	-
3A1b	Búfalos	No Estimada	-
3A1c	Ovejas	Estimada	CH4
3A1d	Cabras	Estimada	CH4
3A1e	Camellos	No Ocurre	-
3A1f	Caballos	Estimada	CH4
3A1g	Mulas y asnos	No Estimada	-
3A1h	Cerdos	Estimada	CH4
3A1j	Otros (Ave carne/huevo y Guajolotes)	Estimada	CH4
3A2	Manejo de excretas	Estimada	CH4 y N2O
3A2a	Ganado	Estimada	CH4 y N2O
3A2ai	Vacas lecheras	Estimada	CH4 y N2O
3A2aii	Otro ganado	No Estimada	-
3A2b	Búfalos	No Estimada	-
3A2c	Ovejas	Estimada	CH4 y N2O
3A2d	Cabras	Estimada	CH4 y N2O
3A2e	Camellos	No Ocurre	-
3A2f	Caballos	Estimada	-
3A2g	Mulas y asnos	No Estimada	-
3A2h	Cerdos	Estimada	CH4 y N2O
3A2i	Aves de corral	Estimada	CH4 y N2O
3A2j	Otros (sírvase especificar)	Estimada	CH4 y N2O
3B	Tierra	Estimada	CO2
3B1	Tierras forestales	Estimada	CO2
3B1a	Tierras forestales que permanecen como tales	Estimada	CO2

Código del IPCC	Nombre de la categoría	Estatus	Gases
3B1b	Tierras convertidas en tierras forestales	Estimada	C02
3B1bi	Tierras de cultivo convertidas en tierras forestales	Estimada	C02
3B1bii	Praderas convertidas en tierras forestales	Estimada	C02
3B1biii	Humedales convertidos en tierras forestales	Estimada	C02
3B1biv	Asentamientos convertidos en tierras forestales	No ocurre	-
3B1bv	Otras tierras convertidas en tierras forestales	Estimada	C02
<b>3B2</b>	<b>Tierras de cultivo</b>	<b>No Ocurre</b>	<b>-</b>
3B2a	Tierras de cultivo que permanecen como tales	Estimada	C02
3B2b	Tierras convertidas en tierras de cultivo	Estimada	C02
3B2bi	Tierras forestales convertidas en tierras de cultivo	Estimada	C02
3B2bii	Praderas convertidas en tierras de cultivo	Estimada	C02
3B2biii	Humedales convertidos en tierras de cultivo	Estimada	C02
3B2biv	Asentamientos convertidos en tierras de cultivo	No Ocurre	-
3B2bv	Otras tierras convertidas en tierras de cultivo	No Estimada	-
<b>3B3</b>	<b>Praderas</b>	<b>Estimada</b>	<b>C02</b>
3B3a	Praderas que permanecen como tales	Estimada	C02
3B3b	Tierras convertidas en praderas	Estimada	C02
3B3bi	Tierras forestales convertidas en praderas	Estimada	C02
3B3bii	Tierras de cultivo convertidas en praderas	Estimada	C02
3B3biii	Humedales convertidos en praderas	Estimada	C02
3B3biv	Asentamientos convertidos en praderas	Estimada	C02
3B3bv	Otras tierras convertidas en praderas	Estimada	C02
<b>3B4</b>	<b>Humedales</b>	<b>Estimada</b>	<b>C02</b>
3B4a	Humedales que permanecen como tales	No Estimada	-
3B4ai	Bonales que permanecen como tales	No Estimada	-
3B4aii	Tierras inundadas que permanecen como tales	No Estimada	-
3B4b	Tierras convertidas en humedales	Estimada	C02
3B4bi	Tierras convertidas para la extracción de turba	No Estimada	-

Código del IPCC	Nombre de la categoría	Estatus	Gases
3B4biii	Tierras convertidas en tierras inundadas	No Estimada	-
3B4biii	Tierras convertidas en otros humedales	Estimada	CO2
3B5	Asentamientos	Estimada	CO2
3B5a	Asentamientos que permanecen como tales	No Estimada	-
3B5b	Tierras convertidas en asentamientos	Estimada	CO2
3B5bi	Tierras forestales convertidas en asentamientos	Estimada	CO2
3B5bii	Tierras de cultivo convertidas en asentamientos	No Estimada	-
3B5biii	Praderas convertidas en asentamientos	Estimada	CO2
3B5biv	Humedales convertidos en asentamientos	No ocurre	-
3B5bv	Otras tierras convertidas en asentamientos	No ocurre	-
3B6	Otras tierras	Estimada	CO2
3B6a	Otra tierra que permanece como tal	No Estimada	-
3B6b	Tierras convertidas en otras tierras	Estimada	CO2
3B6bi	Tierras forestales convertidas en otras tierras	Estimada	CO2
3B6bii	Tierras de cultivo convertidas en otras tierras	No Estimada	-
3B6biii	Pastizales convertidos en otras tierras	Estimada	CO2
3B6biv	Humedales convertidos en otras tierras	No Ocurre	-
3B6bv	Asentamientos convertidos en otras tierras	No Ocurre	-
3C	Fuentes agregadas y fuentes de emisión no CO2 en la tierra	Estimada	CH4 y N2O
3C1	Emisiones de la quema de biomasa	Estimada	CH4 y N2O
3C1a	Quemado de biomasa en tierras forestales	Estimada	CH4 y N2O
3C1b	Quemado de biomasa en tierras de cultivo	Estimada	CH4 y N2O
3C1c	Quemado de biomasa en pastizales	Estimada	CH4 y N2O
3C1d	Quemado de biomasa en todas las otras tierras	No Estimada	-
3C2	Encalado	No ocurre	-
3C3	Aplicación de urea	Estimada	CO2
3C4	Emisiones directas de N2O de los suelos gestionados	Estimada	N2O

Código del IPCC	Nombre de la categoría	Estatus	Gases
3C5	Emisiones indirectas de N2O de los suelos gestionados	Estimada	N2O
3C6	Emisiones indirectas de N2O resultantes de la gestión del estiércol	Estimada	N2O
3C7	Cultivo del arroz	No ocurre	-
3C8	Otros (sírvase especificar)	No Ocurre	-
3D	Otros	Estimada	CO2
3D1	Productos de madera recolectada	Estimada	CO2
3D2	Otros (sírvase especificar)	No Ocurre	-
4	DESECHOS	Estimada	CH4, CO2, N2O
4A	Eliminación de desechos sólidos	Estimada	CH4
4A1	Sitios de eliminación de desechos gestionados	Estimada	CH4
4A2	Sitios de eliminación de desechos no gestionados	Estimada	CH4
4A3	Sitios de eliminación de desechos no categorizados	Estimada	CH4
4B	Tratamiento biológico de los desechos sólidos	No Estimada	
4C	Incineración y quema abierta de desechos	Estimada	CO2, CH4 , N2O
4C1	Incineración de desechos	No Estimada	
4C2	Quema abierta de desechos	Estimada	CO2, CH4, N2O
4D	Tratamiento y eliminación de aguas residuales	Estimada	CH4, N2O
4D1	Tratamiento y eliminación de aguas residuales domésticas	Estimada	CH4, N2O
4D2	Tratamiento y eliminación de aguas residuales industriales	Estimada	CH4, N2O
4E	Otros (sírvase especificar)	No Estimada	-
5	OTROS	No Ocurre	-
5A	Emisiones indirectas de N2O de la deposición atmosférica de nitrógeno en NOx y NH3	No Ocurre	-
5B	Otros (sírvase especificar)	No Ocurre	-
Elementos recordatorios			
	Aviación internacional	Estimada	CO2, CH4, N2O

Fuente: Elaboración propia.

## Anexo IV: Compuestos, unidades, siglas y acrónimos

Tabla 66. Compuestos

Compuesto	Descripción
C	Carbono
CFC	Clorofluorocarbonos
CH <sub>4</sub>	Metano
CO	Monóxido de carbono
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
COVDM	Compuestos orgánicos volátiles diferentes del metano
HFC	Hidrofluorocarbonos
N <sub>2</sub> O	Óxido nitroso
NO <sub>x</sub>	Óxidos de nitrógeno
PCF	Perfluorocarbonos
SF <sub>6</sub>	Hexafluoruro de azufre

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 67. Unidades

Símbolo o abreviatura	Significado
bpe	Barriles de petróleo equivalente
°C	Grado centígrado
G	Gramo
Gg	Gigagramo = 10 <sup>9</sup> gramos
h	Hora
ha	Hectárea
hab.	Habitante
J	Joule
kg	Kilogramo

Símbolo o abreviatura	Significado
km	Kilómetro
km <sup>2</sup>	Kilómetro cuadrado
l	Litro
m	Metro
m <sup>2</sup>	Metro cuadrado
m <sup>3</sup>	Metro cúbico
m <sup>3</sup> /s	Metro cúbico por segundo
mb	Miles de barriles
mbp	Miles de barriles de petróleo
mbpce	Miles de barriles de petróleo crudo equivalente
mmbpce	Millones de barriles de petróleo crudo equivalente
mmmpc	Miles de millones de pies cúbicos
PJ	Petajoule = 10 <sup>15</sup> joules
PM <sub>2.5</sub>	Material Particulado de 2.5 micrómetros o menos
TJ	Terajoule = 10 <sup>12</sup> joules
ton, t	Tonelada (1,000 ton = 1Gg)
W	Watt
Wh	Watt hora

Fuente: Elaboración propia.

## **Acrónimos**

ASA	Aeropuertos y Servicios Auxiliares
ASOUT	Agricultura, Silvicultura y Otros Usos de la Tierra
AEA	Agencia Europea de Medio Ambiente
ARD	Aguas Residuales Domésticas
ARI	Aguas Residuales Industriales
CAED	Comisión del Agua del Estado de Yucatán
CAMIMEX	Cámara Minera de México
CENEGAS	Centro Nacional de Control de Gas
CFC	Clorofluorocarbonos
CH <sub>4</sub>	Metano
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
COA	Cedula de Operación Anual
CN	Carbono negro
CDA	Cédulas de Desempeño Ambiental
CONAFOR	Comisión Nacional Forestal
CONAGUA	Comisión Nacional del Agua
CONAPO	Consejo Nacional de Población
CRE	Comisión Reguladora de Energía
DGAC	Dirección General de Aeronáutica Civil
DBO	Demanda Bioquímica de Oxígeno
DQO	Demanda Química de Oxígeno
EEA	Agencia Europea de Medio Ambiente
EMEP	Programa Europeo de Monitoreo y Evaluación

FE	Factor de Emisión
Gg	Gigagramo
GEI	Gases de Efecto Invernadero
GIZ	Sociedad Alemana para la Cooperación Internacional
Gg	Gigagramo
HCFC	Hidroclorofluorocarbonos
HFC	Hidrofluorocarbonos
IEGYCEI	Inventario de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero
IEEGYCEI	Inventario Estatal de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero
INEGYCEI Invernadero	Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero
IMP	Instituto Mexicano del Petróleo
IMSS	Instituto Mexicano del Seguro Social
INECC	Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático
INEGI	Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática
INIFAP	Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias
IPCC	Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático
Kg	Kilogramo
l	Litro
MM	Millones
N	Nitrógeno
N <sub>2</sub>	Dinitrógeno
N <sub>2</sub> O	Óxido nitroso
NH <sub>3</sub>	Amoniaco
NH <sub>4</sub>	Amonio

NO <sub>x</sub>	Óxido de nitrógeno
NO <sub>3</sub>	Nitrato
PCN	Poder calorífico neto
PEME	Programa Europeo de Monitoreo y Evaluación
PIUP	Procesos Industriales y Uso de Productos
PM <sub>2.5</sub>	Material Particulado de 2.5 micrómetros o menos
PTAR	Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales domésticas
PTARI	Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Industriales
SADER	Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural
SAF	Secretaría de Administración y Finanzas
SCT	Secretaría de Comunicaciones y Transporte
SDS	Secretaría de Desarrollo Sustentable del Estado de Yucatán
SDF	Sitios de Disposición Final
SEDECO	Servicio para el Desarrollo y la Construcción
SEDENA	Secretaría de la Defensa Nacional
SEDUMA	Secretaría de Desarrollo Urbano y Medio Ambiente
SEFOET	Secretaría de Fomento Económico y Trabajo
SEGOB	Secretaría de Gobernación
SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
SENER	Secretaría de Energía
SGM	Servicio Geológico Mexicano
SIAP	Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera
SIE	Sistema de información Energética
SMN	Servicio Meteorológico Nacional

SRNMA	Secretaría de Recursos Naturales y Medio Ambiente del Estado de Yucatán
TMCA	Tasa Media de Crecimiento Anual
TEUS	Unidad de medida, equivalente a 20 pies
TJ	Terajoule
USCUSS	Uso de Suelo, Cambio de Uso de Suelo y Silvicultura

## Referencias y literatura citada

Aldana A. D., Enríquez D. M., Elías V. Cooperación en el Caribe ante el sargazo (2020). *Ciencia. México ante el sargazo*, 71(4), 62-71. Disponible en: [https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/71\\_4/PDF/71-4\\_SARGAZO\\_RED.pdf](https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/71_4/PDF/71-4_SARGAZO_RED.pdf)

Andreae, M.O. & Merlet P. (2001). Emissions of trace gases and aerosols from biomass burning Global. *Biogeochemical Cycles*, 15(4), 955-966. [En línea] Disponible en: [Emission of trace gases and aerosols from biomass burning - Andreae - 2001 - Global Biogeochemical Cycles - Wiley Online Library](#)

ANIQ (2019). *Concentración de las Empresas de la Industria Química*. [En línea] Disponible en: <https://aniq.org.mx/anuario/2019/Capitulo2/concentracionEmpresas.html>

Bracho, R. et al. (2021). Evaluación energética de la península de Yucatán: Vías para un sistema energético limpio y sustentable. Golden, CO: Laboratorio Nacional de Energía Renovable. NREL/TP-7A40-81142. [En línea] Recuperado de: <https://www.nrel.gov/docs/fy21osti/81142.pdf> [Último acceso: Junio 2023].

BSM (2023). *Responsabilidad ambiental*. [En línea] Recuperado de: [https://www.bsm.com.mx/resp\\_ambiental.html](https://www.bsm.com.mx/resp_ambiental.html)

Burgos, I.D. & Castro, A. (2010) Degradación anaerobia de los desechos sólidos de un rastro municipal del Estado de México. Universidad Nacional Autónoma de México.

CEMEX (2023). *Canteras de Agregados*. [En línea] Disponible en: <https://www.cemexmexico.com/productos/agregados/plantas-y-oficinas>

CENACE. Demanda del Sistema Eléctrico Nacional [En línea] Recuperado de: [Demanda Regional\(cenace.gob.mx\)](#)

CENAGAS (2021). Cuarto de datos. Inyecciones y extracciones históricas. s.l.: s.n.

CMM (2015). Hacia una Estrategia Nacional de Eficiencia Energética para las Edificaciones de Hoteles y Restaurantes. [En línea] Recuperado de: <https://www.gob.mx/sectur/acciones-y-programas/ordenamiento-turistico-sustentable>

CONAFOR (2017). Iniciativa de Reducción de Emisiones (IRE) de México. Comisión Nacional Forestal. México. Recuperado de: <https://www.gob.mx/conafor/documentos/iniciativa-de-reduccion-de-emisiones>

CONAFOR (2020a) Informes de históricos de Incendios Forestales 1995 al 2015. Disponible en: [Incendios Forestales | Comisión Nacional Forestal | Gobierno | gob.mx \(www.gob.mx\)](#)

CONAFOR (2020b) Informes de históricos de Incendios Forestales 2019 al 2023. Disponible en: [Reporte semanal de incendios 2023 | Comisión Nacional Forestal | Gobierno | gob.mx \(www.gob.mx\)](#)

CONAPO (2023). Proyecciones de la Población de México y de las Entidades Federativas, 2016-2050 Recuperado de: [Datos Abiertos de México - Proyecciones de la Población de México y de las Entidades Federativas, 2016-2050](#)

CONAFOR (2020). Conjunto de datos espaciales de localización de los cambios de cobertura del suelo de los periodos 2000-2003, 2003-2011, 2011-2014, y 2014-2016 para el Estado de Yucatán.

CONAFOR (2023). Conjunto de datos espaciales de localización de los cambios de cobertura del suelo para el periodo 2016-2020 del Estado de Yucatán.

CONAGUA (2019) Reporte del Clima en México. Reporte anual

CONUEE/ CRE/ GTZ (2009). *Estudio sobre Cogeneración en el Sector Industrial en México*, México, D.F.: CONUEE/ CRE/ GTZ.

CRE (2023). *Centrales eléctricas de Generación Distribuida*. [En línea] Recuperado de: <https://datos.gob.mx/busca/dataset/centrales-electricas-de-generacion-distribuida>

EIA (2015). 2012 Commercial Buildings Energy Consumption Survey (CBECS). [En línea] Recuperado de: <https://www.eia.gov/consumption/commercial/data/2012/index.php?view=characteristics>

FAO (2002) Captura de carbono en los suelos para mejorar manejo de la tierra. Informe sobre recursos mundiales de suelo No. 96. Recuperado de: [Captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de la tierra - Google Libros](#)

FAOSTAT 2023. Indicadores específicos de México. Recuperado de: [FAOSTAT](#)

GIZ (2014). *Consumption & emission inventory of fluorinated greenhouse gases (CFC, HCFC and HFC) in Mexico*, Eschborn: Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH.

Gobierno de la República (2015). Compromisos de mitigación y adaptación ante el cambio climático para el periodo 2020-2030. [En línea] Recuperado de: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/162974/2015\\_indc\\_esp.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/162974/2015_indc_esp.pdf)

Gobierno de México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. e Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (2023). México: Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero, 1990-2019. Publicado por: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), e Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). Primera edición: 2023. Recuperado de: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/737226/156\\_2023\\_INEGYCEI\\_1990-2019\\_NIR.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/737226/156_2023_INEGYCEI_1990-2019_NIR.pdf)

Gray, Bisonó, Rojas, Veroneau y Slocum (2021). Caribbean-Wide, Negative Emissions Solution to Sargassum spp. Low-Cost Collection Device and Sustainable Disposal Method, *Phycology*, (1)4, 49-75 Recuperado de: <https://www.mdpi.com/2673-9410/1/1/4>

Huerta, A., & Olea R. (2011) Instrumentos de la política ambiental de importancia para la porcicultura mexicana. Factibilidad y alternativas relevantes para su cumplimiento en el marco de las estrategias en materia de cambio climático, Universidad Nacional Autónoma de México.

IFADATA (2023). International Fertilizer Industry Association [Database] Disponible en: [IFADATA\(fertilizer.org\)](https://www.ifadata.org/)

INECC (2018a). Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero 1990-2015. Anexos, Ciudad de México: Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático.

INECC (2020). Mapa de ruta tecnológica y potencial de mitigación del almacenamiento de energía a escala de servicios en México. Apéndice. 4. Potencial de tecnologías de almacenamiento de energía en México. Apéndice 4.1, Peninsular. [En línea] Recuperado de: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/590037/18\\_D4\\_Apendice\\_4.1\\_Estudio\\_de\\_Caso\\_Peninsular\\_ESPANOL\\_CGMCC.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/590037/18_D4_Apendice_4.1_Estudio_de_Caso_Peninsular_ESPANOL_CGMCC.pdf) [Último acceso: Mayo 2023].

INECC-IMP (2014). *Factores de emisión para los diferentes tipos de combustibles fósiles y alternativos que se consumen en México*, Ciudad de México: Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. Disponible en: [Factores de emisión para los diferentes tipos de combustible fósiles que se consumen en México | Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático | Gobierno | gob.mx \(www.gob.mx\)](https://www.gob.mx/gobierno/documentos/factores-de-emision-para-los-diferentes-tipos-de-combustibles-fosiles-y-alternativos-que-se-consumen-en-mexico)

INECC-SEMARNAT (2018). Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero 1990-2015 Instituto Nacional de Ecología Cambio Climático

INECC-SEMARNAT (2023). Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero 1990-2019 Instituto Nacional de Ecología Cambio Climático

INEGI (2011). Censo de Población y Vivienda 2010. México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía.

INEGI (2012). Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Delegacionales 2011. México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía.

INEGI (2014). La industria química en México 2013. Serie estadísticas sectoriales. [En línea] Recuperado de: [https://www.inegi.org.mx/contenido/productos/prod\\_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/integracion/sociodemografico/Quimica/2013/702825060503.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenido/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/integracion/sociodemografico/Quimica/2013/702825060503.pdf) [Último acceso: Mayo 2023].

INEGI (2015). Encuesta Intercensal 2015. México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía.

INEGI (2019). *Encuesta Nacional sobre Consumo de Energéticos en Viviendas Particulares (ENCEVI) 2018*. [En línea] Recuperado de: <https://www.inegi.org.mx/programas/encevi/2018/> [Último acceso: 2019].

INEGI. (2020). Censo de Población y Vivienda 2020. Recuperado el 2022, de <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/>

INEGI (2021). Censo de Población y Vivienda 2020. México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía.

INEGI (2023). *Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE)*. [En línea] Recuperado de: <https://www.inegi.org.mx/app/mapa/denue/default.aspx>

IMSS (2022). Directorio de instituciones. <https://www.segurosocial.app/site/mx/inst/salud/institucion.php>

INIFAP (2021) Agendas tecnológicas: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Recuperado de: [Agendas Tecnológicas | Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias | Gobierno | gob.mx \(www.gob.mx\)](http://Agendas_Tecnológicas_|_Instituto_Nacional_de_Investigaciones_Forestales,_Agrícolas_y_Pecuarias_|_Gobierno_|_gob.mx_(www.gob.mx))

IPCC (2006a). *Volume 1, Chapter 5: Time series consistency. In 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Japan: Institute for Global Environmental Strategies. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendía, L., Miwa K., Ngara T., and Tanabe K.

IPCC (2006b). *Volume 2. Energy. In 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Japan: Institute for Global Environmental Strategies. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendía, L., Miwa K., Ngara T., and Tanabe K.

IPCC (2006c). *Volume 3. Industrial Processes and Product Use. In 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Japan: Institute for Global Environmental Strategies. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendía, L., Miwa K., Ngara T., and Tanabe K.

IPCC (2006d). *Volume 4. Agriculture, Forestry and Other Land Use. In 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Japan: Institute for Global Environmental Strategies. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendía, L., Miwa K., Ngara T., and Tanabe K.

IPCC (2006e). *Volume 5. Waste. In 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Japan: Institute for Global Environmental Strategies. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendía, L., Miwa K., Ngara T., and Tanabe K.

IPCC (2019). *2019 Refinement to the 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. [En línea]. IPCC, Switzerland. Calvo Buendía, E., Tanabe, K., Kranjc, A., Baasansuren, J., Fukuda, M., Ngarize, S., Osako, A., Pyrozhenko, Y., Shermanau, P. and Federici, S. (eds). Recuperado de: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/index.html> [Último acceso: Mayo 2023].

Kerdan, I., Morillón, D., Raslan, R. & Ruyssevelt, P. (2015). Modeling the energy and exergy utilization of the Mexican non-domestic sector: A study by climatic regions. *Energy Policy*, Issue 77, pp. 191-206.

Masera, O. (2010). *Estudio sobre la evolución nacional del consumo de leña y carbón vegetal en México 1990-2024. Tercer informe: estimación de los consumos nacionales de leña y carbón*

vegetal para el periodo 2009-2024 (incluyendo la metodología de cálculo), México: Universidad Nacional Autónoma de México. Centro de Investigaciones en Ecosistemas.

Ordoñez, B. & Hernández, T. (2006) Obtención de factores de emisión nacionales en el sector agrícola para disminuir incertidumbre en el Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero.

SE (2023). *Data México*. [En línea] México: Secretaría de Economía. Recuperado de: <https://datamexico.org/> [Último acceso: Mayo 2023].

SECTUR (2022). Compendio Estadístico 2022 de la Actividad Hotelera. Información del Sistema de Monitoreo DataTur. Actividad Hotelera en México por Entidad Federativa. <https://www.datatur.sectur.gob.mx/SitePages/ActividadHotelera.aspx>

SEMARNAT (2014). Norma Oficial Mexicana NOM-165-SEMARNAT-2013, Que establece la lista de sustancias sujetas a reporte para el registro de emisiones y transferencia de contaminantes. *DOF*, 24 Enero. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

SEMARNAT (2015). Compromisos de mitigación y adaptación ante el cambio climático para el periodo 2020-2030. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Recuperado de: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/162974/2015\\_indc\\_esp.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/162974/2015_indc_esp.pdf)

SEMARNAT (2020). Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos 2020. [En línea]. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Recuperado de: <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/554385/DBGIR-15-mayo-2020.pdf>

SEMARNAT (2023). *Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (RETC)*. [En línea] México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Recuperado de: <http://sinat.semarnat.gob.mx/retc/index.html>

SEMARNAT/UPM (2020a). *A Sustainable and climate-friendly Phase out of Ozone Depleting Substances (SPODS)*. Recuperado de: [Factsheet-EU-ELDZ-SPODS-Engl.indd\(giz.de\)](Factsheet-EU-ELDZ-SPODS-Engl.indd(giz.de))

SENER/GIZ (2013). *Diseño de un benchmarking energético. Sector hotelero PyME y acompañamiento en su implementación en destinos turísticos mexicanos*, Ciudad de México: Secretaría de Energía, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Agencia de la GIZ en México.

SENER (2018a). Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional (PRODESEN) 2018-2032, México: Secretaría de Energía.

SENER (2018b). Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional. Base de datos de generación para PIIRCE. [En línea]. México: Secretaría de Energía. Recuperado de: <https://www.gob.mx/sener/acciones-y-programas/programa-de-desarrollo-del-sistema-electrico-nacional-33462> [Último acceso: Junio 2023].

SENER(2023). *SIE*. [En línea] Recuperado de: <https://sie.energia.gob.mx/>

SGM (2009). *Anuario Estadístico de la Minería Mexicana 2008*. [En línea] Recuperado de: [http://www.sgm.gob.mx/productos/pdf/Anuario\\_2008.pdf](http://www.sgm.gob.mx/productos/pdf/Anuario_2008.pdf)

SGM (2013). *Anuario Estadístico de la Minería Mexicana 2012*. [En línea] Recuperado de: [http://www.sgm.gob.mx/productos/pdf/O\\_Anuario\\_2012\\_Edicion%202013.pdf](http://www.sgm.gob.mx/productos/pdf/O_Anuario_2012_Edicion%202013.pdf) [Último acceso: Mayo 2023].

SGM (2017). *Anuario Estadístico de la Minería Mexicana, 2016*. [En línea] Recuperado de: [http://www.sgm.gob.mx/productos/pdf/Anuario\\_2016\\_Edicion\\_2017.pdf](http://www.sgm.gob.mx/productos/pdf/Anuario_2016_Edicion_2017.pdf) [Último acceso: Mayo 2023].

SGM (2021). *Anuario Estadísticos de la Minería Mexicana 2020*. [En línea] Recuperado de: [https://www.sgm.gob.mx/productos/pdf/Anuario\\_2020\\_Edicion\\_2021.pdf](https://www.sgm.gob.mx/productos/pdf/Anuario_2020_Edicion_2021.pdf) [Último acceso: Mayo 2023].

SMN(2023). Temperaturas promedio estatales. Disponible en: [Temperatura\(conagua.gob.mx\)](http://Temperatura(conagua.gob.mx))

UNEP (2011). *2010 Report of the Refrigeration, Air Conditioning and Heat Pumps Technical Options Committee*, Nairobi: The United Nations Environment Programme (UNEP).

UNEP (2019). *2018 Report of the Refrigeration, Air Conditioning and Heat Pumps Technical Options Committee*, Nairobi: The United Nations Environment Programme (UNEP).

WRI-WBCSD (2003). GHG Protocol guidance on uncertainty assessment in GHG inventories and calculating statistical parameter uncertainty. [En línea] Recuperado de: <https://ghgprotocol.org/calculation-tools>



Juntos transformemos  
**Yucatán**  
GOBIERNO DEL ESTADO

**SDS**  
SECRETARÍA DE  
DESARROLLO  
SUSTENTABLE