PERIÓDICO OFICIAL

DEL ESTADO DE QUINTANA ROO

LAS LEYES Y DEMÁS DISPOSICIONES OBLIGAN POR EL SOLO HECHO DE PUBLICARSE EN ESTE PERIÓDICO

Chetumal, Q. Roo a 30 de septiembre de 2026

Tomo III | **Número 18 ordinario** | **Décima Época**

REGISTRADO COMO ARTÍCULO DE SEGUNDA CLASE EN LA OFICINA LOCAL DE CORREOS

EDICION DEL ESTADO LIBRE Y SOBERANO DE QUINTANA ROO

Í N D I C E

MUNICIPIO DE ISLA MUJERES. ACUERDO MEDIANTE EL CUAL SE SOMETE A LA CONSIDERACIÓN DE LAS Y LOS INTEGRANTES DEL HONORABLE AYUNTAMIENTO DE ISLA MUJERES, QUINTANA ROO, LA RATIFICACIÓN DEL CONVENIO DE COLABORACIÓN PARA LA EJECUCIÓN DE LA OBRA PÚBLICA DEL PROYECTO DENOMINADO “FORTALECIMIENTO DEL SISTEMA MUNICIPAL DIF ISLA MUJERES, EN MATERIA DE SUS ACCIONES DE INTERVENCIÓN RELATIVAS A LA NIÑEZ Y ADOLESCENCIA, INCLUIDAS LAS QUE SE ENCUENTRAN EN CONTEXTO DE MIGRACIÓN Y A LA POBLACIÓN SUJETA DE ASISTENCIA SOCIAL EN EL CENTRO DE ASISTENCIA SOCIAL, 2026.----------PÁGINA.-2

MUNICIPIO DE BACALAR. REGLAMENTO INTERIOR DE LA DIRECCIÓN GENERAL DE SEGURIDAD CIUDADANA Y TRANSITO DEL HONORABLE AYUNTAMIENTO DEL MUNICIPIO DE BACALAR, QUINTANA ROO.----------PÁGINA.-7

MUNICIPIO DE JOSÉ MARÍA MORELOS. ACTUALIZACIÓN DEL PLAN MUNICIPAL DE DESARROLLO DE JOSÉ MARÍA MORELOS QUINTANA ROO 2024-2027.----------PÁGINA.-67

MUNICIPIO DE ISLA MUJERES. ACUERDO MEDIANTE EL CUAL, EL HONORABLE AYUNTAMIENTO DE ISLA MUJERES, QUINTANA ROO, APRUEBA LA ACTUALIZACIÓN DEL PLAN MUNICIPAL DE DESARROLLO 2024-2027, FORMULADO POR EL COMITÉ DE PLANEACIÓN PARA EL DESARROLLO DEL MUNICIPIO DE ISLA MUJERES, QUINTANA ROO, EN SU TERCERA SESIÓN EXTRAORDINARIA. APROBADA EN LA QUINCUAGÉSIMA PRIMERA SESIÓN ORDINARIA DE CABILDO. CELEBRADA EL 24 DE SEPTIEMBRE DE 2026.----------PÁGINA.-178

SECRETARIA DE DESARROLLO AGROPECUARIO, RURAL Y PESCA. PRIMER ACUERDO QUE MODIFICA LAS REGLAS DE OPERACION DEL PROGRAMA FOMENTO AGRICOLA PUBLICADO EN EL PERIODICO OFICIAL DEL ESTADO DE QUINTANA ROO, EN FECHA VEINTISIETE DE FEBRERO DEL ANO DOS MIL VEINTISEIS.----------PÁGINA.-411

ACTA DE LA SEGUNDA SESIÓN ORDINARIA DE TRABAJO DEL CONSEJO DE ARMONIZACIÓN CONTABLE DEL ESTADO DE QUINTANA ROO (NÚMERO DE ACTA 002/CONACEQROO/2026) .----------PÁGINA.-420

SECRETARÍA DE ECOLOGIA Y MEDIO AMBIENTE. INVENTARIO ESTATAL DE EMISIONES DE GASES Y COMPUESTOS DE EFECTO INVERNADERO DE QUINTANA ROO 2010–2023.----------PÁGINA.-449

SECRETARÍA DE ECOLOGIA Y MEDIO AMBIENTE. PROGRAMA ESTATAL DE ACCIÓN ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO DEL ESTADO DE QUINTANA ROO PARA EL PERIODO 2025–2035.----------PÁGINA.-635


2022|2027
centro
mario
molina
INVENTARIO ESTATAL DE EMISIONES
DE GASES Y COMPUESTOS DE EFECTO
INVERNADERO DE QUINTANA ROO
2010 - 2023

Inventario Estatal de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero de Quintana Roo

Lic. María Elena Hermelinda Lezama Espinosa
Gobernadora Constitucional del estado de Quintana Roo

Lic. Oscar Alberto Rébora Aguilera
Secretario de Ecología y Medio Ambiente del Estado de Quintana Roo

Ing. Juan Pablo Ortega Ceballos
Subsecretario de Gestión y Políticas Ambientales

Biol. Luis Antonio Mora Tembre
Director de Cambio Climático

María Griscelda Ambris Herrera
Jefa de Departamento de Política de Cambio Climático

Ing. Johnatan Sael Arteaga Macias
Jefe de Departamento de Mitigación y Adaptación

Daniel Rejón Alamilla
Analista Profesional

Jesús Alberto Ojeda García
Analista Profesional

Colaboradores:

Biol. Miguel Ángel Suárez Sarabia
Karen Angelina Fernández Estrada
Hannia Mariamne del Ángel Coral
Ing. Armando Calderón Ruiz
Lic. Genny Yessenia Paredes Alcocer

Centro Mario Molina para Estudios Estratégicos sobre Energía y Medio Ambiente A.C.

Dr. Eduardo Bárzana
Director Ejecutivo

Ing. Carlos Mena
Asociado Honorario

Ing. Graciela Hernández Cano
Líder de Proyecto en Mitigación del Cambio Climático

Lic. Julieta Leo Lozano
Líder de Proyecto en Desarrollo Urbano

Ing. Salvador Montero Aguilar
Líder de Proyecto en Transporte

Biol. Agustín de la Rosa Segura
Especialista en Urbanismo y SIG

Mtro. Ángel Pérez Padilla
Especialista en Energía

Ing. Carolina González Martínez
Especialista en Transporte

Lic. David Alberto Díaz Mata
Especialista Jurídico

Lic. Nancy Hernández Valdez
Especialista en Geoinformática

Enero de 2026.

Rubén Darío 36, Oficina 6, Rincón del Bosque,
Polanco V sección, Miguel Hidalgo, 11580, México, CDMX.
Teléfono: (52 55) 91 29 39 29

Contenido

Resumen ejecutivo 7

i. Evolución de las emisiones por sector y por gas 9

ii. Tendencias agregadas de las emisiones y la absorción 10

iii. Carbono negro 11

I Introducción 12

I.1 Información básica sobre los inventarios de gases de efecto invernadero 12

I.2 Descripción del sistema del inventario 12

I.3 Breve descripción de las categorías clave 17

I.4 Aseguramiento y control de calidad (AC/CC) y verificación del inventario 19

I.5 Etapas de elaboración del IEEGYCEI 19

I.6 Visión general de las metodologías y fuentes de datos utilizadas 22

I.7 Evaluación general de la incertidumbre 23

I.8 Evaluación general de la exhaustividad 24

II Emisiones de GyCEI 2023 y tendencia histórica 27

II.1 Principales indicadores socioeconómicos 27

II.2 Descripción e interpretación de las tendencias agregadas de las emisiones de GEI 27

II.3 Descripción e interpretación de las emisiones por sectores 30

II.4 Descripción e interpretación de las tendencias para el carbono negro 37

III [1] Energía 39

III.1 Visión general del sector 39

III.2 [1A1] Industrias de la energía 41

III.3 [1A2] Industrias manufactureras y de la construcción 45

III.4 [1A3] Transporte 49

III.5 [1A4] Otros sectores 61

III.6 [1B1] Emisiones fugitivas de los combustibles sólidos 65

III.7 [1B2] Emisiones fugitivas del petróleo y gas natural 65

III.8 Biomasa 68

IV [2] Procesos industriales y uso de productos (PIUP) 70

IV.1 Visión general del sector 70

IV.2 [2F] Uso de productos sustitutos de las sustancias que agotan la capa de ozono 71

V [3] Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra (ASOUT) 74

V.1 Visión general del sector 74

V.2 [3A1] Fermentación entérica 75

V.3 [3A2] Manejo de excretas 78

V.4 [3B] Tierra 81
V.5 [3C1] Emisiones de GEI por quema de biomasa 102
V.6 [3C4 y 3C5] Suelos gestionados 106
V.7 [3C2, 3C3, 3C6, 3C7] Otras fuentes de emisión 110
V.8 [3D] Productos de madera recolectada 113
VI [4] Residuos 116
VI.1 Visión general del sector 116
VI.2 [4A] Sitios de eliminación de residuos 118
VI.3 [4C2] Quema abierta de residuos 123
VI.4 [4D] Tratamiento y eliminación de aguas residuales domésticas y aguas residuales industriales 125
VII Emisiones de Carbono Negro (CN) 131
VII.1 [1A1] Industrias de la energía 131
VII.2 [1A2] Industrias de la manufactura y la construcción 133
VII.3 [1A3] Transporte 134
VII.4 [1A4] Otros sectores (comercial, residencial y agricultura) 136
VII.5 [3C1] Quema de biomasa 137
VII.6 [4C2] Quema abierta de residuos 140
VIII Anexos 141
Anexo I: Categorías clave 141
Anexo II: Evaluación de la incertidumbre 144
Anexo III Fuentes estimadas y no estimadas 147
Anexo IV: Compuestos, unidades y acrónimos 154
IX Referencias 157

Índice de figuras

Figura 0.1 Inventario de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero del estado de Quintana Roo, 2023 8
Figura 0.2 Emisiones de GEI en el estado de Quintana Roo por sector, 2010-2023 10
Figura 0.3 Evolución de la población residente y flotante en Quintana Roo, 2010-2023 11
Figura I.1 Diagrama de proceso para la actualización del IEEGYCEI de Quintana Roo 20
Figura I.2 Actores clave en la elaboración del IEEGyCEI de Quintana Roo 22
Figura II.1 Tendencia de las emisiones de GEI en el estado de Quintana Roo, 2010-2023 28
Figura II.2 Emisiones de GEI del estado de Quintana Roo, 2023 33
Figura II.3 Emisiones de Carbono Negro del estado de Quintana Roo, 2023 37
Figura II.4 Tendencia de las emisiones de CN del estado de Quintana Roo, 2010-2023 38
Figura III.1 Evolución de las emisiones de GEI del sector [1] Energía por categoría ($GgCO_2e$), 2010-2023 40
Figura III.2 Emisiones de GEI del Sector [1] Energía ($GgCO_2e$) por subcategoría, 2023 41
Figura III.3 Emisiones de la categoría [1A1] por tipo de combustible (Gg CO_2e) 42
Figura III.4 Incertidumbres de la categoría [1A1] (Gg CO_2e) 44

Figura III.5 Emisiones de la categoría [1A2] por principales categorías ($GgCO_2e$) 46
Figura III.6 Emisiones de la categoría [1A2] por combustible ($GgCO_2e$) 47
Figura III.7 Consumo energético de la categoría [1A2] por combustible (PJ) 47
Figura III.8 Incertidumbres de la categoría [1A2] 48
Figura III.9 Emisiones del sector transporte [1A3] (GgCO2e) 50
Figura III.10 Ejemplo de Información de entrada en el modelo MOVES-México 53
Figura III.11 Consumo de combustibles del sector transporte [1A3] (PJ) 53
Figura III.12 Emisiones de búnkeres internacionales 60
Figura III.13 Consumo de combustibles en la aviación internacional [1A3ai] 61
Figura III.14 Emisiones de la categoría [1A4] por subcategorías ($GgCO_2e$) 62
Figura III.15 Emisiones de la categoría [1A4] por combustibles ($GgCO_2e$) 63
Figura III.16 Consumo energético de la categoría [1A4] por combustibles (PJ) 63
Figura III.17 Incertidumbres de la categoría [1A4] 64
Figura III.18 Emisiones de la subcategoría [1B2a] por tipo de emisión ($GgCO_2e$) 66
Figura III.19 Incertidumbres de la categoría [1B2] 67
Figura IV.1 Evolución de las emisiones de GEI del sector [2] PIUP, 2010-2023 70
Figura IV.2 Evolución de las emisiones por el uso de productos en equipos de refrigeración y aire acondicionado ($GgCO_2e$), 2010-2023 71
Figura V.1 Emisiones del sector [3] ASOUT ($GgCO_2e$), 2023 74
Figura V.2 Evolución de las emisiones para [3A] Ganado y [3C] Agricultura ($GgCO_2e$), 2010-2023 75
Figura V.3 Emisiones de CH_4 de la fermentación entérica [3A1] ($GgCO_2e$) 76
Figura V.4 Emisiones de gestión de estiércoles [3A2] ($GgCO_2e$) 79
Figura V.5 Evolución de las emisiones de CO_2e del subsector [3B] Tierra para Quintana Roo, 2003-2023 83
Figura V.6 Evolución de las emisiones de CO_2e del subsector [3B] Tierra sin [3B1] Tierras forestales, 2000-2023 83
Figura V.7 Evolución de las superficies en cambio de uso de suelo y vegetación, 2000-2023 92
Figura V.8 Absorciones de [3B1] Tierras forestales ($GgCO_2e$), 2000-2023 93
Figura V.9 Subcategoría, fuente (transiciones) y reservorios de [3B1] Tierras forestales 94
Figura V.10 Emisiones y absorciones [3B2] Tierras de cultivo ($GgCO_2e$), 2000-2023 96
Figura V.11 Emisiones y absorciones [3B3] Praderas ($GgCO_2e$), 2000-2023 96
Figura V.12 Subcategorías, fuente (transiciones) y reservorios de [3B2] Tierras de cultivo y [3B3] Praderas 97
Figura V.13 Emisiones y absorciones de [3B4] Humedales, [3B5] Asentamientos y [3B6] Otras tierras ($GgCO_2$ yo 2000-2023 99
Figura V.14 Subcategorías, fuente (transiciones) y reservorios de [3B4] Humedales, [3B5] Asentamientos y [3B6] Otras tierras 100
Figura V.15 Emisiones de quema de biomasa [3C1] ($GgCO_2e$) 103
Figura V.16 Emisiones directas e indirectas de N_2O en los suelos gestionados, [3C4] y [3C5] (Gg CO_2e) 106
Figura V.17 Emisiones directas de los N_2O de los suelos gestionados (t CO_2e) 107
Figura V.18 Emisiones indirectas de los N_2O de los suelos gestionados (t CO_2e) 107
Figura V.19 Insumos de nitrógeno a los suelos gestionados (t N) 109
Figura V.20 Emisiones de otras fuentes del sector agrícola ($GgCO_2e$) 111
Figura V.21 Emisiones/absorciones de [3D1] Productos de madera recolectada, 2010-2023 113
Figura VI.1 Emisiones del sector [4] Residuos ($GgCO_2e$), 2023 117
Figura VI.2 Evolución de las emisiones del sector [4] Residuos ($GgCO_2e$), 2010-2023 117
Figura VI.3 Emisiones de [4A] Eliminación de residuos sólidos ($GgCO_2e$), 2010-2023 118
Figura VI.4 Caracterización de SDF en el estado de Quintana Roo 120

Figura VI.5 Emisiones de [4C2] Quema abierta de residuos ($GgCO_2e$), 2010-2023 124
Figura VI.6 Emisiones de [4D] Tratamiento y eliminación de aguas residuales ($GgCO_2e$) 126
Figura VI.7 Volumen de aguas residuales domésticas e industriales tratadas y no tratadas 128
Figura VII.1 Emisiones de CN en [1A1] Industrias de la energía (GgCN), 2010-2023 131
Figura VII.2 Emisiones de CN en [1A2] en las industrias de la manufactura y la construcción (GgCN), 2010-2023 133
Figura VII.3 Emisiones de [1A3] Transporte por tipo de combustible (GgCN), 2010-2023 135
Figura VII.4 Emisiones de CN en [1A4] Otros sectores (GgCN), 2010-2023 136
Figura VII.5 Emisiones de CN en [4C2] Quema abierta de residuos (GgCN), 2010-2023 140

Índice de tablas

Tabla 0.1 Emisiones directas e indirectas de GEI del Estado de Quintana Roo, 2023 7
Tabla I.1 Estructura del IEEGYCEI 10
Tabla I.2 Categorías clave en el estado de Quintana Roo, 2023 16
Tabla I.3 Fuentes reportadas, pero no cuantificadas en el IEEGYCEI de Quintana Roo, 2023 16
Tabla I.4 Principales instituciones y fuentes de información en el estado de Quintana Roo 18
Tabla I.5 Categorías y subcategorías excluidas o incluidas en otra parte del IEEGYCEI de Quintana Roo 22
Tabla II.1 Principales indicadores económicos y demográficos del estado de Quintana Roo 25
Tabla II.2 Tendencia de las emisiones y absorciones de GEI ($GgCO_2e$) del estado de Quintana Roo, 2010-2023 26
Tabla II.3 Emisiones y contribuciones de GEI por tipo de gas, 2023 30
Tabla II.4 Emisiones y absorciones de GEI del estado de Quintana Roo por nivel, 2023 32
Tabla II.5 Emisiones de carbono negro del estado de Quintana Roo, 2023 36
Tabla III.1 Consumo energético de los principales combustibles para [1A1a] (PJ) 42
Tabla III.2 Principales factores de emisión de CO_2 de la categoría [1A1] (kg/TJ) 42
Tabla III.3 Principales factores de emisión de CO_2 empleados en la categoría [1A2] (kg/TJ) 46
Tabla III.4 Emisiones de GEI por tipo de combustible para el transporte terrestre en Quintana Roo 48
Tabla III.5 Emisiones de GEI por tipo de vehículo y combustibles en Quintana Roo 49
Tabla III.6 Emisiones de GEI de la fuente Transporte [1A3b] 50
Tabla III.7 Emisiones GEI por tipo de combustible de la fuente Transporte [1A3b] 50
Tabla III.8 Consumo de combustibles por modo de transporte (PJ) 52
Tabla III.9 Homologación de tipos de vehículos con la clasificación del MOVES 53
Tabla III.10 Flota vehicular de Quintana Roo, por tipo de vehículo y combustible, 2023 53
Tabla III.11 Promedio estatal de los kilómetros recorridos al año por tipo de vehículo 54
Tabla III.12 Distribución vehicular por tipo de camino 55
Tabla III.13 Especificaciones de los combustibles 55
Tabla III.14 Factores de emisión específicos para los combustibles empleados en el transporte (kg/TJ) 56
Tabla III.15 Factores de emisión promedio por tipo de vehículo y combustible obtenidos con MOVES México (g/km) 56
Tabla III.16 Factores de emisión específicos de México para la actividad de aviación internacional [1A3ai] 59
Tabla III.17 Factores de emisión de CO_2 empleados en la categoría [1A4] (kg/TJ) 62
Tabla III.18 Emisiones fugitivas de la categoría [1B2a] ($KgCO_2e$) 65
Tabla III.19 Factores de emisión de CO_2 empleados en la categoría [1B2] ($Gg\ CO_2/MMm^3$) 65

Tabla III.20 Emisiones por la quema de biomasa ($GgCO_2$), 2010-2023 66
Tabla V.1 Población por especie (Número de cabezas) 75
Tabla V.2 Distribución de los sistemas de manejo de estiércol por animal (%) 77
Tabla V.3 Emisiones por subcategoría de [3B] Tierra y por tipo de transición ($GgCO_2e$), 2023 79
Tabla V.4 Definiciones de las categorías de [3B] Tierra de acuerdo con el IPCC, 2006 82
Tabla V.5 Correspondencia entre las clases de las series del INEGI y las categorías del IPCC 84
Tabla V.6 Leyenda de los mapas de cambio de cobertura del suelo generados a través del sistema Satelital de Monitoreo Forestal 87
Tabla V.7 Correspondencia entre las clases de las series del INEGI y las categorías del IPCC para el Estado de Quintana Roo 89
Tabla V.8Superficies incendiadas por tipo de cultivo (ha) 103
Tabla V.9 Factores de emisión por tipo de cultivo 103
Tabla V.10 Estadísticas de producción agrícola y superficie fertilizada calculada 105
Tabla V.11 Datos de productos de madera 112
Tabla V.12 Parámetros de estimación de las variaciones del depósito de PMR 112
Tabla VI.1 Emisiones de [4A] Eliminación de residuos sólidos por subcategoría ($GgCO_2e$), 2010-2023 116
Tabla VI.2 Sargazo depositado en SDF, 2019-2023 119
Tabla VI.3 Composición de residuos (Porcentaje) 119
Tabla VI.4 Residuos de Manejo Especial depositados en el SDF del Municipio de Solidaridad 119
Tabla VI.5 Parámetros empleados en la estimación de emisiones de [4A] 120
Tabla VI.6 Valores de FCM 120
Tabla VI.7 Valores de COD y CODF empleados 120
Tabla VI.8 Valores del Índice de generación de metano (k) 120
Tabla VI.9 Datos de actividad para la estimación de emisiones en [4D] 125
Tabla VI.10 Porcentaje de DBO en lodos por tipo de tratamiento 125
Tabla VI.11 Parámetros empleados en la estimación de emisiones en [4D] 126
Tabla VI.12 MCF específicos del país considerado para cada uno de los diferentes tipos de tratamiento en Quintana Roo 127
Tabla VI.13 Parámetros de DQO de las industrias en Quintana Roo 128
Tabla VII.1 Factores de emisión de CN para la fuente de emisión [1A1a] 130
Tabla VII.2 Factores de emisión de CN para la fuente de emisión [1A2] 132
Tabla VII.3 Históricos de emisiones de CN por combustibles [1A3] Transporte (GgCN) 132
Tabla VII.4 Factores de emisión para $PM_{2.5}$ y carbono negro 133
Tabla VII.5 Factores de emisión de CN y porcentaje de relación entre carbono negro y $PM_{2.5}$ para la subcategoría [1A4] 135
Tabla VII.6 Factores de emisión de partículas $PM_{2.5}$, PM_{10} y CN para los principales cultivos en México 137
Tabla VII.7 Elementos para calcular la biomasa que se quema en cultivos 137
Tabla VIII.1 Categorías clave ordenadas por nivel en 2023 139
Tabla VIII.2 Incertidumbres por fuente 142
Tabla VIII.3 Fuentes estimadas y no estimadas en el IEEGYCEI de Quintana Roo, 2023 145

Resumen ejecutivo

El Inventario Estatal de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero de Quintana Roo (IEEGYCEI) para el periodo 2010-2023 representa un esfuerzo crucial para comprender y mitigar el impacto ambiental en la región. Este documento proporciona un análisis detallado de las fuentes de emisiones, que incluye sectores como el transporte, la industria, la agricultura y el uso de suelo.

A lo largo de los años, se ha observado una tendencia de crecimiento en las emisiones, impulsada principalmente por el aumento en la actividad turística y el desarrollo urbano. Sin embargo, la entidad mantiene su carácter de sumidero de carbono, resultado de la permanencia de áreas forestales cuya absorción de CO_2 supera en amplia proporción las emisiones producto de la actividad económica y dinámica urbana. Para mantener esta condición y lograr reducir la tendencia creciente de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), este inventario no sólo sirve como una herramienta de diagnóstico, sino que también es fundamental para la formulación de políticas públicas orientadas a la sostenibilidad y la adaptación al cambio climático.

Las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) del estado de Quintana Roo se cuantificaron en 6,268.99 Gigagramos de CO_2 equivalente ($GgCO_2e$) durante 2023, sin considerar la categoría [3B] Tierra, que registra un balance negativo de -9,754.90 $GgCO_2e$, debido a la absorción de CO_2 realizada por los sumideros de carbono de la entidad. Otra categoría que registra absorciones de CO_2 es la que cuantifica los productos maderables [3D], con un total de -56.53 $GgCO_2e$.

Si se consideran tanto las emisiones como las absorciones de 3B y 3D, las emisiones netas de la entidad se contabilizaron en -3,542.44 $GgCO_2e$, lo que le otorga un papel de sumidero de carbono en el balance neto. En la Figura 1 se presenta el balance de las emisiones y absorciones de GEI para el estado de Quintana Roo durante 2023, identificando fuentes de emisión y tipo de gas.

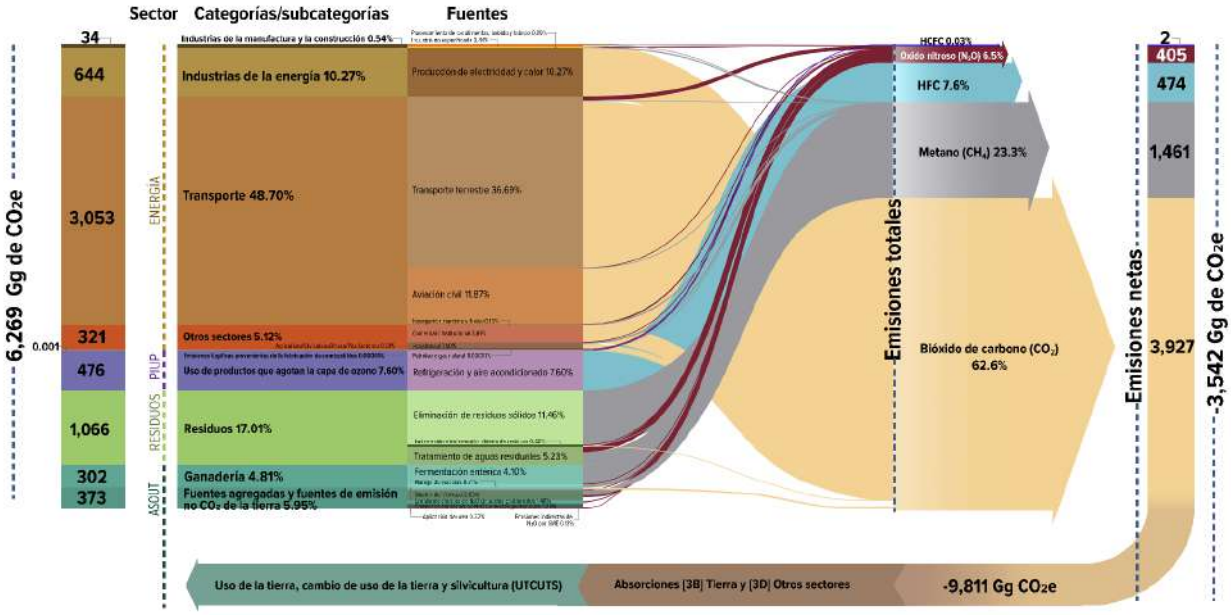
De acuerdo con la metodología del IPCC, las emisiones del sector energía contabilizan únicamente las emisiones derivadas de la quema de combustibles [1A], las emisiones fugitivas provenientes de la fabricación de combustibles [1B] y el transporte y almacenamiento de dióxido de carbono [1C]. Las emisiones por la quema de combustible incluyen aquellas generadas por la industria de la energía [1A1], como la generación de electricidad, no así las emisiones asociadas al consumo total de electricidad que realizan los distintos sectores de la economía. Esta práctica evita la doble contabilidad de emisiones entre inventarios de distintos países, estados o ciudades.

Debido a lo anterior, este Inventario de GEI de Quintana Roo no incluye las emisiones por consumo de energía eléctrica, que en una alta proporción es producida en el estado de Yucatán. Estas emisiones “indirectas” se estimaron en 2,666.28 $GgCO_2e$ en 2023. La huella de carbono total para la entidad, que incluye las emisiones de GEI del Inventario y las emisiones indirectas, asciende a 8,935.27 $GgCO_2e$ para 2023 (Tabla 1). Bajo esta lógica, las emisiones netas totales

se estiman en -876.16 $GgCO_2e$, por lo que la entidad continúa en la categoría de sumidero de carbono, pero con una reducción de la compensación de sus emisiones de un tercio.

A nivel de fuente de emisión, el transporte terrestre es la de mayor aportación con 36.69% de las emisiones totales, seguido por la aviación civil con 11.87%, en tercer lugar, la producción de electricidad y calor con 10.27%, el cuarto sitio lo ocuparon las emisiones de los sitios de disposición final gestionados con 8.30%, y en quinta posición, las emisiones de gases refrigerantes con 7.60%. El resto de las fuentes realizan contribuciones con una participación porcentual menor al 6%.

Figura 0.1 Inventario de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero del estado de Quintana Roo, 2023



Notas: La suma de los parciales puede no coincidir con los totales debido al redondeo de las cifras. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 0.1 Emisiones directas e indirectas de GEI del Estado de Quintana Roo, 2023

Categoría	Emisiones totales 2023 ($GgCO_2e$)
Inventario GEI (Metodología IPCC)	6,268.99
Emisiones indirectas por consumo de electricidad	2,666.28
Emisiones totales	**8,935.27**
Sectores 3B y 3D	-9,811.43
Emisiones netas totales	**-876.16**

Fuente: Elaboración propia.

Las emisiones per cápita de los quintanarroenses en 2023 se estimaron en 3.1 toneladas de CO_2e por habitante[1], lo que representó un incremento de 8.6% con respecto a las emisiones per cápita en 2010 (2.9 tCO_2e/hab). En contraste, las emisiones per cápita a nivel nacional se estimaron en 5.6 tCO_2e en 2023. Respecto de la contribución estatal a las emisiones nacionales de GEI, se estima que representan el 0.9% en 2023.

En el caso del carbono negro, un forzador climático de vida corta (FCVC), la emisión se contabilizó en 0.55 Gg en 2023, siendo la principal fuente de emisión la quema de combustibles en el sector transporte (72.31%) y en menor proporción la quema abierta de biomasa en tierras de cultivos (23.04%), la quema de residuos (3.96%), la generación de energía (0.42%), el uso de combustibles otros sectores (comercial/institucional, residencial y agricultura) (0.14%), y en las industrias de la manufactura y la construcción (0.13%).

i. Evolución de las emisiones por sector y por gas

El sector Energía es el principal sector emisor de GEI con 4,051.71 $GgCO_2e$ (64.63% de las emisiones), seguido por el sector Residuos con 1066.18 $GgCO_2e$ (17.01%), en tercer lugar, el sector Agricultura, Ganadería, Silvicultura y Otros Usos de la Tierra (ASOUT) con 674.64 $GgCO_2e$ (10.76%), y el sector Procesos Industriales y Uso de Productos (PIUP) es el de menor participación con 476.47 $GgCO_2e$ (7.60%).

Además, se estiman emisiones de CO_2 del sector tierra [3B] por 2,485.25 Gg y absorciones de CO_2 de -11,852.93 Gg; así como absorciones por -56.53 $GgCO_2e$ por productos de madera recolectada [3D1].

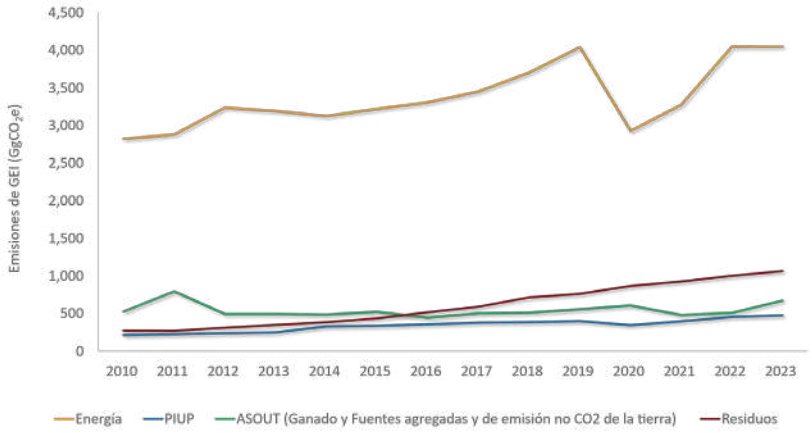
A lo largo del periodo 2010-2023, esta distribución de las emisiones por sector observa ligeras diferencias, particularmente una reducción de las emisiones de las actividades primarias (ASOUT), y un incremento de la contribución del sector Residuos. Adicionalmente, en el año 2019, se registra una disminución de emisiones en el sector Energía, asociada a la reducción de la actividad económica y al confinamiento por la emergencia sanitaria de COVID-19 (Figura 2).

El principal gas de efecto invernadero emitido es el dióxido de carbono (CO_2) con 62.64%, seguido por el metano (CH_4) con 23.30%, y los gases “F” (HFC y HCFC) con 7.60%, empleados en los

[1] Estimaciones a partir de la proyección de las emisiones del Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero 1990-2021, y de la población estimada por el Consejo Nacional de Población a mitad del año para el 2023.

sistemas de aire acondicionado y equipos refrigerantes; finalmente, el 6.46% restante corresponde al óxido nitroso (N_2O).

Figura 0.2 Emisiones de GEI en el estado de Quintana Roo por sector, 2010-2023



Fuente: Elaboración propia.

ii. Tendencias agregadas de las emisiones y la absorción

En el periodo 2010-2023 las emisiones de GEI en el estado de Quintana Roo registraron un incremento de 63.27%, al pasar de 3,839.55 $GgCO_2e$ a 6,268.99 $GgCO_2e$. Sin embargo, en 2020, se registró una reducción del 17.54% de las emisiones respecto al año previo, como consecuencia de la pandemia por COVID- 19.

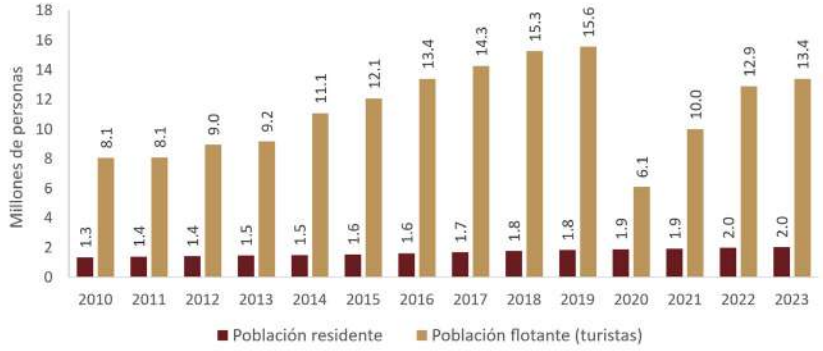
Lo anterior, se refleja en el comportamiento sectorial de las emisiones, ya que el sector Energía reporta un incremento de 43.46% entre 2010 y 2023, en el sector PIUP el crecimiento fue de 122.04%; mientras que el sector Residuos fue el de mayor incremento con 290.25%, en el mismo periodo. Por su parte, las emisiones asociadas a las actividades agrícolas se incrementaron en 102.50%, por el contrario, las emisiones de la actividad ganadera fueron las únicas que experimentaron una reducción del -12.09%.

A nivel de subcategorías de emisión, la mayor dinámica de crecimiento se registra en la [1A1] Producción de electricidad y calor como actividad principal, que experimentó una tasa media de crecimiento anual (TMCA) de 23.05%, debido al incremento en la demanda de energía, la construcción de nueva infraestructura (CTG Nizu en 2015), y al uso de combustóleo y diésel como combustibles para la operación de las centrales eléctricas.

También las subcategorías [4A1] Sitios gestionados y [4A3] Sitios no categorizados, que estiman las emisiones derivadas de los sitios de disposición final, registraron TMCA de 37.72% y 19.64% entre

2010 y 2023, respectivamente. Este comportamiento se asocia a un mayor volumen de generación de residuos debido al acelerado crecimiento de la población residente y flotante. En 2023, la población estimada de Quintana Roo fue 50.3% superior a la población de 2010 (CONAPO, 2023), en tanto que los turistas tanto nacionales como internacionales pasaron de 8.1 a 13.4 millones entre 2010 y 2023 (SECTUR, 2024). Adicionalmente, la brecha entre la población residente y flotante de 7 a 1, revela la carga en la generación de emisiones de GEI de la actividad turística.

Figura 0.3 Evolución de la población residente y flotante en Quintana Roo, 2010-2023



Fuente: Elaboración propia con datos de CONAPO (2023) y SECTUR (2024).

Por el contrario, las principales tendencias en la reducción de emisiones se registraron en las subcategorías [3A2] Manejo de excretas y [4C2] Quema abierta de residuos. La primera observó una reducción de -7.86% anual entre 2010 y 2023, en tanto que los residuos domésticos quemados a cielo abierto disminuyeron -1.49% cada año.

Con respecto a las absorciones, se observa que en el periodo de 2010 al 2023, la entidad ha reducido su capacidad de absorción en -13.00% debido a los cambios de uso de suelo; en particular, las praderas se incrementaron 13.90% cada año, los asentamientos crecieron a un ritmo de 3.37%, los cultivos en 3.45% y los cambios a otras tierras en 4.22% por año.

iii. Carbono negro

En 2023, se emitieron 0.55 Gg de CN, originados mayormente por el sector transporte y en específico por la quema de diésel automotriz, que contribuyó con el 72.31% de las emisiones.

Con relación al comportamiento tendencial de las emisiones de carbono negro, durante el periodo de 2010 al 2023 se observó un incremento del 29.01%. Sin embargo, los efectos por COVID-19 no se ven reflejados en la totalidad de las emisiones de CN debido a los incendios forestales reportados en 2019 y 2020, que contribuyeron a un incremento en las emisiones de CN por quema de biomasa.

SIN TEXTO

I Introducción

I.1 Información básica sobre los inventarios de gases de efecto invernadero

La actualización del Inventario Estatal de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero (IEEGYCEI) de Quintana Roo 2010-2023, se elaboró de acuerdo con los lineamientos vigentes de las Directrices del Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés) establecidas en 2006 (en adelante Directrices 2006), y el 2019 Refinament to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (en adelante Refinamiento 2019).

En la cuantificación se incluyen las estimaciones de las emisiones y absorciones de gases y compuestos de efecto invernadero (GYCEI) por fuentes y sumideros para los cuatro sectores de emisión definidos 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 que se informan son los incluidos en el Anexo A del Protocolo de Kyoto: dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), hidrofluorocarbonos (HFC) e hidroclorofluorocarburos (HCFC). No se identificaron emisiones de éteres halogenados (HFE), hexafluoruro de azufre (SF_6), clorofluorocarburos (CFC) y perfluorocarbonos (PFC), normalmente asociadas a la producción industrial de componentes electrónicos y otras actividades productivas no presentes en el Estado. Adicionalmente, se cuantifican las emisiones de carbono negro.

Esta actualización presenta la serie 2010-2023 y se compone de nueve capítulos estructurados de la siguiente forma y presentados en la Tabla I.1:

Tabla I.1 Estructura del IEEGYCEI

Capítulo	Contenido
I	Introducción: antecedentes generales, arreglos institucionales y el proceso de actualización del presente inventario
II	Emisiones de GEI 2023 y tendencia histórica: detalle de indicadores y tendencias de las emisiones y absorciones de GYCEI
III al VI	Información detallada y resultados de los cuatro sectores de emisión desglosados por categoría, subcategoría y fuentes de emisión
VII	Emisiones de carbono negro a nivel de fuente de emisión
VIII al IX	Anexos y referencias

I.2 Descripción del sistema del inventario

I.2.1 Disposiciones institucionales, jurídicas y de procedimiento

El Inventario Estatal de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero para el Estado de Quintana Roo guarda estrecha relación con el ejercicio de los derechos humanos a la salud y a un medio ambiente sano, prerrogativas que constituyen obligaciones de tutela para las autoridades de los tres órdenes de gobierno del Estado Mexicano.

La Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos establece en el artículo 1° 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 4° Constitucional, específicamente los párrafos cuarto y quinto, 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 encomienda al Estado Mexicano la rectoría del desarrollo nacional, pero condicionando a que éste 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 4° 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, unos 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 internacionales, 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 2° 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 2°, 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 3°, 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.

De acuerdo con el artículo 75, las autoridades competentes de las entidades federativas y los municipios proporcionarán al INECC los datos, documentos y registros relativos a información relacionada con las siguientes categorías de fuentes emisoras: a) Generación y uso de energía; b) Transporte; c) Agricultura, ganadería, bosques y otros usos de suelo; d) Residuos; e) Procesos industriales, y f) Otras fuentes, determinadas por las instancias internacionales o las autoridades competentes. En línea con esto, el artículo 8 indica que las entidades federativas elaborarán e integrarán, en colaboración con el INECC, la información de las categorías de fuentes emisoras tanto para su incorporación al Inventario Nacional de Emisiones y para integrarlo a sus inventarios estatales de emisiones.

Por otro lado, la LGCC dispone que la Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENCC) es el instrumento rector de la política nacional en el mediano y largo plazos para enfrentar los efectos del

cambio climático y transitar hacia una economía competitiva, sustentable y de bajas emisiones de carbono.

Ahora bien, en el análisis del ámbito regulatorio de carácter local, la Constitución Política del Estado de Quintana Roo (publicada en el Periódico Oficial del Estado de Quintana Roo, el 12 de enero de 1975), establece en el artículo 31 párrafo 5º que toda persona tiene derecho a gozar individual y colectivamente de un medio ambiente sano para su desarrollo y bienestar, así como el deber de conservarlo en beneficio de las generaciones presentes y futuras, aclarando que el Estado garantizará el respeto a este derecho.

En esa lógica, la Ley de Acción de Cambio Climático en el Estado de Quintana Roo (publicada en el Periódico Oficial del Estado de Quintana Roo en fecha 29 de marzo de 2012), tiene por objeto, según el artículo 1, fracciones I, II y III, garantizar el derecho humano a un medio ambiente sano mediante la formulación, conducción y evaluación de la Política Estatal en materia de cambio climático, que incluye regular las acciones para un desarrollo bajo en emisiones de gases de efecto invernadero, a fin de alcanzar y mantener la neutralidad de emisiones, promover la transición hacia una economía competitiva, sustentable y un desarrollo bajo en carbono, al tiempo de reducir la vulnerabilidad de la población y ecosistemas, aumentando la resiliencia a sus efectos adversos.

Para la instrumentación de dichos objetivos, los artículos 2, fracción XIX y 15 de la Ley de Acción de Cambio Climático en el Estado de Quintana Roo, establece que el Programa Estatal de Acción ante el Cambio Climático, en concordancia con el marco legal de planeación, contempla estrategias, políticas directrices y tácticas en tiempo y espacio, así como los instrumentos, mecanismos y acciones a realizar para la mitigación de emisiones y procesos de adaptación ante el Cambio Climático, en virtud de que la política estatal en la materia se plasma en dicho instrumento.

Para finalizar, es importante mencionar que el Reglamento de la Ley de Acción de Cambio Climático en el Estado de Quintana Roo (publicado en el Periódico Oficial del Estado de Quintana Roo de fecha 23 de agosto de 2022), establece en el artículo 32 que el Programa deberá describir, entre otros aspectos, la información que establezca la línea base a partir de la cual se evaluarán los resultados de las medidas y acciones de éste. En este sentido, el artículo 41, inciso i), señala que la propuesta de Programa Estatal de Acción ante el Cambio Climático deberá contener el Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (IEGEI).

I.2.2 Arreglo institucional

El objetivo de este apartado es indicar el marco de facultades y atribuciones para el Estado de Quintana Roo relativas a la elaboración y expedición del Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero, como parte de la política pública en materia de cambio climático, esto con el fin de contar con un panorama del arreglo institucional vigente a nivel local.

A lo anterior, la Constitución Política Estatal establece en los artículos 9° y 10° que el Estado organizará un sistema de planeación democrática en lo político, social y cultural, para el desarrollo estatal integral y sustentable, haciendo énfasis en la necesidad de impulsar el desarrollo económico en equilibrio con el medio ambiente.

Por su parte, el artículo 31 de la Constitución Política local señala que es una obligación fundamental del Estado, con la activa participación de la sociedad, garantizar que la población se desenvuelva en un ambiente sano. El Estado y los Municipios dictarán, en el ámbito de sus respectivas competencias, las medidas que deberán llevar a cabo las autoridades para garantizar su protección, preservación, restauración y mejoramiento.

En ese sentido, para un mejor entendimiento de las atribuciones locales respecto de la elaboración y expedición de un inventario estatal de gases de efecto invernadero, es necesario revisar el marco concurrente aplicable en materia de equilibrio ecológico y protección al ambiente relacionados con la materia de cambio climático.

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 con 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 Estatal del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente del Estado de Quintana Roo (publicada en el Periódico Oficial del Estado de Quintana Roo, el 29 de junio de 2001), según el artículo 5° fracción XX, corresponden al Estado, como orden de gobierno, por conducto de la Secretaría, del Instituto o de la Procuraduría, según sea el caso, formular, aplicar y vigilar el cumplimiento de las políticas públicas encaminadas a la adaptación y mitigación al cambio climático, de conformidad con la ley de la materia.

En adición a lo anterior, y teniendo en cuenta que el Inventario de Gases de Efecto Invernadero local, de acuerdo con el marco legal aplicable, se considera un elemento integrante del Programa Estatal de Cambio Climático, la Ley de Acción de Cambio Climático en el Estado de Quintana Roo, establece en el artículo 10 fracción I, que la Secretaría de Ecología y Medio Ambiente, tendrá a su cargo la función de formular, publicar, implementar, monitorear y evaluar dicho Programa con su correspondiente Sistema MRV-ME y el Registro Estatal de Emisiones.

Resulta conveniente mencionar que la Secretaría de Ecología y Medio Ambiente puede actuar por sí o en el marco de la coordinación intersectorial, para lo cual, el artículo 11, en conjunto con el artículo 14, fracciones I, II, III y IV, de dicha ley local en materia de cambio climático, señala que la Comisión Estatal de Cambio Climático de Quintana Roo, como órgano interinstitucional de coordinación, seguimiento y evaluación del Programa Estatal y responsable de la coordinación gubernamental en la formulación e instrumentación de políticas públicas en materia de cambio climático para el Estado (mismo en el que el titular de dicha dependencia participa en la coordinación), tendrá a su cargo la formulación y aprobación de políticas integrales y metas de cambio climático y su incorporación en programas, estrategias y acciones sectoriales, coordinar las acciones de adaptación y mitigación, programas y medidas de dependencias y entidades de la Administración Pública Estatal, conocer y

opinar sobre sobre los estudios que se consideren necesarios para hacer frente al cambio climático, así como diseñar y aprobar las acciones para la instrumentación del Programa Estatal.

Por su parte, el artículo 11, fracciones VI, VII y XVI del Reglamento de la Ley de Acción de Cambio Climático en el Estado de Quintana Roo, determina que la Comisión Estatal de Cambio Climático, tendrá a su cargo, entre otras, las siguientes funciones: participar en la elaboración, instrumentación, seguimiento y aprobación del Programa Estatal en coordinación con la Secretaría de Ecología y Medio Ambiente, desarrollar y publicar el conjunto de lineamientos, criterios e indicadores que guiarán la evaluación de la Política del Estado en materia de cambio climático y aprobar la elaboración de estudios, trabajos y diagnósticos necesarios para el logro de sus atribuciones y el objeto de la normatividad aplicable.

I.3 Breve descripción de las categorías clave

El análisis de categorías clave es la identificación de las fuentes principales de emisión, 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 I.2). Un total de 14 fuentes aportan el 95.22% de las emisiones/absorciones estatales de GEI, siendo las tres más relevantes las siguientes por CO_2: tierras forestales que permanecen como tal (57.77%), el transporte terrestre (10.83%), y tierras convertidas en praderas (6.74%). En el Anexo I se presenta el total de las fuentes de emisión ordenadas por su contribución porcentual al IEEGyCEI del estado de Quintana Roo en 2023.

Tabla I.2 Categorías clave en el estado de Quintana Roo, 2023

Código	Categoría	GEI a evaluar	Emisiones o absorciones 2023 ($GgCO_2e$)	Evaluación del nivel	Total acumulativo
3B1a	Tierras forestales que permanecen como tal	CO_2	(11,648.71)	57.77%	57.77%
1A3b	Transporte terrestre	CO_2	2,183.93	10.83%	68.60%
3B3b	Tierras convertidas en praderas	CO_2	1,358.87	6.74%	75.34%
1A3a	Aviación civil	CO_2	738.34	3.66%	79.00%
1A1ai	Generación de electricidad	CO_2	641.70	3.18%	82.19%
4A1	Sitios gestionados	CH_4	520.37	2.58%	84.77%
3B2b	Tierras convertidas a tierras de cultivo	CO_2	510.92	2.53%	87.30%
2F1a	Aire acondicionado estacionario	HFC	474.44	2.35%	89.65%
3A1	Fermentación entérica	CH_4	257.08	1.27%	90.93%
1A4a	Otros sectores (comercial/institucional)	CO_2	225.41	1.12%	92.05%
4D2	Tratamiento y eliminación de aguas residuales industriales	CH_4	207.11	1.03%	93.07%
4A2	Sitios no gestionados	CH_4	181.04	0.90%	93.97%
3B5b	Tierras convertidas en asentamientos	CO_2	143.82	0.71%	94.69%
3C1b	Emisiones de GEI por quemado de biomasa en tierras de cultivo	CH_4	108.54	0.54%	95.22%

Fuente: Elaboración propia.

Adicionalmente, se reportan las emisiones por quema de bagazo de caña, leña y biomasa para la generación de energía y en el sector residencial, las cuales no se contabilizan en el IEEGYCEI por ser de origen biogénico (Tabla I.3).

Tabla I.3 Fuentes reportadas, pero no cuantificadas en el IEEGYCEI de Quintana Roo, 2023

Código	Categoría	GEI a evaluar	Emisiones o absorciones 2023 ($Gg\ CO_2e$)
1A2e	Procesamiento de los alimentos, bebida y tabaco (bagazo de caña)	CO_2	241.46
1A2e	Procesamiento de los alimentos, bebida y tabaco (leña)	CO_2	0.14
1A4a	Otros sectores: comercial e institucional (leña)	CO_2	2.84
1A4b	Otros sectores: residencial (leña)	CO_2	267.10
3C1a	Emisiones de GEI por quema de biomasa en tierras forestales	CO_2	244.53
Emisiones totales			**756.06**

Fuente: Elaboración propia.

I.4 Aseguramiento y control de calidad (AC/CC) y verificación del inventario

El control de calidad (CC) se fundamentó en la revisión cruzada de datos entre los integrantes del equipo técnico del Centro Mario Molina, actores clave de cada uno de los sectores estimados, así como con la Secretaría de Ecología y Medio Ambiente del estado de Quintana Roo. Asimismo, las herramientas de estimación de las emisiones cuentan con controles de calidad diseñados para evitar errores y dobles contabilidades.

Esta actualización del IEEGYCEI se desarrolló siguiendo los lineamientos y estructura del sistema de gestión de calidad (SGC) del Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero 1990-2019 (INEGYCEI), diseñado para cumplir con las metodologías del IPCC. De acuerdo con el INEGYCEI, el SGC establece seis etapas para su desarrollo:

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, así como de la Secretaría de Ecología y Medio Ambiente del estado de Quintana Roo.
6. Integración del reporte y publicación. Elaboración de informes para el cumplimiento de obligaciones nacionales e internacionales.

I.5 Etapas de elaboración del IEEGYCEI

El proceso de preparación del presente inventario se presenta en la Figura I.1, este proceso conllevo a tener reuniones y talleres con actores clave los cuales cuentan con la información necesaria para la elaboración del inventario

A partir de la solicitud de información, entrevistas y reuniones con actores clave, se identificaron nuevas fuentes de información y precisiones al enfoque de las metodologías que permitió mejorar las estimaciones de las emisiones del presente inventario.

En la Tabla I.4 se presentan las principales instituciones y fuentes de información y en la Figura I.2, se presentan a los actores clave por sector y categoría identificados en el estado de Quintana Roo.

Figura I.1 Diagrama de proceso para la actualización del IEEGYCEI de Quintana Roo



Fuente: Elaboración propia.

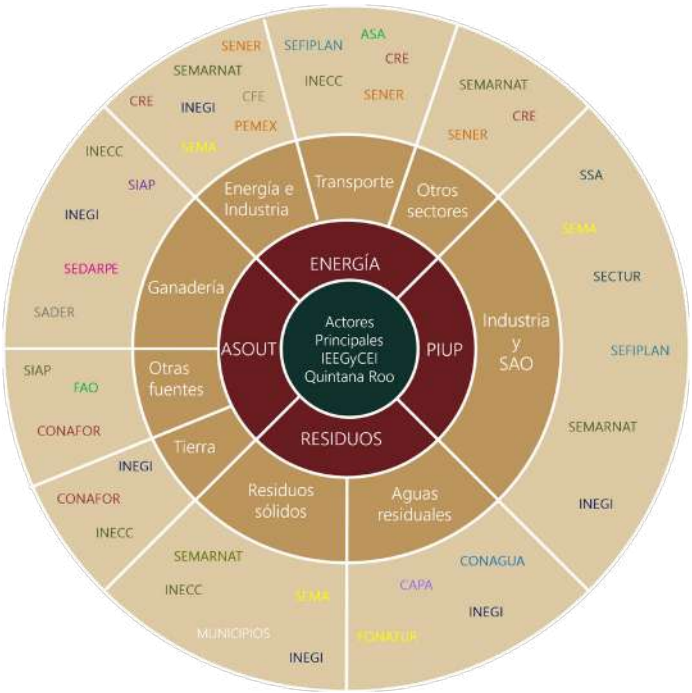
Tabla I.4 Principales instituciones y fuentes de información en el estado de Quintana Roo

Fuente / Dato de actividad	Institución	Sector o categoría del IPCC
Balance Nacional de Energía	Secretaría de Energía (SENER)	[1] Energía
Sistema de Información Energética	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) Comisión Reguladora de Energía (CRE)	[1A1a] Generación de energía eléctrica
Consumo de combustibles fósiles para la refinación del petróleo	Petróleos Mexicanos (PEMEX)	[1A1c] Refinación del petróleo
Consumo de combustibles en el transporte aéreo	Aeropuertos y Servicios Auxiliares (ASA) Aeroportuario de Servicios Auxiliares y Conexos Olmeca-Maya-Mexica (GAFSACOMM)	[1A3a] Aviación civil
Consumo de combustibles en el transporte terrestre	Comisión Reguladora de Energía (CRE)	[1A3b] Transporte terrestre
Padrón vehicular	Secretaría de Finanzas y Planeación del estado de Quintana Roo (SEFIPLAN)	[1A3b] Transporte terrestre
Consumo de combustibles en el transporte marítimo	Sistema de Información Energética (SIE)	[1A3d] Transporte navegación marítima y fluvial
Cédulas de Operación Anual	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT)	[1A] Energía; [1A1c] Fabricación de combustibles sólidos y otras industrias energéticas [1B2] Petróleo y gas; [2F] Uso de productos sustitutos de las sustancias que agotan la capa de ozono
Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE)	Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI)	[2F] Uso de productos sustitutos de las sustancias que agotan la capa de ozono

Fuente / Dato de actividad	Institución	Sector o categoría del IPCC
Encuesta Nacional sobre Consumo de Energéticos en Viviendas 2018 (ENCEVI)	Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI)	[2F] Uso de productos sustitutos de las sustancias que agotan la capa de ozono
Compendio Estadístico del Turismo en México	Secretaría de Turismo (SECTUR)	[2F] Uso de productos sustitutos de las sustancias que agotan la capa de ozono
Unidades Médicas	Secretaría de Salud del estado de Quintana Roo (SSA)	[2F] Uso de productos sustitutos de las sustancias que agotan la capa de ozono
Oficinas de la administración pública	Secretaría de Finanzas y Planeación del estado de Quintana Roo (SEFIPLAN)	[2F] Uso de productos sustitutos de las sustancias que agotan la capa de ozono
Cartas de uso del suelo y vegetación	Comisión Nacional Forestal (CONAFOR)	[3B] Tierra
Estadísticas anuales de producción agrícola y pecuaria	Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER) Secretaría de Desarrollo Agropecuario, Rural y Pesca del Estado de Quintana Roo (SEDARPE)	[3A] Ganado [3C] Fuentes agregadas y fuentes de emisión distintas al CO_2 de la tierra
Anuarios Estadísticos Forestales	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT)	[3D1] Productos de madera recolectada
Encuesta Nacional Agropecuaria	Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI)	[3A] Ganado
Volumen de residuos sólidos urbanos y de manejo especial confinados	Secretaría de Ecología y Medio Ambiente del Estado de Quintana Roo (SEMA) y Gobiernos Municipales	[4A] Eliminación de residuos sólidos
Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Demarcaciones Territoriales de la Ciudad de México 2011, 2013, 2015, 2017, 2019, 2021 y 2023	Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI)	[4A] Eliminación de residuos sólidos
Programa Estatal para la Prevención y la Gestión Integral de los Residuos Sólidos Urbanos y de Manejo Especial del Estado de Quintana Roo	IPN – SEDUMA Quintana Roo - GIZ	[4A] Eliminación de residuos sólidos [4C2] Quema abierta de residuos
Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos 2020.	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT)	[4A] Eliminación de residuos sólidos [4C2] Quema abierta de residuos
Censo de Población y Vivienda 2010, 2020, y Encuesta Intercensal 2015	Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI)	[4C2] Quema abierta de residuos
Plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas y parámetros de operación	Comisión Nacional del Agua (CONAGUA)	[4D1] Plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas
Plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas	Comisión de Agua Potable y Alcantarillado de Quintana Roo (CAPA)	[4D1] Plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas
Plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas	Fondo Nacional de Fomento al Turismo (FONATUR)	[4D1] Plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas

Fuente: Elaboración propia.

Figura I.2 Actores clave en la elaboración del IEEGyCEI de Quintana Roo



Fuente: Elaboración propia.

I.6 Visión general de las metodologías y fuentes de datos utilizadas

En la actualización de este IEEGYCEI se procuró garantizar los principios de calidad del IPCC —coherencia, exhaustividad, comparabilidad, exactitud y transparencia—, mediante estimaciones apegadas a lo dispuesto en las Directrices 2006 y su Refinamiento 2019 para medir las emisiones y absorciones de GEI.

Considerando los árboles de decisión de las Directrices 2006, se identificó el nivel de detalle más adecuado a las circunstancias estatales y municipales para calcular las emisiones, teniendo en cuenta la especificación matemática de los métodos, las fuentes de actividad y la información sobre los factores de emisión u otros parámetros que deben usarse al generar las estimaciones. Se utilizaron datos de actividad (DA) nacionales y factores de emisión (FE) apropiados a las condiciones nacionales y/o estatales, así como los potenciales de calentamiento global (PCG) a cien años del Quinto Informe de Evaluación (AR5) (IPCC, 2014) para obtener el total de emisiones en gigagramos de dióxido de carbono equivalente ($GgCO_2e$). Las metodologías y los factores de emisión utilizados y

descritos en esta actualización del IEEGYCEI se consideran, hasta este momento, como los mejores conforme a los datos disponibles de actividad.

El IEEGYCEI abarca el territorio del estado de Quintana Roo y estima las emisiones y absorciones de los seis gases que forman parte del Protocolo de Kyoto (CO_2, CH_4, N_2O, HFE, HFC, HCFC, CFC, PFC y SF_6), así como las emisiones de carbono negro. Por otro lado, cumpliendo con la coherencia de la serie temporal, en todos los sectores se reportan los datos del periodo 2010-2023. Las actividades de mejora de las metodologías y de los datos de actividad realizadas para esta actualización, toman en cuenta los procedimientos de QA/QC y verificación. Estas mejoras se realizan con la finalidad de aumentar la coherencia, exhaustividad, comparabilidad, exactitud y transparencia de las estimaciones de las emisiones y absorciones municipales.

I.7 Evaluación general de la incertidumbre

La estimación de la incertidumbre se realizó conforme a las Directrices 2006 y su Refinamiento 2019 mediante el "Método 1: Propagación del error", por categorías, tendencias y GEI, entre el año base (2010) y el de reporte (2023). La incertidumbre asociada a los datos de actividad y factores de emisión se obtuvo como primera fuente, de las fuentes de información, y en segundo lugar, de los rangos de incertidumbre por defecto reportados en las Directrices 2006 y su Refinamiento 2019.

La incertidumbre total del IEEGYCEI de Quintana Roo, sin considerar absorciones fue de ±9.39%, correspondiente a un rango de variabilidad entre 5,680.24 y 6,857.74 $GgCO_2e$; para las emisiones netas la incertidumbre fue de ±312.53%, que corresponde a un rango entre 7,528.61 y -14,613.48 $GgCO_2e$. La amplia diferencia entre ambas estimaciones obedece al alto nivel de incertidumbre del factor de emisión de la fuente [3B1a] Tierras forestales que permanecen como tal (sumidero de carbono o que absorbe CO_2), que es del 113.33%, en combinación con la alta representatividad de esta fuente en el inventario, ya que contribuye con el 57.77% del valor absoluto de emisiones y absorciones del año 2023. Cuando no se consideran las absorciones, esta fuente no se contabiliza y la incertidumbre total se reduce significativamente a ±9.39%.

El sector [1] Energía presentó una incertidumbre de ±4.25% (entre 3,879.31 y 4,224.10 $GgCO_2e$), las fuentes con las varianzas más altas son [1B2a] Petróleo con ±119.96% (entre -0.0001 y 0.0014 $GgCO_2e$), [1A4b] Sector residencial con ±32.75% (entre 63.29 y 124.94 $GgCO_2e$), y [1A2e] Procesamiento de los alimentos, bebida y tabaco [1A4c] con ±18.39% (entre 4.74 y 6.87 $GgCO_2e$).

En el sector [2] PIUP, la incertidumbre fue de ±55.28% (entre 213.09 y 739.84 $GgCO_2e$), este valor corresponde a la única fuente estimada es [2F1a] Refrigeración y aire acondicionado.

En el sector [3] ASOUT, la incertidumbre sin considerar las absorciones se estimó en ±35.61% (entre 434.39 y 914.88 $GgCO_2e$), al cuantificar las absorciones la incertidumbre aumenta a ±121.03% (entre 1,921.20 y -20,194.78 $GgCO_2e$). Para la categoría [3A] Ganado la incertidumbre se estimó en ±36.48% (191.69 y 411.91 $GgCO_2e$), para [3B] Tierra se estimó en ±113.33% (1,300.46 y -20,810.25 $GgCO_2e$), para [3C] Fuentes agregadas y fuente de emisión distintas al CO_2 la cuantificación fue de ±57.27% (159.31y 586.36 $GgCO_2e$), y para [3D] Otros (productos de madera recolectada), la incertidumbre registró ±41.11% (-33.29 y -79.77 $GgCO_2e$).

Finalmente, el sector [4] Residuos presentó una incertidumbre de ±40.86% (entre 630.49 y 1,501.87 $GgCO_2e$), donde la subcategoría [4C2] Quema abierta de residuos cuantificó una incertidumbre de ±199.30% (entre -20.22 y 60.96 $GgCO_2e$), para [4D] Tratamiento y eliminación de aguas residuales fue de ±102.09% (entre -6.86 y 661.97 $GgCO_2e$), y finalmente en [4A] Sitios gestionados para la eliminación de residuos la incertidumbre se estimó en ±38.47 (entre 441.95 y 994.57 $GgCO_2e$). En el Anexo II, se presentan las incertidumbres por categoría, subcategoría y fuente.

I.8 Evaluación general de la exhaustividad

La exhaustividad en un inventario significa que se han estimado los GEI para todas las categorías y fuentes presentes en el territorio. El IEEGYCEI abarca el territorio del estado de Quintana Roo e incluye la estimación de las emisiones y absorciones de: CO_2, CH_4, N_2O, HFC, HCFC y carbono negro. En todos los sectores se reportan los datos del periodo 2010-2023 con excepción de [3B], que se reporta para el periodo de 2000-2020.

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 las siguientes 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 I.5, se enlistan las categorías y subcategorías que se han excluido y su estatus. La desagregación por fuente se puede consultar en Anexo III.

Tabla I.5 Categorías y subcategorías excluidas o incluidas en otra parte del IEEGYCEI de Quintana Roo

Código del IPCC	Nombre de la categoría	Estatus	Gases
1	ENERGÍA	E	CO_2, CH_4, N_2O
1A	Actividades de quema de combustible	E	CO_2, CH_4, N_2O
1A1	Industrias de la energía	E	CO_2, CH_4, N_2O
1A2	Industrias manufactureras y de la construcción	E	CO_2, CH_4, N_2O
1A3	Transporte	E	CO_2, CH_4, N_2O
1A4	Otros sectores	E	CO_2, CH_4, N_2O
1A5	No especificado	NE	CO_2, CH_4, N_2O
1B	Emisiones fugitivas provenientes de la fabricación de combustibles	E	CO_2, CH_4, N_2O
1B1	Combustibles sólidos	NO	-
1B2	Petróleo y gas natural	E	CO_2, CH_4, N_2O
1B3	Otras emisiones provenientes de la producción de energía	NO	-
1C	Transporte y almacenamiento de dióxido de carbono	NO	-
1C1	Transporte de CO_2	NO	-
1C2	Inyección y almacenamiento	NO	-
1C3	Otros	NO	-
2	PROCESOS INDUSTRIALES Y USO DE PRODUCTOS	E	CO_2, HFC, HCFC
2A	Industria de los minerales	NO	-
2A1	Producción de cemento	NO	-
2A2	Producción de cal	NO	-

Código del IPCC	Nombre de la categoría	Estatus	Gases
2A3	Producción de vidrio	NO	-
2A4	Otros usos de carbonatos en los procesos	NO	-
2A5	Otros (sírvase especificar)	NO	-
2B	Industria química	NO	-
2B1	Producción de amoníaco	NO	-
2B2	Producción de ácido nítrico	NO	-
2B3	Producción de ácido adípico	NO	-
2B4	Producción de caprolactama, glyoxal y ácido glyoxílico	NO	-
2B5	Producción de carburo	NO	-
2B6	Producción de dióxido de titanio	NO	-
2B7	Producción de ceniza de sosa	NO	-
2B8	Producción petroquímica y de negro de humo	NO	-
2B9	Producción fluoroquímica	NO	-
2B10	Otros (sírvase especificar)	NO	-
2C	Industria de los metales	NO	-
2C1	Producción de hierro y acero	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 (sírvase especificar)	NO	-
2D	Uso de productos no energéticos de combustibles y de solvente	NO	-
2D1	Uso de lubricante	NO	-
2D2	Uso de la cera de parafina	NO	-
2D3	Uso de solvente	NO	-
2D4	Otros (sírvase especificar)	NO	-
2E	Industria electrónica	NO	-
2E1	Circuito integrado o semiconductor	NO	-
2E2	Pantalla plana tipo TFT	NO	-
2E3	Productos fotovoltaicos	NO	-
2E4	Fluido de transporte y transferencia térmica	NO	-
2E5	Otros (sírvase especificar)	NO	-
2F	Usos de productos como sustitutos de las sustancias que agotan la capa de ozono	Estimada	HFC, HCFC
2F1	Refrigeración y aire acondicionado	Estimada	HFC, HCFC
2F2	Agentes espumantes	NO	-
2F3	Productos contra incendios	NO	-
2F4	Aerosoles	NO	-
2F5	Solventes	NO	-
2F6	Otras aplicaciones (sírvase especificar)	NO	-
2G	Manufactura y utilización de otros productos	NO	-

Código del IPCC	Nombre de la categoría	Estatus	Gases
2G1	Equipos eléctricos	NO	-
2G2	SF6 y PFC del uso de otros productos	NO	-
2G3	N2O del uso de productos	NO	-
2G4	Otros (sírvase especificar)	NO	-
2H	Otros	NO	-
2H1	Industria de la pulpa y del papel	NO	-
2H2	Industria de la alimentación y la bebida	NO	-
2H3	Otros (sírvase especificar)	NO	-
3	AGRICULTURA, SILVICULTURA Y OTROS USOS DE LA TIERRA	E	CH_4 y N_2O
3A	Ganado	E	CH_4 y N_2O
3A1	Fermentación entérica	E	CH_4
3A2	Manejo de excretas	E	CH_4, N_2O
3B	Tierra	E	CO_2
3B1	Tierras forestales	E	CO_2
3B2	Tierras de cultivo	E	CO_2
3B3	Praderas	E	CO_2
3B4	Humedales	E	CO_2
3B5	Asentamientos	E	CO_2
3B6	Otras tierras	E	CO_2
3C	Fuentes agregadas y fuentes de emisión no CO_2 en la tierra	E	CO_2, CH_4, N_2O
3C1	Emisiones de la quema de biomasa	E	CH_4, N_2O
3C2	Encalado	NO	-
3C3	Aplicación de urea	E	CO_2
3C4	Emisiones directas de N_2O de los suelos gestionados	E	N_2O
3C5	Emisiones indirectas de N_2O de los suelos gestionados	E	N_2O
3C6	Emisiones indirectas de N_2O resultantes de la gestión del estiércol	E	N_2O
3C7	Cultivo del arroz	E	CH_4
3C8	Otros (sírvase especificar)	NO	-
3D	Productos de madera recolectada	E	CO_2
3D1	Productos de madera recolectada	E	CO_2
3D2	Otros (sírvase especificar)	NO	-
4	RESIDUOS	E	CH_4, CO_2
4A	Eliminación de residuos sólidos	E	CH_4
4A1	Sitios de eliminación de residuos gestionados	E	CH_4
4A2	Sitios de eliminación de residuos no gestionados	E	CH_4
4A3	Sitios de eliminación de residuos no categorizados	E	CH_4
4B	Tratamiento biológico de los residuos sólidos	NE	-
4C	Incineración y quema abierta de residuos	E	CO_2, CH_4, N_2O
4C1	Incineración de residuos	NO	-
4C2	Quema abierta de residuos	E	CO_2, CH_4, N_2O
4D	Tratamiento y eliminación de aguas residuales	E	CH_4, N_2O

Código del IPCC	Nombre de la categoría	Estatus	Gases
4D1	Tratamiento y eliminación de aguas residuales domésticas	E	CH_4, N_2O
4D2	Tratamiento y eliminación de aguas residuales industriales	E	CH_4, N_2O
4E	Otros (sírvase especificar)	NO	-
5	Otros	NO	-
5A	Emisiones indirectas de N_2O de la deposición atmosférica de nitrógeno en NOx y NH_3	NO	-
5B	Otros (sírvase especificar)	NO	-

Notas: E (Estimada), NE (No estimada), NO (No ocurre). Fuente: Elaboración propia.

II Emisiones de GyCEI 2023 y tendencia histórica

En este capítulo se sintetizan los aspectos más relevantes de las tendencias observadas en el comportamiento de las emisiones y absorciones del IEEGYCEI de Quintana Roo en el periodo 2010-2023.

II.1 Principales indicadores socioeconómicos

El crecimiento promedio anual del PIB de Quintana Roo entre 2010 y 2023 fue de 3.0% al año, en tanto que la población aumentó en 3.2% al año. Derivado de la pandemia por COVID-19, en 2020 se registró una reducción en el ritmo de crecimiento de ambos indicadores, en particular la actividad económica registró un retroceso de 22.30% respecto al año anterior; y la población redujo su ritmo de crecimiento a los niveles de 2015. Sin embargo, para el año 2022 es visible la recuperación de las dinámicas demográfica y económica que caracterizan a la entidad.

Tabla II.1 Principales indicadores económicos y demográficos del estado de Quintana Roo

Año	PIB a precios constantes de 2018 (millones de pesos)	Incremento PIB respecto a 2010 (%)	Crecimiento anual del PIB (%)	Población	Incremento de población respecto a 2010 (%)	Crecimiento anual de la población (%)
2010	255,104			1,343,587		
2011	268,259	5.16%	5.16%	1,385,266	3.10%	3.10%
2012	280,381	9.91%	4.52%	1,425,358	6.09%	2.89%
2013	289,182	13.36%	3.14%	1,464,964	9.03%	2.78%
2014	300,006	17.60%	3.74%	1,503,999	11.94%	2.66%
2015	318,608	24.89%	6.20%	1,555,088	15.74%	3.40%
2016	339,733	33.17%	6.63%	1,622,307	20.74%	4.32%
2017	357,117	39.99%	5.12%	1,693,802	26.07%	4.41%
2018	377,341	47.92%	5.66%	1,767,057	31.52%	4.32%
2019	376,757	47.69%	-0.15%	1,841,470	37.06%	4.21%
2020	292,733	14.75%	-22.30%	1,898,241	41.28%	3.08%
2021	332,542	30.36%	13.60%	1,936,713	44.14%	2.03%
2022	356,485	39.74%	7.20%	1,977,161	47.16%	2.09%
2023*	373,981	46.60%	4.91%	2,019,606	50.31%	2.15%

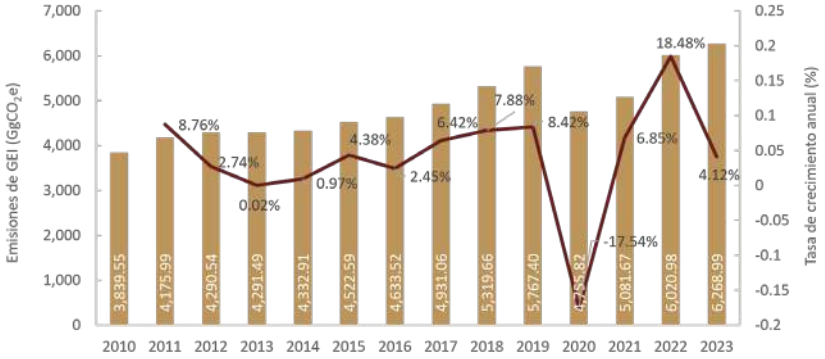
Nota: *Proyección lineal. Fuente: INEGI (2013a, 2015, 2021a, 2022).

II.2 Descripción e interpretación de las tendencias agregadas de las emisiones de GEI

Las emisiones de GEI entre 2010 (3,839.55 $GgCO_2e$) y 2023 (6,268.99 $GgCO_2e$) revelan un comportamiento al alza a una tasa media anual (TMCA) de 3.84%. En la Figura II.1, se observa el impacto en la generación de emisiones de la pandemia por COVID-19, al mostrar una reducción del

17.54% de las emisiones del año 2020. A partir del año 2022, se observa una recomendación de la tendencia creciente de las emisiones de GEI.

Figura II.1 Tendencia de las emisiones de GEI en el estado de Quintana Roo, 2010-2023



Fuente: Elaboración propia.

El sector [4] Residuos es el que registra un mayor ritmo de crecimiento de emisiones, a razón del 11.04% al año entre 2010 y 2023. Ligado al sector turismo, la principal actividad económica en la entidad, son las emisiones del sector [2] IPPU, donde se reportan las emisiones de gases refrigerantes por el uso de aires acondicionados y equipos refrigerantes en hoteles, las que tienen el segundo mayor ritmo de crecimiento (6.33% anual en todo el periodo inventariado).

En tercer lugar, con tendencia ascendente de las emisiones, se encuentra el sector [1] Energía con una TMCA de 2.81% entre 2010 y 2023. En este sentido, se debe señalar que la entidad no es autosuficiente en materia de generación de energía eléctrica, por lo que se consideran emisiones indirectas por $GgCO_2e$.

Por el contrario, el sector [3] ASOUT experimentó una reducción de las emisiones a lo largo de la serie temporal del inventario, de - 1.20%.

Adicionalmente, se destaca que la capacidad de sumidero del estado se redujo en -13.00%, particularmente por la conversión de suelos con vegetación a tierras de cultivo y praderas, por lo que estas tierras pasaron de absorber -11,212.31 $GgCO_2$ a solo -9,754.90 $GgCO_2$ entre 2010 y 2023.

En la Tabla II.2, se presentan las tendencias de emisiones y absorciones de GEI, por sector, categoría, subcategoría y fuente para el estado de Quintana Roo en el periodo de 2010 al 2023.

Tabla II.2 Tendencia de las emisiones y absorciones de GEI ($GgCO_2e$) del estado de Quintana Roo, 2010-2023

Código IPCC	Nivel	2010	2023	TMCA 2010-2023
1	**ENERGÍA**	**2,824.35**	**4,051.71**	**2.81%**
1A	Actividades de quema del combustible	2,824.35	4,051.71	2.81%
1A1	**Industrias de la energía**	**43.44**	**643.84**	**23.05%**
1A1a	Producción de electricidad y calor como actividad principal	43.44	643.84	23.05%
1A2	**Industrias de la manufactura y la construcción**	**35.18**	**33.61**	**-0.35%**
1A2e	Procesamiento de los alimentos, bebida y tabaco	7.24	5.81	-1.69%
1A2m	Industria no especificada: manufacturas	27.94	27.80	-0.04%
1A3	**Transporte**	**2,476.67**	**3,053.06**	**1.62%**
1A3a	Aviación civil	298.04	743.87	7.29%
1A3b	Transporte terrestre	2,163.38	2,299.81	0.47%
1A3d	Navegación marítima y fluvial	15.25	9.38	-3.67%
1A4	**Otros sectores (comercial, residencial y agricultura)**	**269.06**	**321.20**	**1.37%**
1A4a	Comercial / Institucional	173.53	226.40	2.07%
1A4b	Residencial	94.89	94.11	-0.06%
1A4c	Agricultura/Silvicultura/Pesca/Piscifactorías	0.65	0.68	0.42%
1B	Emisiones fugitivas provenientes de la fabricación de combustibles	0.0005	0.0006	1.25%
1B2	**Petróleo y gas natural**	**5.31E-04**	**6.24E-04**	**1.25%**
1B2a	Petróleo	5.31E-04	6.24E-04	1.25%
2	**PROCESOS INDUSTRIALES Y USO DE PRODUCTOS**	**214.59**	**476.47**	**6.33%**
2F	Uso de productos sustitutos de las sustancias que agotan la capa de ozono	214.59	476.47	6.33%
2F1	**Refrigeración y aire acondicionado**	214.59	476.47	6.33%
2F1a	Refrigeración y aire acondicionado estacionario	214.59	476.47	6.33%
3	**AGRICULTURA, SILVICULTURA Y OTROS USOS DE LA TIERRA**	**-10,695.54**	**-9,136.79**	**-1.20%**
3	**AGRICULTURA, SILVICULTURA Y OTROS USOS DE LA TIERRA (SIN 3B NI 3D)**	**527.41**	**674.64**	**1.91%**
3A	Ganado	343.29	301.80	-0.99%
3A1	**Fermentación entérica**	213.76	257.08	1.43%
3A2	**Manejo de excretas**	129.53	44.72	-7.86%
3B	Tierras	-11,212.31	-9,754.90	-1.07%
3B1	**Tierras forestales**	**-11,841.39**	**-11,667.92**	**-0.11%**
3B1a	Tierras forestales que permanecen como tal	-11,816.83	-11,648.71	-0.11%
3B1b	Tierras convertidas a tierras forestales	-24.56	-19.21	-1.87%

Código IPCC	Nivel	2010	2023	TMCA 2010-2023
3B2	**Tierras de cultivo**	**323.38**	**475.00**	**3.00%**
3B2a	Tierras de cultivo que permanecen como tal	- 5.41	- 35.92	15.67%
3B2b	Tierras convertidas a tierras de cultivo	328.79	510.92	3.45%
3B3	**Praderas**	**191.86**	**1,266.30**	**15.62%**
3B3a	Praderas que permanecen como tal	- 58.30	- 92.57	3.62%
3B3b	Tierras convertidas en praderas	250.16	1,358.87	13.90%
3B4	**Humedales**	**10.02**	**10.11**	**0.07%**
3B4b	Tierras convertidas en humedales	10.02	10.11	0.07%
3B5	**Asentamientos**	**93.42**	**143.82**	**3.37%**
3B5b	Tierras convertidas en asentamientos	93.42	143.82	3.37%
3B6	**Otras tierras**	**10.39**	**17.79**	**4.22%**
3B6b	Tierras convertidas en otras tierras	10.39	17.79	4.22%
3C	Fuentes agregadas y fuentes de emisión no CO2 de la tierra	184.12	372.84	5.58%
3C1	**Quema de biomasa**	**18.51**	**177.67**	**19.00%**
3C1a	Emisiones de GEI por quema de biomasa en tierras forestales	18.48	37.67	5.63%
3C1b	Emisiones de GEI por quema de biomasa en tierras de cultivo	0.03	140.00	93.51%
3C1c	Emisiones de GEI por quema de biomasa en praderas	-	-	NA
3C3	**Aplicación de urea**	**15.69**	**19.85**	**1.82%**
3C4	**Emisiones directas de N_2O de suelos gestionados**	**77.38**	**92.49**	**1.38%**
3C5	**Emisiones indirectas de N_2O de suelos gestionados**	**64.64**	**75.05**	**1.16%**
3C6	**Emisiones indirectas de N_2O por SME**	**7.89**	**7.77**	**-0.12%**
3D	Otros	-10.65	-56.53	13.70%
3D1	**Productos de madera recolectada**	**-10.65**	**-56.53**	**13.70%**
4	**RESIDUOS**	**273.20**	**1,066.18**	**11.04%**
4A	Eliminación de residuos sólidos	69.72	718.26	19.65%
4A1	**Sitios gestionados**	**8.12**	**520.37**	**37.72%**
4A2	**Sitios no gestionados**	**59.96**	**181.04**	**8.87%**
4A3	**Sitios no categorizados**	**1.64**	**16.84**	**19.64%**
4C	Incineración y quema abierta de residuos	24.75	20.37	-1.49%
4C2	**Quema abierta de residuos**	**24.75**	**20.37**	**-1.49%**
4D	Tratamiento y eliminación de aguas residuales	178.73	327.56	4.77%
4D1	**Plantas de tratamiento de aguas residuales municipales**	**70.86**	**108.01**	**3.30%**
4D2	**Plantas de tratamiento de aguas residuales industriales**	**107.87**	**219.54**	**5.62%**
	Emisiones totales (sin 3B Tierra ni 3D Otros)	**3,839.55**	**6,268.99**	**3.84%**

Código IPCC	Nivel	2010	2023	TMCA 2010-2023
	Emisiones netas	- 7,383.40	- 3,542.44	-5.49%

Nota: NA indica que no existe información en el año base o de reporte para estimar el cambio. Fuente: Elaboración propia.

II.3 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: se refiere a la quema de combustibles fósiles (gasolina, diésel, gas licuado de petróleo (gas LP), gas natural (GN), combustóleo, petróleo, etcétera) y biomasa (madera, residuos agrícolas, desechos, etcétera) durante el proceso de producción de energía (electricidad y/o calor) en termoeléctrica, hornos, caldera, estufas, transporte, entre otros.

2. Sector de Procesos Industriales y Uso de Productos (PIUP): se refiere a las emisiones de GCYGEI derivadas de los procesos industriales ya sea por el uso directo de GEI en la producción y por los usos no energéticos del carbono contenido en los combustibles fósiles. Las principales fuentes de emisión son las emisiones de los procesos industriales que transforman materias primas por medio físicos o químicos, de las cuales no se encontró registro en el estado de Quintana Roo.

3. Sector Agricultura, Silvicultura y Otros Usos de la Tierra (ASOUT): se refiere a las emisiones de GEI de las actividades pecuarias (fermentación entérica del ganado y manejo de estiércol). Así como las emisiones por actividades agrícolas (manejo de suelo, cultivo de arroz y quema en campo de residuos de cosechas). En la categoría Uso de Suelo, Cambio de Uso de Suelo y Silvicultura (USCUSS) se reportan las emisiones y absorciones por los cambios y permanencias en uso de suelo.

4. Sector Residuos: se refiere a las emisiones derivadas por la eliminación de residuos sólidos urbanos (RSU), el tratamiento biológico de residuos sólidos, la incineración y quema abierta de residuos y por el tratamiento y eliminación de aguas residuales tanto municipales como industriales.

Durante 2023, las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en el estado de Quintana Roo se estimaron en 6,268.99 $GgCO_2e$. Considerando el balance de las absorciones y emisiones de la categoría [3B] Tierra y de la subcategoría [3D1] Productos de madera recolectada de -9,811.43 $GgCO_2e$, las emisiones netas se contabilizaron en -3,542.44 $GgCO_2e$, por ello, el balance total del estado es positivo en emisiones de GEI, debido a que sus absorciones son menores que sus emisiones. Incluso considerando las emisiones indirectas (2,666.28 $GgCO_2e$), por consumo de energía eléctrica producida fuera de entidad, el balance continúa siendo positivo. Las emisiones totales (directas e indirectas) se cuantifican en 8,935.27 $GgCO_2e$, y las emisiones netas totales en -876.16 $GgCO_2e$.

El sector de mayor aportación al IEEGYCEI (sin considerar las categorías [3B] Tierra y [3D] Otros (Productos de madera recolectada), es el sector [1] Energía con el 64.63% de las emisiones, seguido del sector Residuos [4] con el 17.01%, a continuación, el sector [2] PIUP con 7.60%, en tercer lugar, y en último lugar, las emisiones del sector [3] ASOUT con 10.76%.

A nivel de fuente, las mayores contribuciones a las emisiones de GEI durante 2023 obedecen a la quema de combustibles fósiles en el transporte terrestre [1A3b] con el 36.69%, a la aviación civil [1A3a] con el 11.87%, a la producción de electricidad y calor como actividad principal [1A1a] con el 10.27%, a los sitios gestionados para la disposición de los residuos [4A1] con el 8.30%, y a la refrigeración y aire acondicionado estacionario [2F1a] con el 7.60%.

El comportamiento del sector energía está relacionado directamente con el consumo de combustibles fósiles en el transporte, las cuales responden a la dinámica de la actividad económica principal que es el turismo, donde la movilidad de millones de turistas (más de 13.4 millones en 2023), genera un alto consumo de gasolinas, diésel, turbosina y gasavión. Adicionalmente, en la producción de energía predomina el uso de combustibles fósiles con alto contenido de carbono como el diésel y el combustóleo.

De igual forma, las emisiones del sector PIUP están altamente ligadas a la actividad turística, debido al uso de equipos de aire acondicionado y refrigeradores de la infraestructura hotelera, que emiten sustancias que agotan la capa de ozono. Cabe resaltar que entre 2010 y 2023, la infraestructura hotelera medida por el número de cuartos de hoteles de cuatro y cinco estrellas se incrementó en 54% (SECTUR, 2022).

Por otro lado, las emisiones asociadas a la producción agropecuaria contribuyeron con el 10.76% de las emisiones estatales (4.81% correspondientes a la ganadería [3A] y 5.95% a la agricultura [3C]). En tanto que, las emisiones por el sector de Residuos dependen principalmente del crecimiento poblacional y la actividad turística, cuantificándose con el 17.01%, donde destacan las emisiones por el confinamiento de residuos con el 11.46% de las emisiones estatales de GEI.

Existen variaciones en la captura de carbono para la categoría [3B] Tierra, llamada también Uso del Suelo, Cambio en el Uso del Suelo y Silvicultura (USCUSS), que depende del comportamiento del cambio del uso de suelo. En Quintana Roo se ha reducido la capacidad de absorción de CO_2 debido a la conversión de suelo natural a tierras de cultivo, a praderas y asentamientos; por ello, las tierras pasaron de absorber -11,212.31 $GgCO_2e$ en 2010 a -9,754.90 $GgCO_2e$ en 2023. Adicionalmente, se cuantificó en 2023 una absorción de - 56.53 $GgCO_2e$ por productos de madera recolectada.

Con respecto a las emisiones por tipo de gas, en 2023 la mayor contribución proviene de las emisiones de dióxido de carbono (3,926.76 $GgCO_2e$; 62.64%), seguido de las emisiones por metano (1,460.70 $GgCO_2e$; 23.30%), óxido nitroso (405.07 $GgCO_2e$; 6.46%), hidrofluorocarbonos (474.44 $GgCO_2e$; 7.57%), e hidroclorofluorocarburos (2.02 $GgCO_2e$; 0.03%), (Tabla II.3).

Tabla II.3 Emisiones y contribuciones de GEI por tipo de gas, 2023

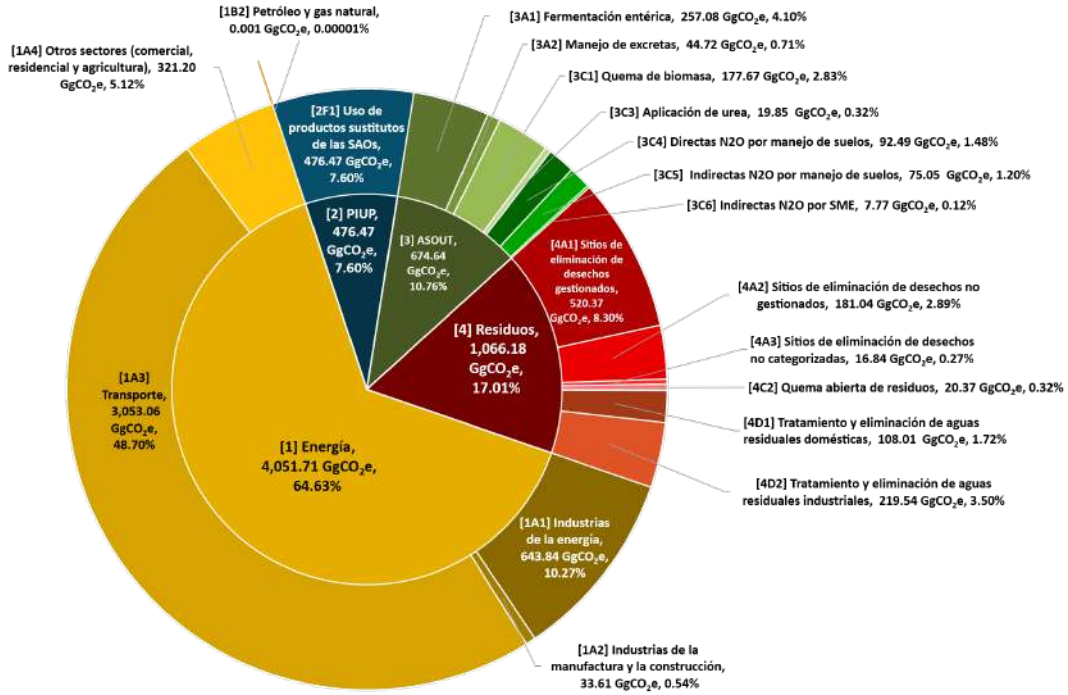
Tipo de gas	Emisiones ($GgCO_2e$)	Contribución porcentual
CO_2	3,926.76	62.64%

CH_4	1,460.70	23.30%
N_2O	405.07	6.46%
HFC	474.44	7.57%
HCFC	2.02	0.03%
Emisiones sin [3B]	6,268.99	**100.00%**
Emisiones de CO_2 de [3B]	2,041.51	
Absorciones de CO_2 de [3B] y [3D]	-11,852.93	
Emisiones netas	-3,542.44	
Emisiones indirectas	2,666.28	
Emisiones totales	8,935.27	
Emisiones netas totales	**-876.16**	

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura II.2 se presentan las emisiones de gases de efecto invernadero por sector, conforme a la clasificación del IPCC: Energía [1], Procesos Industriales y Uso de Productos (PIUP) [2], Agricultura, forestal y Otros Usos de la Tierra (ASOUT) [3] y Residuos [4], así como sus categorías correspondientes y en la Tabla II.4 se presentan las emisiones y absorciones en el estado por nivel para el año 2023.

Figura II.2 Emisiones de GEI del estado de Quintana Roo, 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 (anillo exterior). Cada nivel suma la totalidad de las emisiones estimadas, y la tonalidad de color identifica las emisiones de cada categoría con el sector al que pertenecen. Fuente: Elaboración propia.

Tabla II.4 Emisiones y absorciones de GEI del estado de Quintana Roo por nivel, 2023

Clave IPCC	Nivel	Emisiones netas	Emisiones totales	Emisiones sin [3B]	CH_4	N_2O	CO_2	HFC	HCFC	Nivel	Incert.	Porcentaje
		$GgCO_2e$									±%	%
	EMISIONES /ABSORCIONES TOTALES	**-3,542.44**	**8,310.50**	**6,268.99**	**1,460.70**	**405.07**	**-5,884.67**	474.44	2.02	1, 2 y 3	9.39	100.00%
1	**ENERGÍA**	**4,051.71**	**4,051.71**	**4,051.71**	**36.60**	**117.31**	**3,897.79**	**0.00**	**0.00**	**1, 2 y 3**	**4.25**	**64.63%**
1A	Actividades de quema del combustible	4,051.71	4,051.71	4,051.71	36.60	117.31	3,897.79	-	-	1 y 2	4.25	64.63%
1A1	Industrias de la energía	643.84	643.84	643.84	0.74	1.40	641.70	-	-	2	5.13	**10.27%**
1A1a	Producción de electricidad y calor como actividad principal	643.84	643.84	643.84	0.74	1.40	641.70	-	-	2	5.13	10.27%
1A2	Industrias de la manufactura y la construcción	33.61	33.61	33.61	2.05	2.57	28.98	-	-	2	15.75	**0.54%**
1A2e	Procesamiento de los alimentos, bebida y tabaco	5.81	5.81	5.81	2.04	2.56	1.20	-	-	2	18.39	0.09%
1A2m	Industria no especificada	27.80	27.80	27.80	0.01	0.01	27.78	-	-	2	5.00	0.44%
1A3	Transporte	3,053.06	3,053.06	3,053.06	11.10	110.40	2,931.56	-	-	1 y 3	5.44	**48.70%**
1A3a	Aviación civil	743.87	743.87	743.87	0.14	5.39	738.34	-	-	1	5.04	11.87%
1A3b	Transporte terrestre	2,299.81	2,299.81	2,299.81	10.93	104.94	2,183.93	-	-	3	7.03	36.69%
1A3d	Navegación marítima y fluvial	9.38	9.38	9.38	0.02	0.07	9.29	-	-	1	7.16	0.15%
1A4	Otros sectores (comercial, residencial y agricultura)	321.20	321.20	321.20	22.71	2.93	295.55	-	-	2	10.14	**5.12%**
1A4a	Comercial / Institucional	226.40	226.40	226.40	0.83	0.16	225.41	-	-	2	4.64	3.61%
1A4b	Residencial	94.11	94.11	94.11	21.88	2.77	69.46	-	-	2	32.75	1.50%
1A4c	Agricultura/Silvicultura/ Pesca /Piscifactorías	0.68	0.68	0.68	0.00	0.00	0.68	-	-	2	5.00	0.01%
1B	Emisiones fugitivas provenientes de la fabricación de combustibles	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000	0.001	-	-	2	0.00002	0.00001%
1B2	Petróleo y gas natural	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000	0.001	-	-	2	119.96	0.00001%
1B2a	Petróleo	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000	0.001	-	-	2	119.96	0.00001%
2	**PIUP**	**476.47**	**476.47**	**476.47**	**-**	**-**	**-**	**474.44**	**2.02**	**1 y 2**	**55.28**	**7.60%**

Clave IPCC	Nivel	Emisiones netas	Emisiones totales	Emisiones sin [3B]	CH_4	N_2O	CO_2	HFC	HCFC	Nivel	Incert.	Porcentaje
		$GgCO_2e$									±%	%
2F	Uso de productos sustitutos de las sustancias que agotan la capa de ozono	476.47	476.47	476.47	-	-	-	474.44	2.02	1 y 2	55.28	7.60%
2F1	Refrigeración y aire acondicionado	476.47	476.47	476.47	-	-	-	474.44	2.02	1 y 2	55.28	7.60%
3	**ASOUT**	**674.64**	**674.64**	**674.64**	**438.20**	**216.59**	**19.85**	**-**	**-**	**1**	**35.61**	**10.76%**
3A	Ganado	301.80	301.80	301.80	300.19	1.61	-	-	-	1	36.48	4.81%
3A1	Fermentación entérica	257.08	257.08	257.08	257.08	-	-	-	-	1	42.51	4.10%
3A2	Manejo de excretas	44.72	44.72	44.72	43.11	1.61	-	-	-	1	30.05	0.71%
3B	Tierras	-9,754.90	2,041.51	-	-	-	-9,754.90	-	-	1 y 2	113.33	
3B1	Tierras forestales	-11,667.92	-		-	-	-11,667.92	-	-	2	57,350.80	
3B1a	Tierras forestales que permanecen como tal	-11,648.71	-		-	-	-11,648.71	-	-	2	57,350.79	
3B1b	Tierras convertidas a tierras forestales	-19.21	-		-	-	-19.21	-	-	2	38.87	
3B2	Tierras de cultivo	475.00	510.92		-	-	475.00	-	-	1 y 2	30.95	
3B2a	Tierras de cultivo que permanecen como tal	-35.92	-		-	-	-35.92	-	-	1 y 2	-3.85	
3B2b	Tierras convertidas a tierras de cultivo	510.92	510.92		-	-	510.92	-	-	1 y 2	30.71	
3B3	Praderas	1,266.30	1,358.87		-	-	1,266.30	-	-	2	71.98	
3B3a	Praderas que permanecen como tal	-92.57	-		-	-	-92.57	-	-	2	-46.17	
3B3b	Tierras convertidas en praderas	1,358.87	1,358.87		-	-	1,358.87	-	-	2	55.23	
3B4	Humedales	10.11	10.11		-	-	10.11	-	-	2	35.35	
3B4b	Tierras convertidas en humedales	10.11	10.11		-	-	10.11	-	-	2	35.35	
3B5	Asentamientos	143.82	143.82		-	-	143.82	-	-	2	31.54	
3B5b	Tierras convertidas en asentamientos	143.82	143.82		-	-	143.82	-	-	2	31.54	
3B6	Otras tierras	17.79	17.79		-	-	17.79	-	-	2	25.37	
3B6b	Tierras convertidas en otras tierras	17.79	17.79		-	-	17.79	-	-	2	25.37	

Clave IPCC	Nivel	Emisiones netas	Emisiones totales	Emisiones sin [3B]	CH_4	N_2O	CO_2	HFC	HCFC	Nivel	Incert.	Porcentaje
		$GgCO_2e$									±%	%
3C	Fuentes agregadas y fuentes de emisión no CO_2 de la tierra	372.84	372.84	372.84	138.01	214.98	19.85	-	-	1	57.27	5.95%
3C1	Quema de biomasa	**177.67**	**177.67**	**177.67**	**138.01**	**39.67**	-	-	-	**1**	**116.93**	**2.83%**
3C1a	Emisiones de GEI por quemado de biomasa en tierras forestales	37.67	37.67	37.67	29.47	8.20	-	-	-	1	54.81	0.60%
3C1b	Emisiones de GEI por quemado de biomasa en tierras de cultivo	140.00	140.00	140.00	108.54	31.46	-	-	-	1	9.34	2.23%
3C1c	Emisiones de GEI por quemado de biomasa en praderas	-	-	-	-	-	-	-	-	1	NA	NA
3C3	Aplicación de urea	**19.85**	**19.85**	**19.85**	-	-	**19.85**	-	-	1	**50.00**	**0.32%**
3C4	Emisiones directas de N_2O de suelos gestionados	**92.49**	**92.49**	**92.49**	-	**92.49**	-	-	-	1	**40.66**	**1.48%**
3C5	Emisiones indirectas de N_2O de suelos gestionados	**75.05**	**75.05**	**75.05**	-	**75.05**	-	-	-	1	**40.17**	**1.20%**
3C6	Emisiones indirectas de N_2O por SME	**7.77**	**7.77**	**7.77**	-	**7.77**	-	-	-	1	**40.28**	**0.12%**
3D	Otros	-56.53	-	-	-	-	-56.53	-	-	1	41.11	
3D1	Productos de madera recolectada	-56.53	-	-	-	-	-56.53	-	-	1	41.11	
4	RESIDUOS	**1,066.18**	**1,066.18**	**1,066.18**	**985.89**	**71.18**	**9.11**	-	-	**1 y 2**	**40.86**	**17.01%**
4A	Eliminación de residuos sólidos	718.26	718.26	718.26	718.26	-	-	-	-	2	38.47	11.46%
4A1	Sitios gestionados	520.37	520.37	520.37	520.37	-	-	-	-	2	50.50	8.30%
4A2	Sitios no gestionados	181.04	181.04	181.04	181.04	-	-	-	-	2	46.84	2.89%
4A3	Sitios no categorizados	16.84	16.84	16.84	16.84	-	-	-	-	2	60.16	0.27%
4C	Incineración y quema abierta de residuos	20.37	20.37	20.37	9.24	2.02	9.11	-	-	1	199.30	0.32%
4C2	Quema abierta de residuos	20.37	20.37	20.37	9.24	2.02	9.11	-	-	1	199.30	0.32%
4D	Tratamiento y eliminación de aguas residuales	327.56	327.56	327.56	258.40	69.16	-	-	-	1 y 2	102.09	5.23%
AD1	Plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas	108.01	108.01	108.01	51.29	56.73	-	-	-	1 y 2	21.34	1.72%
AD2	Plantas de tratamiento de aguas residuales industriales	219.54	219.54	219.54	207.11	12.43	-	-	-	1 y 2	152.79	3.50%

Nota: NA (No aplica). Fuente: Elaboración propia.

SIN TEXTO

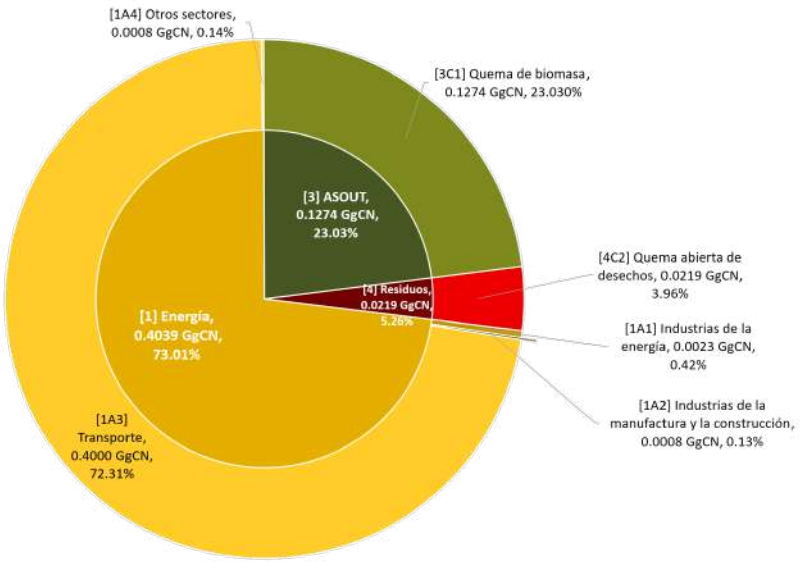
[42]

II.4 Descripción e interpretación de las tendencias para el carbono negro

El carbono negro (CN) es un contaminante o forzador climático de vida corta, al igual que el metano, el ozono troposférico y algunos compuestos fluorados como los hidrofluorocarbonos e hidroclorofluorocarbonos (SEMARNAT, 2018). Las emisiones de carbono negro provienen de la combustión incompleta de combustibles fósiles, materia orgánica y biocombustibles, y están categorizadas dentro de la materia particulada de diámetro menor a 2.5µm ($PM_{2.5}$). Sin embargo, el carbono negro puede variar en color y tamaño, pudiéndose subclasificar en partículas ultrafinas o submicrónicas (<0.1µm) (SMA, 2010). La estimación de emisiones de carbono negro es importante, tanto en el contexto del cambio climático como en el ámbito sanitario, por los problemas de salud que pude causar a la población.

En 2023 la emisión se contabilizó en 0.55 Gg, siendo la principal fuente de emisión la quema de combustibles en el sector transporte (72.31%) y en menor proporción la quema abierta de biomasa en tierras de cultivos (23.04%), la quema de residuos (3.96%), la generación de energía (0.42%), y el uso de combustibles en otros sectores (comercial/institucional, residencial y agricultura) (0.14%), y las industrias de la manufactura y la construcción (0.13%). La Figura II.3 y Tabla II.5, se presentan las emisiones del carbono negro en el año 2023, así como su contribución porcentual.

Figura II.3 Emisiones de Carbono Negro del estado de Quintana Roo, 2023



Notas: La gráfica presenta las emisiones de CN cuantificadas a nivel sector (círculo interno), y a nivel categoría (anillo exterior). Cada nivel suma la totalidad de las emisiones estimadas, y la tonalidad de color identifica las emisiones de cada categoría con el sector al que pertenecen. Fuente: Elaboración propia.

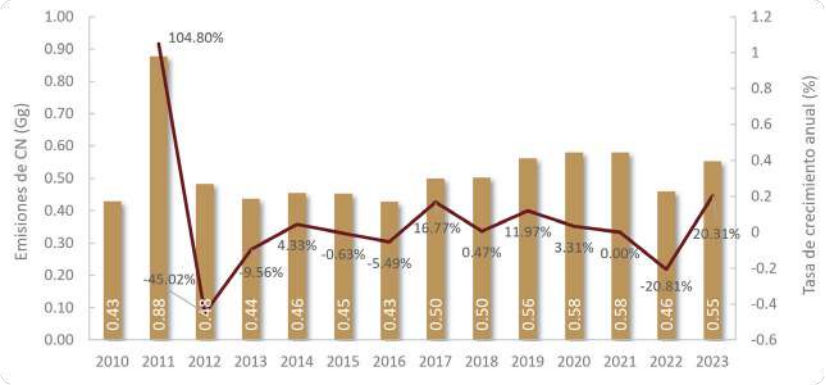
Tabla II.5 Emisiones de carbono negro del estado de Quintana Roo, 2023

Clave IPCC	Categoría	Emisiones (Gg CN)	Contribución porcentual
EMISIONES TOTALES		0.5332	100.00%
1	**ENERGÍA**	**0.4039**	**73.01%**
1A	**Actividades de quema del combustible**	**0.3818**	**71.80%**
1A1	Industrias de la energía	0.0023	0.42%
1A2	Industrias de la manufactura y la construcción	0.0008	0.14%
1A3	Transporte	0.4000	72.31%
1A4	Otros sectores (comercial, residencial y agricultura)	0.0008	0.14%
3	**ASOUT**	**0.1274**	**23.03%**
3C1	Quema de biomasa	0.1274	24.10%
3C1a	Emisiones por quema de biomasa en tierras forestales	0.0520	9.40%
3C1b	Emisiones por quema de biomasa en tierras de cultivo	0.0751	13.58%
3C1c	Emisiones por quema de biomasa en tierras praderas	0.0003	0.06%
4	**RESIDUOS**	**0.0219**	**3.96%**
4C	Incineración y quema abierta de residuos	0.0219	3.96%
4C2	Quema abierta de desechos	0.0219	3.96%

Fuente: Elaboración propia.

El comportamiento tendencial de las emisiones de carbono negro, durante el periodo de 2010 al 2023, observó un incremento del 29.01%. Los efectos por COVID-19 no se ven reflejados en la tendencia de las emisiones de CN debido a los incendios forestales reportados en 2019 y 2020, que contribuyeron a un incremento en las emisiones de CN por quema de biomasa (Figura II.4).

Figura II.4 Tendencia de las emisiones de CN del estado de Quintana Roo, 2010-2023



Fuente: Elaboración propia.

III [1] Energía

III.1 Visión general del sector

El sector [1] Energía contempla las actividades de producción, transformación, manejo y consumo de productos energéticos. Sus emisiones se deben a la quema de combustibles fósiles (gasolina, diésel, gas licuado de petróleo (gas LP), gas natural (GN), combustóleo, petróleo, etcétera) y biomasa (madera, residuos agrícolas, desechos, etcétera) para aprovechar su contenido energético y transformarlo en energía eléctrica o térmica. Este aprovechamiento se lleva a cabo en fuentes fijas, como son las centrales eléctricas, hornos, calderas, etcétera, y en fuentes móviles como la aviación civil, el transporte terrestre, transporte marítimo y ferroviario.

Las emisiones dependen del contenido de carbono de cada combustible, los principales GEI contabilizados en este sector son: dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O). No se incluyen las emisiones provocadas por el consumo eléctrico de cada sector ya que éstas se contemplan en las emisiones por generación de electricidad y su inclusión implica una doble contabilidad. Tampoco se suman las emisiones asociadas a las fuentes renovables de energía diferentes a la biomasa, como solo la solar fotovoltaica o eólica, se considera que no generan emisiones de GEI directas durante su etapa operativa. Las emisiones de CO_2 generadas durante la quema de biomasa para la obtención de energía son catalogadas como de origen biogénico y no se suman al total del inventario, pero si deben reportarse y las emisiones de CH_4 y N_2O si se deben incluir en la cuantificación del inventario.

En el estado de Quintana Roo ocurren emisiones asociadas a las categorías [1A] Actividades de quema de combustible y [1B] Emisiones fugitivas que se generan por el uso de combustibles

fósiles; no se incluyen las emisiones por el transporte y almacenamiento de CO_2 [1C] por ser actividades que no se llevan a cabo en el país.

Dentro de la categoría [1A], se reporta la subcategoría [1A1] Industrias de la energía, en la fuente [1A1a] Generación de electricidad y calor como actividad principal.

Para la subcategoría [1A2] Industrias manufactureras y de la construcción se cuantifican emisiones de las siguientes fuentes: [1A2e] procesamiento de los alimentos, bebida y tabaco e [1A2m] industria no especificada: manufacturas.

Respecto a la subcategoría [1A3] Transporte se estiman las emisiones producidas durante la combustión en fuentes móviles, incluyendo las emisiones de la aviación civil [1A3a], [1A3b] transporte terrestre, y de la navegación marítima y fluvial [1A3d].

Las emisiones de la categoría [1A4] que se consideran en este inventario son: [1A4a] actividades comerciales / institucionales, [1A4b] residenciales y [1A4c] agricultura / silvicultura / pesca / piscifactorías.

En categoría [1B], que cuantifica las emisiones fugitivas provenientes de la fabricación de combustibles, se estimaron las emisiones por quema en el transporte de gas LP [1B2a].

Las emisiones del sector [1] Energía en 2023 se estimaron en 4,051.71 $GgCO_2e$, lo que representó el 64.63% de las emisiones totales de GEI (sin absorción). El sector presenta un incremento en sus emisiones con una TMCA de 2.81% del 2010 al 2023, siendo el consumo de combustibles fósiles para la generación de energía el que define el comportamiento histórico.

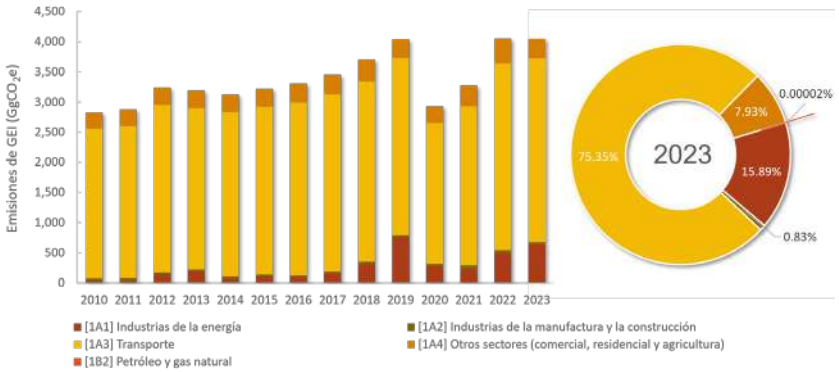
Las siguientes fuentes constituyen categorías principales en el IEEGYCEI de Quintana Roo:

- 1A3b Transporte terrestre (CO_2)
- 1A3a Aviación civil (CO_2)
- 1A1ai Generación de electricidad (CO_2)
- 1A4a Otros sectores (comercial / institucional) (CO_2)

En la Figura III.1, se presenta la evolución de las emisiones de las subcategorías del sector Energía, así como su contribución en el año 2023. En cuanto al ritmo de crecimiento, destacan las emisiones de la subcategoría [1A1] Industrias de la energía, que aumentaron anualmente en 23.05% entre 2010 y 2023. Por el contrario, las emisiones de la subcategoría [1A2] Industrias de la manufactura y la construcción, se redujeron en todo el periodo inventariado en -4.47%.

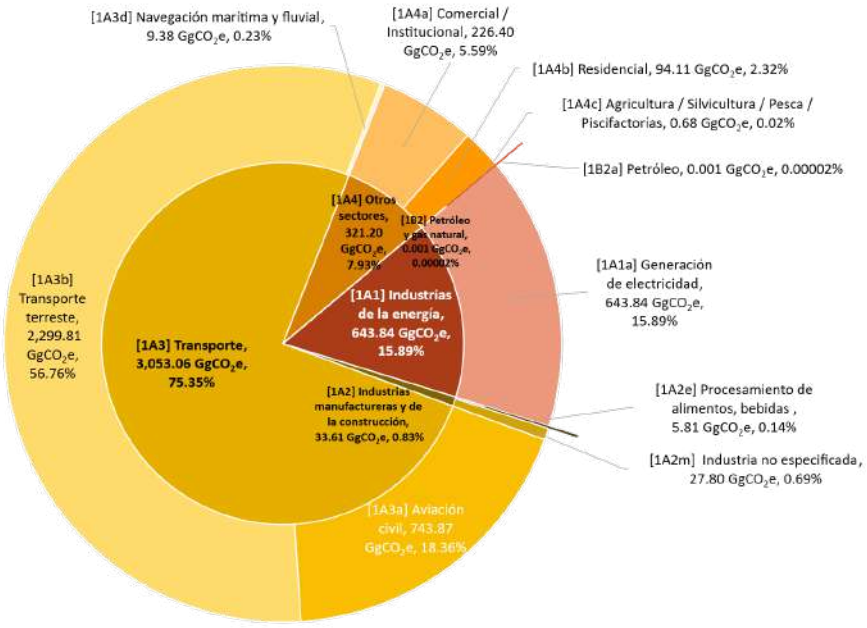
En la Figura III.2 se presenta la contribución para el año 2023 por subcategoría y fuentes cuantificadas. Se observa la alta participación de las emisiones de la subcategoría [1A3] Transporte, que representan el 75.35% de las emisiones del sector Energía, y dentro de ésta, son las emisiones de la fuente [1A3b] las más relevantes con el 56.76% de las emisiones del sector.

Figura III.1 Evolución de las emisiones de GEI del sector [1] Energía por categoría ($GgCO_2e$), 2010-2023



Fuente: Elaboración propia.

Figura III.2 Emisiones de GEI del Sector [1] Energía ($GgCO_2e$) por subcategoría, 2023



Fuente: Elaboración propia.

III.2 [1A1] Industrias de la energía

III.2.1 Descripción de la categoría

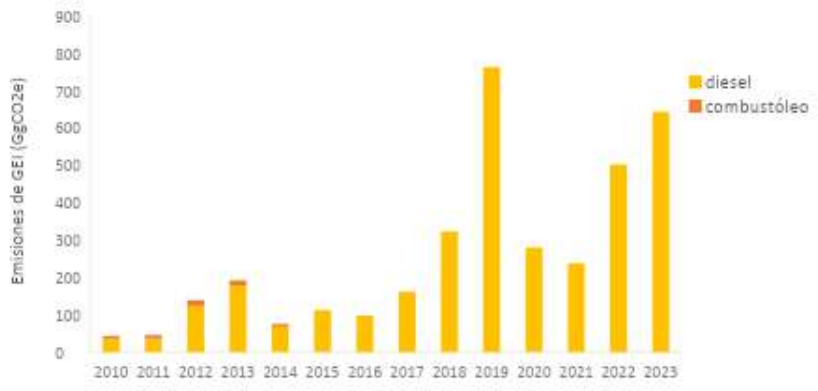
Se describen a continuación las emisiones de GEI derivadas del aprovechamiento energético de combustibles para la categoría [1A1] Industrias de la energía. Como parte de la Península de Yucatán, el estado de Quintana Roo se encuentra en la Gerencia de Control Regional Peninsular (GCR Peninsular), que es la zona con el mayor déficit de generación eléctrica del país, puesto que cerca del 50% de la electricidad que consume depende principalmente de la GCR Oriental. A un crecimiento esperado entre 2024 y 2037 en el consumo neto y en la demanda máxima integrada de 3.6% y 4% medio anual, respectivamente (SENER, 2024), se suma la congestión en las redes de transmisión, el costo de generación eléctrica más alto del país y los cortes eléctricos más frecuentes (Bracho, 2021).

Quintana Roo cuenta con dos centrales de generación eléctrica de turbogás (CTG) con una capacidad instalada de 364 MW en Cancún y Chankanaab, así como una central de combustión

interna (CCI) de 3.2 MW (SEMARNAT, 2024) y de una turbina eólica de 2 MW[2], las que generaron 451.3 GWh en 2022, aproximadamente el 7.8% de la demanda estatal de ese año (5,771,8 GWh). Más del 90% de la energía restante llegó desde o a través del estado de Yucatán. Además de ser insuficientes, la eficiencia de las centrales de turbogás y combustión interna están entre las menos eficientes, lo que se agrava con el hecho de que funcionan a base de diésel, un combustible más caro y contaminante que el gas natural, el cual no está disponible debido a la falta de infraestructura de suministro en el estado.

Por ello, se ha planteado la construcción de una central de ciclo combinado (CCC) que trabajaría con el gas natural suministrado por la nueva red de ductos en construcción en la península (Cuxtal 1 en Quintana Roo). Existen proyectos de mejora del sistema eléctrico como la ampliación de la red de transmisión que se están ejecutando en toda la Península[3] junto con la construcción de dos plantas eléctricas en el vecino estado de Yucatán. Las centrales eléctricas incorporan la electricidad generada a la red eléctrica y todas 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 el IPCC (2006b, pp. [V2, C2] 2.27), se reportan en la categoría en la que se generan ([1A2] y [1A4]).

Figura III.3 Emisiones de la categoría [1A1] por tipo de combustible (Gg CO_2e)



Fuente: Elaboración propia con información de SEMARNAT (2024), SENER (2024a) y CRE (2022).

La quema de combustibles de la subcategoría [1A1a] Producción de electricidad en Quintana Roo durante 2023 sumó un total de 643.84 GgCO_2e, lo que representa 10.27% de las emisiones totales del estado y el 15.89% de las emisiones del sector Energía. La TMCA en las emisiones entre 2010

[2] De acuerdo con el PRODESEN (SENER, 2024), la capacidad instalada es de 284 MW en turbogás, 10 MW en combustión interna y 2 MW en eólica.

[3] Quintana Roo incorporará los proyectos P18-PE2 y P20-PE3 Aumento de capacidad de transmisión para atender el crecimiento de la demanda de las zonas Cancún y Riviera Maya (Fases I y II), P15-PE1 Línea de Transmisión Corriente Alterna Submarina Playacar-Chankanaab II, que sumarán 1,090.0 MVA de capacidad de transformación, los proyectos para aumentar la red general de distribución (RGD) D24-PE1 Captación Banco y D24-PE2 Quetzal Banco , así como la reciente conexión de la isla de Holbox por medio de un cable submarino (SENER, 2024).

y 2023 observa una muy fuerte tendencia al alza de 23.05%. Aunque su evolución ha sido variable, las emisiones muestran un aumento en el tiempo con una generación atípica en 2019 debido a un aumento en la generación eléctrica, cuando un desabasto de gas natural en la Península, limitó la posibilidad de enviar energía desde el estado de Yucatán y obligó a la CFE a operar las plantas locales para cubrir la demanda[4].

Si bien entre 2020 y 2021 se normalizó el consumo de diesel, explicable en parte por el confinamiento de la pandemia por COVID-19, se mantuvo en niveles de consumo mayores a los anteriores a 2017. Para 2022 y 2023, las fuertes olas de calor aunadas al desabasto crónico de gas hacia la Península, así como los problemas sistémicos de falta de infraestructura de generación y de transmisión, incapaces de compensar la creciente demanda del estado, y la consecuente saturación de la red, explican el aumento del uso de diesel en las plantas locales de turbogás[5]. Por ello, es claro el aumento de las emisiones debidas exclusivamente a este combustible (Figura III.3).

Por otro lado, se observa una disminución en la intensidad de carbono de la matriz eléctrica del estado, es decir, se producen menos emisiones por cada MWh generado: de 1,336 kg de CO_2e por MWh en 2010 a 1,114 kg/MWh en 2023, una reducción de más de 16% debida, entre varias otras mejoras tecnológicas, a la descontinuación del combustóleo desde 2014. Lo anterior es particularmente importante ya que, como se mencionó anteriormente, se espera que la demanda y el consumo en la GCR Peninsular aumente durante los próximos quince años a un ritmo de por lo menos 4% anual (SENER, 2024). Finalmente, es importante mencionar que sólo se contabilizaron las emisiones resultantes de la quema de combustibles para la generación eléctrica que tuvo lugar dentro del territorio del estado.

III.2.2 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_2 al utilizar FE propios del país y un método nivel 1 para las emisiones de CH_4 y N_2O. Para el cálculo de las emisiones se utilizó la ecuación 2.1, vol. 2, cap. 2 de las Directrices del IPCC (2006b).

III.2.3 Datos de actividad (DA)

Los datos de actividad de esta categoría se obtuvieron principalmente de la Comisión Reguladora de Energía (CRE, 2022), del Sistema de Información Energética (SIE) de la Secretaría de Energía (SENER, 2024a); y de las Cédulas de Operación Anual (COA) de las centrales eléctricas que operan en el estado de Quintana Roo, las cuales son generadas por la Secretaría de Medio

[4] Diario de Yucatán. (2019, julio 6). El uso del diésel para electricidad subiría las tarifas. https://www.yucatan.com.mx/merida/2019/07/06/el-uso-del-diesel-para-electricidad-subiria-las-tarifas.html

[5] El Sol de México. (2023, mayo 8). Ola de calor sobrecarga red eléctrica: 12 estados sufren apagones por aumento de consumo. https://oem.com.mx/elsoldemexico/mexico/ola-de-calor-sobrecarga-red-electrica-12-estados-sufren-apagones-por-aumento-de-consumo-16702177

Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT, 2024); todos los cuales registran los datos de consumo de combustibles para la generación eléctrica. Destaca que el uso de diésel haya tenido un ritmo de crecimiento medio anual de 25.17% (Tabla III.1).

Tabla III.1 Consumo energético de los principales combustibles para [1A1a] (PJ)

Combustible	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Diésel	0.48	0.48	1.69	2.44	0.93	1.54	1.33	2.21	4.42	10.	3.84	3.25	6.88	8.81
Combustóleo	0.11	0.13	0.20	0.17	0.09	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fuente: Elaboración propia con información de SEMARNAT (2024), SENER (2024a) y CRE (2022).

III.2.4 Factores de Emisión (FE)

Los FE para CH_4 y N_2O (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_2) 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 III.2. Este método es consistente con el Tier 2 de las ya citadas Directrices.

Tabla III.2 Principales factores de emisión de CO_2 de la categoría [1A1] (kg/TJ)

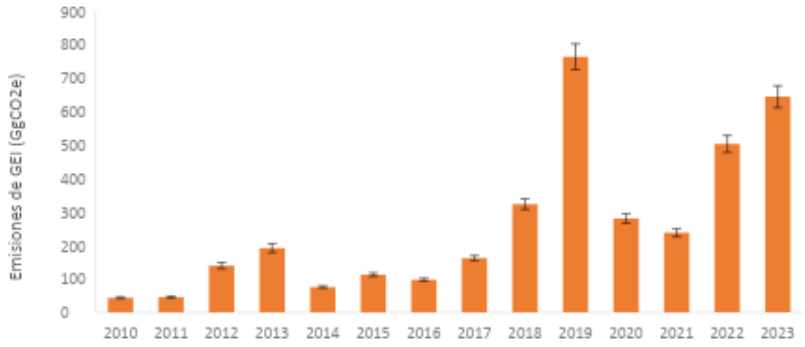
Combustible	FE de CO_2
Diésel	72,851
Combustóleo	79,450

Fuente: INECC-IMP (2014).

III.2.5 Incertidumbres y coherencia de las series temporales

Se calculó la incertidumbre mediante el “Método 1: Propagación del error”, vol. 1. Cap. 3 de las Directrices del IPCC por categorías, tendencias y GEI (IPCC, 2006a), entre el año base (2010) y el último año de reporte (2023). La incertidumbre de los FE se toma de las Directrices del IPCC (2006b), vol. 2, cap. 2, pág. 38. Para los FE de CO_2 propios del país que corresponden a una metodología Tier 2, los rangos de incertidumbre corresponden a los estimados por el INECC-IMP (2014).

Figura III.4 Incertidumbres de la categoría [1A1] (Gg CO_2e)



Fuente: Elaboración propia con información de SEMARNAT (2024), SENER (2024a) y CRE (2022).

La incertidumbre media resultó de ±5.13%, con series que se consideran coherentes en el tiempo al emplearse la misma metodología, y completa al tener la cobertura geográfica estatal (Figura III.4).

III.2.6 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 (2022), el SIE (SENER, 204a) y las COA (SEMARNAT, 2021) con datos del Balance Nacional de Energía (SENER, 2024b).

III.2.7 Mejoras previstas específicas de cada categoría

Se identifican las siguientes áreas de oportunidad en la cuantificación de emisiones:

- Conciliación de los consumos de combustibles y generación de electricidad que operan en el estado de Quintana Roo entre las diversas fuentes (COA, SIE, CRE).
- Registro estatal de los consumos de combustible de las centrales eléctricas y otras industrias energéticas privadas en una base de datos estatal.
- Confirmación de la información de 2023 en los próximos meses.

III.3 [1A2] Industrias manufactureras y de la construcción

III.3.1 Descripción de la categoría

El sector industrial incluye los procesos tanto de generación de energía como de calor para usarse dentro de las instalaciones industriales (incluida la autogeneración de electricidad). No fue posible, sin embargo, desagregar la información para todas las subcategorías presentes en el estado (diez

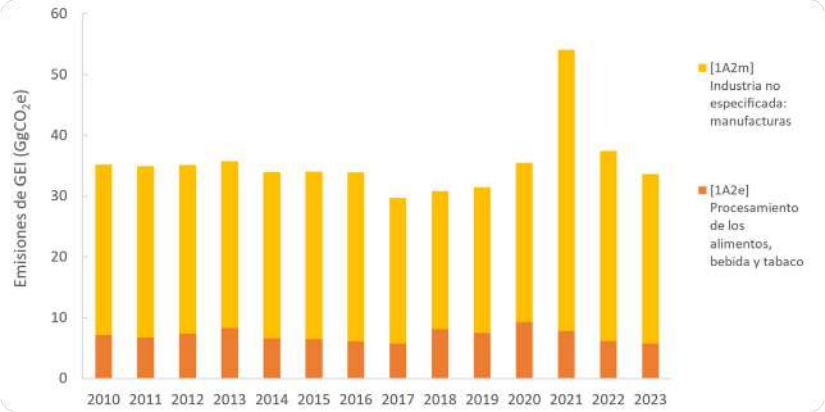
subcategorías de [1A2] de acuerdo con la aportación al PIB), debido a su baja actividad en general. Sólo se pudo identificar una fuerte presencia de [1A2e] Procesamiento de alimentos, bebidas y tabaco, y el resto se clasificó como [1A2m] Industria no especificada. Destaca que [1A2k] Construcción, a pesar de aportar una media de 80% al PIB de la industria del estado, no reporta consumos de combustible.

En 2023, la categoría [1A2] Industrias manufactureras y de la construcción registró emisiones totales por 33.61 $GgCO_2e$, con una tasa media de crecimiento anual de -0.35% respecto al año base 2010. Si bien el crecimiento ha ido ligeramente a la baja, durante 2020 no hubo una caída apreciable por los efectos de la pandemia de COVID-19.

No obstante, en 2021 se observa un alza inusual por el uso de gas LP (CRE, 2022), como se muestra en la Figura III.5, debido a que la CRE y Profeco, a través de la regulación del precio máximo del precio de gas LP en Cancún, redujeron el precio de $15.20 a $11.84 por litro en promedio), lo que generó un crecimiento inducido de la demanda, principalmente entre pequeñas industrias y servicios[6].

En 2023, el 17.3% de las emisiones correspondió a [1A2e] Procesamiento de los alimentos, bebida y tabaco, mientras que el resto (82.7%) no pudo ser identificado.

Figura III.5 Emisiones de la categoría [1A2] por principales categorías ($GgCO_2e$)



Fuente: Elaboración propia con información de SEMARNAT (2024), SENER (2024a) y CRE (2022).

[6] Quadratín Quintana Roo. (2021, agosto 5). *Se dispara venta de gas LP en Quintana Roo tras baja de precios*. https://quintanaroo.quadratin.com.mx/se-dispara-venta-de-gas-lp-en-quintana-roo-tras-baja-de-precios/

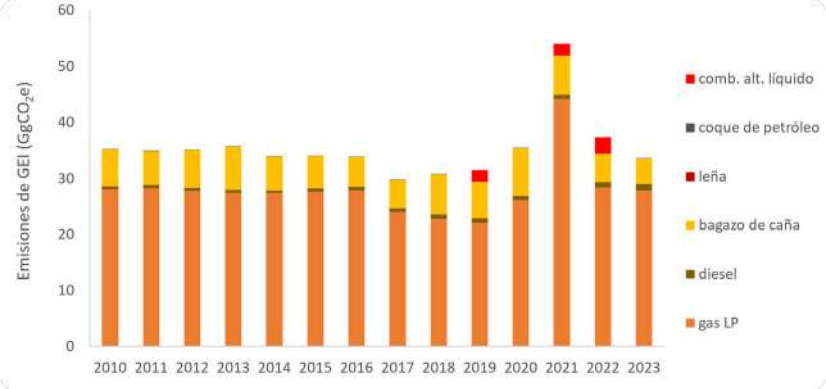
III.3.2 Metodología

Se utilizó la metodología de las Directrices del IPCC 2006 con un enfoque metodológico de nivel 2 (Tier 2) para la estimación de las emisiones de CO_2, mientras que para la estimación de las emisiones de CH_4 y N_2O 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).

III.3.3 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 Quintana Roo de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT, 2024), así como las Cédulas de Desempeño Ambiental de la Secretaría de Ecología y Medio Ambiente de Quintana Roo (SEMA, 2024); de la Comisión Reguladora de Energía (CRE, 2022), del Sistema de Información Energética (SIE) de la Secretaría de Energía (SENER, 2024a); y con información del Producto Interno Bruto Estatal por actividad económica y el Índice de Actividad Industrial por estado (INEGI, 2023a).

Figura III.6 Emisiones de la categoría [1A2] por combustible ($GgCO_2e$)

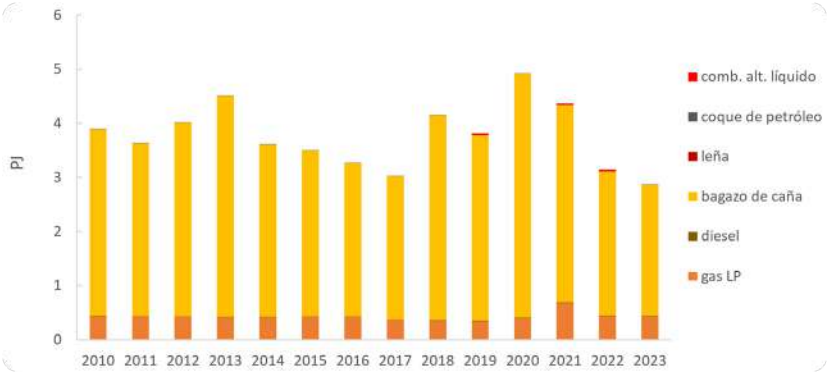


Fuente: Elaboración propia con información de SEMARNAT (2024), SEMA (2024), SENER (2024a) y CRE (2022).

Las emisiones de CO_2e en 2023 provinieron principalmente del gas LP (82.86%) y del bagazo de caña (13.65%), los cuales han tendido a la baja a diferencia del diésel cuyas emisiones han crecido 26%; el resto de los combustibles tiene un uso esporádico o muy pequeño (Figura III.6). Por otro lado, cuando se analiza por consumo energético (PJ), en el mismo año el bagazo de caña representó el 84.45% de la energía, mientras que el gas LP fue sólo el 14.95%, como se muestra en la Figura III.7. Este contraste se debe, en principio, a la variación del contenido energético por combustible, pero en este caso particular también obedece al uso intensivo del bagazo de caña en ingenios azucareros, el cual, por su origen biogénico, no se contabiliza en las emisiones de CO_2 que genera su quema (aunque con base en las Directrices del IPCC sí aporta a la cuantificación de

emisiones de CH_4 y N_2O). De contabilizarse, las emisiones de [1A2] habrían sido ocho veces mayores.

Figura III.7 Consumo energético de la categoría [1A2] por combustible (PJ)



Fuente: Elaboración propia con información de SEMARNAT (2024), SEMA (2024), SENER (2024a) y CRE (2022).

III.3.4 Factores de emisión (FE)

Los FE para estimar las emisiones de CO_2 son específicos del país (INECC-IMP, 2014), los cuales se muestran en la Tabla III.3. Por su parte, los factores de emisión de CH_4 y N_2O (así como todos los FE de los combustibles que no aparecen en la Tabla II.3), se tomaron de los valores por defecto de la tabla 2.3, vol. 2, pág. 2.18 de las Directrices del IPCC (2006b).

Tabla III.3 Principales factores de emisión de CO_2 empleados en la categoría [1A2] (kg/TJ)

Combustible	FE de CO_2
Diésel	72,851
Gas LP	65,083
Bagazo de caña	100,000
Leña	103,237

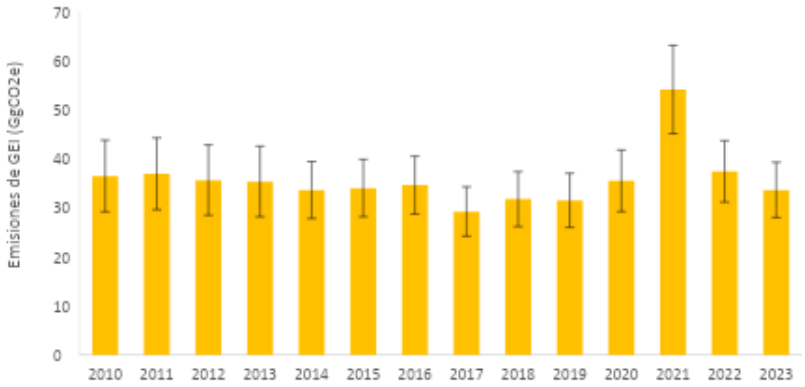
Fuente: INECC-IMP (2014).

III.3.5 Incertidumbres y coherencia de las series temporales

Se estimó la incertidumbre mediante el "Método 1: Propagación del error", del vol. 1, cap. 3 de las Directrices del IPCC (2006b) por categorías, tendencias y GEI, entre el año base (2010) y el último año de reporte (2023). La incertidumbre de los FE se toma de las Directrices del IPCC (2006b), vol. 2, cap. 2. Para los FE de CO_2 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 ±15.75%, y las series se consideran coherentes en el tiempo al

emplearse la misma metodología, así como completa al tener la cobertura geográfica estatal (Figura III.8).

Figura III.8 Incertidumbres de la categoría [1A2]



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

III.3.6 QA/QC de la categoría y verificación

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

III.3.7 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 Quintana Roo, particularmente los de la construcción.
- Conciliación de los datos de las bases de datos desagregadas de la SENER con las COA federales y las CDA estatales.
- Confirmación de los datos para el año 2023 en los próximos meses.

III.4 [1A3] Transporte

III.4.1 Descripción de la categoría

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 marítimo. Los gases estimados son CO_2, CH_4 y N_2O, 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, subcategoría [1A3], son las de mayor contribución al sector Energía, contabilizando 2,476.67 Gg CO_2e en 2010 y para 2023 un total de 3,053.06 Gg CO_2e, lo que representa un incremento al ritmo de 1.62% anual. La evolución de las emisiones a lo largo del periodo se muestra en la Figura III.9, resaltando la fuente [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 de la entidad.

La fuente transporte terrestre [1A3b] se clasifica por su contribución al inventario como una categoría clave (véase Anexo 1 Categorías Clave).

Figura III.9 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 III.4, cabe señalar que para el año de reporte 2023, las emisiones provenientes de vehículos a gasolina y diésel se estimaron con el modelo MOVES México 2014 versión a (EPA,2024) mientras que las provenientes de vehículos a gas LP se estimaron mediante el Nivel 1 debido a que el modelo no las considera.

Tabla III.4 Emisiones de GEI por tipo de combustible para el transporte terrestre en Quintana Roo

Combustible	CO_2 (Gg)	CH_4 (Gg)	N_2O (Gg)	CH_4 ($GgCO_2e$)	N_2O ($GgCO_2e$)	CO_2 ($GgCO_2e$)
Gasolinas	1,761.17	0.36	0.40	10.06	104.68	1,875.91
Diésel	391.03	9.66E-04	8.95E-04	0.03	0.24	391.30
Gas LP	31.73	0.03	9.71E-05	0.843	0.03	32.60
Total	2,183.93	0.39	0.40	10.93	104.94	2,299.81

Fuente: Elaboración propia.

Las emisiones obtenidas de CO_2e por medio de la modelación tienen una diferencia de 2.03% respecto a las obtenidas con los consumos de combustibles (metodología del nivel 1). En la Tabla III.5, se muestra el desglose de las emisiones por tipo de vehículo y combustible.

Tabla III.5 Emisiones de GEI por tipo de vehículo y combustibles en Quintana Roo

Tipo de vehículo	Combustible	CO_2 (Gg)	CH_4 (Gg)	N_2O (Gg)	CH_4 ($GgCO_2e$)	N_2O ($GgCO_2$ e)	CO_2 ($GgCO_2e$)
Motocicletas	Gasolina	416.60	0.06	6.66E-03	1.56	1.77	419.92
Autos particulares	Gasolina	558.14	0.16	0.15	4.56	40.66	603.36
	Diésel	1.01	1.59E-05	2.38E-06	4.46E-04	6.31E-04	1.01
Taxis	Gasolina	180.78	2.35E-02	1.86E-02	0.66	4.94	186.38
	Diésel	3.68	2.69E-05	5.73E-06	7.52E-04	1.52E-03	3.69
Camionetas de pasajeros (Combis/ vagonetas)	Gasolina	193.34	0.04	0.09	0.98	23.45	217.77
	Diésel	1.91	1.05E-05	1.16E-05	2.93E-04	0.00	1.91
Transporte público ligero (Combis/ vagonetas)	Gasolina	18.45	2.01E-03	4.52E-03	0.06	1.20	19.70
	Diésel	0.93	4.01E-06	4.58E-06	1.12E-04	1.21E-03	0.93
Pick Up	Gasolina	226.66	0.05	0.09	1.33	24.96	252.95
	Diésel	8.05	5.13E-05	4.26E-05	1.44E-03	0.01	8.06
Vehículos ≤ 3.8 t.	Gasolina	75.80	0.01	0.02	0.36	6.17	82.33
	Diésel	13.05	6.33E-05	5.84E-05	1.77E-03	0.02	13.06
Microbuses/ Minibuses	Gasolina	5.97	6.62E-04	7.58E-04	1.85E-02	0.20	6.19
	Diésel	0.36	2.29E-06	1.61E-06	6.41E-05	4.27E-04	0.36
Autobuses urbanos	Gasolina	9.87	2.77E-03	3.65E-04	0.08	0.10	10.04
	Diésel	67.35	1.63E-04	1.46E-04	0.00	0.04	67.40
Autobuses particulares	Gasolina	2.65	8.12E-04	1.24E-04	0.02	0.03	2.71
	Diésel	10.73	2.45E-05	2.49E-05	0.00	0.01	10.73
Autobuses federales	Diésel	35.51	7.29E-05	7.67E-05	2.04E-03	0.02	35.53
Vehículos > 3.8 t. locales	Gasolina	48.71	0.01	3.97E-03	0.36	1.05	50.12
	Diésel	107.14	3.07E-04	3.02E-04	0.01	0.08	107.23
Vehículos > 3.8 t. federales	Gasolina	1.26	2.52E-04	5.82E-05	0.01	0.02	1.28
	Diésel	9.75	2.97E-05	2.57E-05	8.32E-04	0.01	9.76
Tractocamiones locales	Gasolina	22.93	2.89E-03	5.66E-04	8.08E-02	1.50E-01	23.16
	Diésel	49.86	8.71E-05	7.88E-05	2.44E-03	0.02	49.88
Tractocamiones federales	Diésel	81.71	1.07E-04	1.14E-04	0.00	0.03	81.75
Vehículos a gas LP		31.73	0.03	0.00	0.84	0.03	32.60
Total		2,183.93	0.39	0.40	10.93	104.94	2,299.81

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla III.6 y Tabla III.7, se desglosan las emisiones de acuerdo con 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 bajo la fuente [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 III.6 Emisiones de GEI de la fuente Transporte [1A3b]

Código IPCC	Subcategoría	CO_2 (Gg)	CH_4 (Gg)	N_2O (Gg)	CH_4 ($GgCO_2e$)	N_2O ($GgCO_2e$)	CO_2 ($GgCO_2e$)
1A3b	Transporte terrestre	2,183.93	0.39	0.40	10.93	104.94	2,299.81
1A3bi	Automóviles	958.25	0.22	0.27	6.26	70.24	1,034.75
1A3bii	Camiones para servicio ligero	323.55	0.06	0.12	1.69	31.16	356.40
1A3biii	Camiones para servicio pesado y autobuses	453.79	0.02	0.01	0.59	1.75	456.14
1A3biv	Motocicletas	416.60	0.06	0.01	1.56	1.77	419.92
	Vehículos a gas LP	31.73	0.03	9.71E-05	0.84	0.03	32.60

Fuente: Elaboración propia.

Tabla III.7 Emisiones GEI por tipo de combustible de la fuente Transporte [1A3b]

Código IPCC	Fuente	Combustible	CO_2 (Gg)	CH_4 (Gg)	N_2O (Gg)	CH_4 ($GgCO_2e$)	N_2O ($GgCO_2e$)	CO_2 ($GgCO_2e$)
1A3b	Transporte terrestre	Gasolina	1,761.17	0.36	0.40	10.06	104.68	1,875.91
		Diésel	391.03	9.66E-04	8.95E-04	0.03	0.24	391.30
		Gas LP	31.73	0.03	9.71E-05	0.84	0.03	32.60
1A3bi	Automóvil	Gasolina	950.71	0.22	0.27	6.25	70.24	1,027.21
		Diésel	7.53	5.73E-05	2.43E-05	1.60E-03	0.01	7.54
1A3bii	Camión para servicio ligero	Gasolina	302.46	0.06	0.12	1.68	31.13	335.28
		Diésel	21.09	1.15E-04	1.01E-04	3.21E-03	0.03	21.12
1A3biii	Camión para servicio pesado y autobús	Gasolina	91.39	0.02	5.84E-03	0.57	1.55	93.50
		Diésel	362.41	0.00	7.70E-04	0.02	0.20	362.64
1A3biv	Motocicleta	Gasolina	416.60	0.06	0.01	1.56	1.77	419.92

Fuente: Elaboración propia.

III.4.2 Metodología

La metodología aplicada proviene de las Directrices (IPCC, 2006b). El enfoque metodológico usado para estimar las emisiones de CO_2 para aviación civil, transporte terrestre y transporte marítimo 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. La estimación de las emisiones de CH_4 y N_2O 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 y la Figura 3.5.1 para el transporte marítimo del cap. 3, vol. 2 de las Directrices.

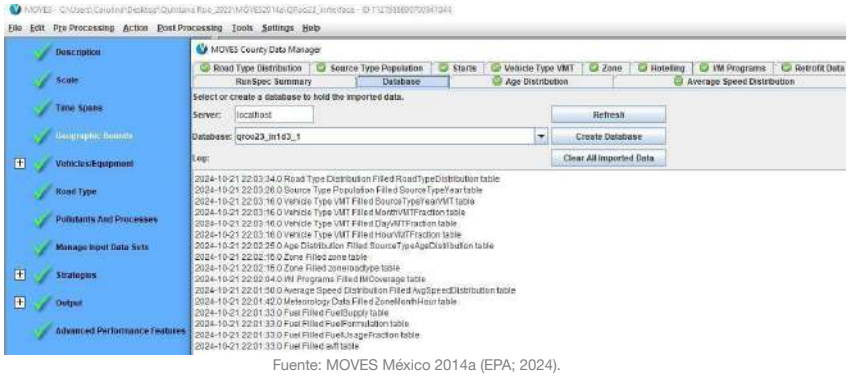
Adicionalmente, las emisiones generadas por los vehículos a gasolina y diésel en circulación del año base 2023 se calcularon con el software MOVES-México, adaptación del Simulador de

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 III.10, 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 estimaron los siguientes contaminantes: CO_2, N_2O, CH_4, $PM_{2.5}$ y Carbono Negro.

Figura III.10 Ejemplo de Información de entrada en el modelo MOVES-México

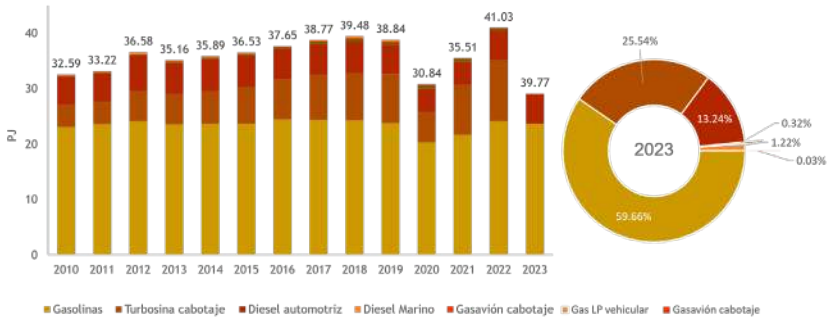


Fuente: MOVES México 2014a (EPA; 2024).

III.4.3 Datos de actividad (DA)

Para esta categoría los DA se centran en el consumo de combustibles en los distintos modos de transporte que circulan en el estado (transporte por carretera, aéreo y marítimo), obtenidos de la Secretaría de Energía (SENER,2024) y Petróleos Mexicanos (PEMEX, 2024a) vía el Sistema de Información Energética, la Comisión Reguladora de Energía (CRE, 2024), Aeropuertos y Servicios Auxiliares (ASA, 2024).

Figura III.11 Consumo de combustibles del sector transporte [1A3] (PJ)



Fuente: Elaboración propia.

La Figura III.11 y la Tabla III.8, muestran el consumo de combustibles en el sector transporte para cada año del periodo inventariado y la evolución relativa.

Tabla III.8 Consumo de combustibles por modo de transporte (PJ)

Año	[1A3a] Aviación civil (PJ)		[1A3b] Transporte terrestre (PJ)			[1A3d] Marítimo (PJ)
	Turbosina	Gasavión	Gasolinas	Diésel automotriz	Gas LP	Diésel
2010	4.06	1.55E-02	23.09	5.07	0.15	0.21
2011	4.03	1.62E-02	23.61	5.20	0.15	0.22
2012	5.38	1.56E-02	24.13	6.58	0.19	0.30
2013	5.46	1.29E-02	23.57	5.64	0.29	0.18
2014	5.92	1.39E-02	23.70	5.76	0.30	0.20
2015	6.58	1.58E-02	23.73	5.69	0.33	0.19
2016	7.30	1.27E-02	24.45	5.47	0.30	0.12
2017	8.13	1.15E-02	24.37	5.53	0.55	0.18
2018	8.59	1.21E-02	24.31	5.59	0.64	0.33
2019	8.83	1.15E-02	23.81	5.29	0.64	0.27
2020	5.47	8.60E-03	20.29	4.23	0.79	0.05
2021	9.08	1.20E-02	21.68	4.09	0.60	0.06
2022	10.99	1.10E-02	24.14	5.34	0.50	0.05
2023	10.16	1.13E-02	23.72	5.27	0.49	0.13

Fuente: Elaboración propia.

En el ámbito de la aviación civil, los datos sobre el consumo de combustibles, como la turbosina y el gasavión, fueron proporcionados por ASA (2024) y GAFSACOMM (2024) mediante solicitud directa. Para el aeropuerto internacional de Tulum Felipe Carrillo Puerto.

En el transporte terrestre, el consumo de gasolinas (regular y premium) y diésel del 2010 al 2014 son datos proporcionados por PEMEX Refinación (2024), y de los años 2015 al 2023 fueron proporcionados por la CRE (2024); para conciliar ambas series, se realizaron ajustes con información del Balance Nacional de Energía y la Oferta Nacional, obtenidas de PEMEX vía el Sistema de Información Energética (PEMEX, 2024a).

Los datos de consumo de gas LP en el autotransporte del 2016 al 2023 fueron proporcionados por la Comisión Reguladora de Energía (CRE, 2024), mientras que del 2010 al 2015 son con información de la Secretaría de Energía vía el Sistema de Información Energética (SENER, 2024a). Los datos de consumo de diésel marítimo del 2010 al 2023 provienen de la CRE (2024).

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 decremento en el consumo de gasavión. En comparación con el año 2010, el consumo de gasavión en 2023 experimentó un decrecimiento anual de -2.40 % y para turbosina un crecimiento del 7.31 %, mientras que, en transporte terrestre, las gasolinas tuvieron un crecimiento de 0.21%, el diésel de 0.29% y el de gas LP de 9.63%. Por el contrario, el diésel marino tuvo decrecimiento anual de -3.67%.

Padrón vehicular

Los datos del parque vehicular de Quintana Roo se obtuvieron del padrón vehicular del estatal, proporcionado por la Secretaría de Finanzas y Planeación 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 diésel.

La homogeneización del padrón vehicular se realizó con los tipos de vehículos de acuerdo con 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 (Tabla III.9).

Se incluyeron los vehículos federales que transitan por el estado, con información de la Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transporte (SICT, 2023).

Tabla III.9 Homologación de tipos de vehículos con la clasificación del MOVES

Identificador MOVES	Nombre MOVES	Tipo de Vehículo	Padrón de originen	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 (Combis / vagonetas)	Padrón Estatal Vehicular	1 de 3
31	Passenger Truck	Transporte público ligero (Combis / 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

Identificador MOVES	Nombre MOVES	Tipo de Vehículo	Padrón de originen	Número de corrida
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

Fuente: Elaboración propia.

Se generaron los archivos de entrada referente a la distribución del parque vehicular por año modelo y tipo de combustible. En la Tabla III.10 se muestra la flota vehicular por tipo de vehículo y combustible, incluyendo los vehículos federales.

Tabla III.10 Flota vehicular de Quintana Roo, por tipo de vehículo y combustible, 2023

Tipo de Vehículo	Parque vehicular		Total
	Gasolina	Diésel	
Motocicletas	345,481	0	345,481
Autos particulares	437,293	619	437,912
Taxis	28,928	534	29,462
Camionetas de pasajeros (Combis / vagonetas)	99,323	748	100,071
Transporte público ligero (Combis / vagonetas)	4,245	210	4,455
Pick Up	97,170	2,408	99,578
Vehículos ≤ 3.8 t.	22,209	2,351	24,560
Microbuses / Minibuses	423	22	445
Autobuses urbanos	291	1,550	1,841
Autobuses particulares	135	438	573
Autobuses federales	0	779	779
Vehículos > 3.8 t. locales	5,220	7,198	12,418
Vehículos > 3.8 t. federales	112	385	497
Tractocamiones locales	282	1,052	1,334
Tractocamiones federales	0	751	751
Total	1,041,112	19,045	1,060,157

Fuente: Elaboración con información del gobierno de Quintana Roo y la Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes.

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 Quintana Roo (Tabla III.11).

Tabla III.11 Promedio estatal de los kilómetros recorridos al año por tipo de vehículo

Tipo de vehículo	KRV promedio

Motocicleta	28,800
Auto particular	14,000
Taxi	73,000
Camionetas de pasajeros (Combi / vagoneta)	17,100
Transporte público ligero (Combi / vagoneta)	39,300
Pick Up	17,100
Vehículo ≤ 3.8 t.	14,300
Microbús / Minibús	39,300
Autobús	46,700
Vehículo > 3.8 t.	27,900
Tractocamión	65,900

Fuente: 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; para ello se empleó 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 SICT (2024), que contiene información de los volúmenes de tránsito de la red nacional de carreteras pavimentadas por entidad federativa, en este caso de Quintana Roo (Tabla III.12).

Tabla III.12 Distribución vehicular por tipo de camino

Tipo de vehículo	Tipo de vialidad		
	Acceso rural no restringido	Acceso urbano restringido	Acceso urbano no restringido
Motocicletas	26%	3%	72%
Vehículos particulares	15%	5%	80%
Camionetas de pasajeros	14%	5%	81%
Vehículos < 3.8 t.	14%	5%	81%
Autobuses	8%	12%	80%
Vehículos > 3.8 t. locales	14%	17%	69%
Vehículos > 3.8 t. federales	7%	17%	77%
Tractocamiones locales	7%	12%	81%
Tractocamiones federales	6%	24%	69%

Fuente: Elaboración con información de la Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transporte.

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 con las zonas geográficas y la época del año, como lo especifica la norma. La Tabla III.13 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 III.13 Especificaciones de los combustibles

Especificaciones	Gasolina		Diésel
	Regular	Premium	
RVP (lb/plg2)	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

Fuente: Elaboración con información de la NOM-016-CRE-2016.

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 (2024).

III.4.4 Factores de emisión (FE)

Los FE para la estimación de las emisiones de CO_2 son específicos de la región para todos los modos de transporte identificados (INECC-IMP, 2014). De acuerdo con las ventas de combustibles por estación de servicio proporcionado por PEMEX Refinación (2024), el estado de Quintana Roo es abastecido por la refinería de Minatitlán en Veracruz, por lo cual se utilizaron FE de Villahermosa (también abastecida 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_4 y N_2O de transporte terrestre, aéreo, y marítimo, se emplean los FE por defecto de las Directrices (IPCC, 2006a) (tablas 3.2.2, 3.4.5 y 3.6.5, vol. 2, cap. 3). En la Tabla III.14, se recogen los valores de los FE empleados en la estimación de las emisiones de GEI del transporte.

Tabla III.14 Factores de emisión específicos para los combustibles empleados en el transporte (kg/TJ)

Combustibles	FE de CO_2	FE de CH_4	FE de N_2O
Gasolina regular	73,814.09	25	8
Gasolina premium	74,961.97	25	8
Turbosina	72.614.02	0.5	2
Diésel	74,216.80	3.9	3.9
Diésel 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 con información de INECC-IMP, 2014 y de las directrices del IPCC 2006.

En la Tabla III.15 se presentan los valores de los FE promedio obtenidos con el modelo MOVES México, al hacer las corridas propias del estado de Quintana Roo.

Tabla III.15 Factores de emisión promedio por tipo de vehículo y combustible obtenidos con MOVES México (g/km)

Tipo de Vehículo	Combustible	FE de CO_2	FE de CH_4	FE de N_2O
Motocicletas	Gasolina	225.91	3.03E-02	5.43E-03
Autos particulares	Gasolina	278.54	8.98E-02	8.27E-02
	Diésel	320.92	7.16E-03	8.42E-04
Taxis	Gasolina	257.05	4.57E-02	3.13E-02
	Diésel	295.71	2.57E-03	4.71E-04
Camionetas de pasajeros (Combis / vagonetas)	Gasolina	349.04	7.66E-02	1.82E-01
	Diésel	413.72	3.40E-03	2.59E-03
Transporte público ligero (Combis / vagonetas)	Gasolina	334.52	4.91E-02	1.03E-01
	Diésel	395.20	2.17E-03	2.00E-03
Pick Up	Gasolina	338.15	7.30E-02	1.40E-01
	Diésel	401.61	3.20E-03	2.33E-03
Vehículos ≤ 3.8 t.	Gasolina	329.72	5.45E-02	9.49E-02
	Diésel	391.17	2.71E-03	1.92E-03
Microbuses / Minibuses	Gasolina	319.42	3.45E-02	4.09E-02
	Diésel	378.92	2.49E-03	1.54E-03
Autobuses urbanos	Gasolina	865.86	2.33E-01	2.99E-02
	Diésel	906.47	2.09E-03	1.98E-03
Autobuses particulares	Gasolina	868.48	2.53E-01	3.86E-02
	Diésel	908.87	2.05E-03	2.11E-03
Autobuses federales	Diésel	905.58	2.05E-03	1.92E-03
Vehículos > 3.8 t. locales	Gasolina	729.59	2.27E-01	7.37E-02
	Diésel	779.88	2.46E-03	2.64E-03
Vehículos > 3.8 t. federales	Gasolina	687.31	1.53E-01	3.45E-02
	Diésel	746.36	2.44E-03	2.03E-03
Tractocamiones locales	Gasolina	1,185.86	2.68E-01	4.17E-02
	Diésel	1,266.23	2.13E-03	2.18E-03
Tractocamiones federales	Diésel	1,262.03	1.85E-03	1.82E-03

Fuente: Elaboración propia con MOVES México.

III.4.5 Incertidumbres y coherencia de las series temporales

Se calculó la incertidumbre mediante el "Método 1: Propagación del error", del vol. 1, cap. 3 de las Directrices (IPCC, 2006a) por categorías, tendencias y GEI, entre el año de reporte (2023) y el año base (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_2 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).

III.4.6 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. Las modificaciones observadas en la tendencia de las emisiones han sido revisadas y se consideran justificadas.

Se planean las siguientes mejoras:

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

III.4.7 Aviación Internacional (tanques internacionales)

III.4.7.1 Descripción de la categoría

Las emisiones de GEI asociadas a los búnkeres internacionales están asociadas a las emisiones del transporte internacional, en el caso del estado de Quintana Roo se contabiliza aviación internacional [1A3ai]. Las emisiones de esta fuente se reportan como “memo item”, es decir, que se requiere estimar pero que no se contabilizan en el total de las emisiones nacionales para evitar una doble contabilidad. Se estiman 2,178.11 Gg CO_2e en 2023, con una TMCA del 5.73% con respecto al 2010, para la aviación internacional Figura III.12.

Figura III.12 Emisiones de búnkeres internacionales



Fuente: Elaboración propia.

III.4.7.2 Metodología

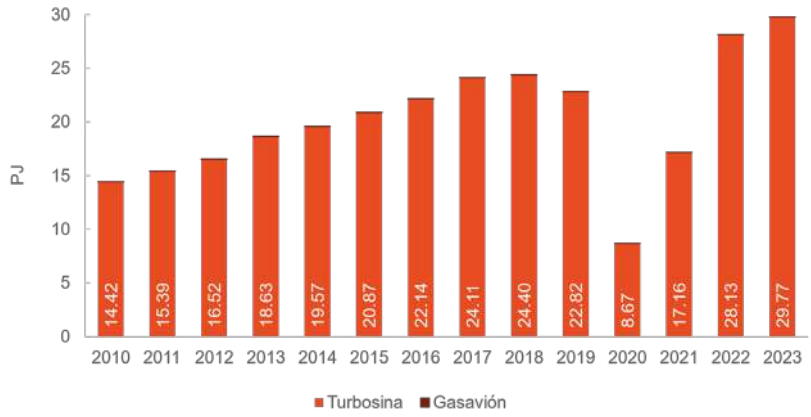
La metodología usada para la estimación de las emisiones de la fuente [1A3ai] corresponde a las Directrices 2006. Para la estimación de las emisiones de esta fuente se ha usado un enfoque metodológico de nivel 1 (Tier 1), siguiendo el árbol de decisión de la Figura 3.5.1, cap. 3, vol. 2, empleando los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

III.4.7.3 Datos de Actividad (DA)

Los DA corresponden a los consumos de combustibles empleados en el transporte aéreo internacional, obtenidos de la solicitud de información a Aeropuertos y Servicios Auxiliares (ASA, 2023), así como de la estadística operacional de vuelos nacionales e internacionales. Los datos presentados corresponden a los aeropuertos de Quintana Roo (Aeropuerto Internacional de Chetumal, Aeropuerto Internacional de Cancún, Aeropuerto Internacional de Cozumel y Aeropuerto Internacional de Tulum). La Figura III.13 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 106.5 % en cuanto a turbosina, y una disminución del 74.7 %en cuanto a gasavión desde 2010 respecto a 2023.

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

Figura III.13 Consumo de combustibles en la aviación internacional [1A3ai]



Fuente: Elaboración propia.

III.4.7.4 Factores de Emisión (FE)

Los FE empleados en la estimación de las emisiones debidas al transporte aéreo internacional se obtienen del INECC (INECC-IMP, 2014) para CO_2, y de las Directrices 2006 para CH_4 y N_2O (Tabla III.16).

Tabla III.16 Factores de emisión específicos de México para la actividad de aviación internacional [1A3ai]

Combustible	Factor de emisión kg/TJ		
	CO_2	CH_4	N_2O
Gasavión	72,476.67	0.5	2.0
Turbosina	72,614.02	0.5	2.0

Fuente: Elaboración propia.

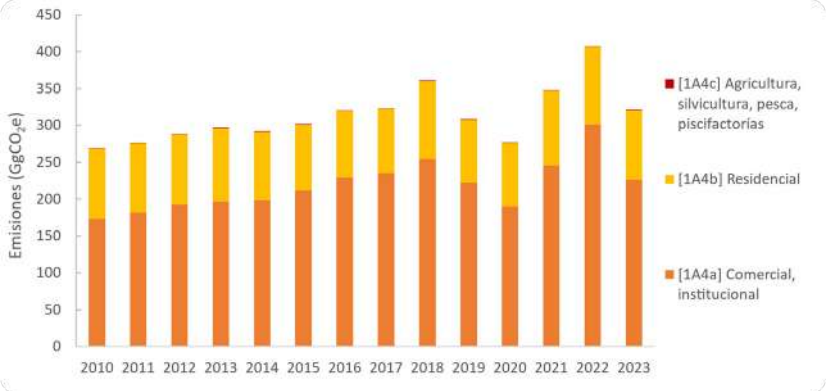
III.5 [1A4] Otros sectores

III.5.1 Descripción de la categoría

Las emisiones de CO_2, CH_4 y N_2O que se presentan en esta sección proceden de la combustión de combustibles fósiles y biogénicos para el aprovechamiento energético y de calor en la categoría [1A4] Otros Sectores, la cual incluye actividades comerciales, de servicios, institucionales; residenciales, agropecuarias y pesca. En el estado de Quintana Roo, el presente

inventario registra emisiones para todas las subcategorías, a saber, [1A4a] Comercial e Institucional, [1A4b] Residencial, y [1A4c] Agropecuario, silvicultura, pesca y piscifactorías.

Figura III.14 Emisiones de la categoría [1A4] por subcategorías ($GgCO_2e$)



Fuente: Elaboración propia con información de SEMARNAT (2024), SEMA (2024), SENER (2024a), CRE (2022) y Masera (2010).

La categoría [1A4] sumó un total de 321.20 $GgCO_2e$ en 2023. La Figura III.14 muestra que la subcategoría con la mayor contribución fue [1A4a] Comercial e Institucional con el 70.45% de las emisiones en 2023, seguida de la [1A4b] Residencial con el 29.30%. En 2020 se observan los efectos de la pandemia por COVID-19 con una baja general en las emisiones, principalmente en [1A4a] Comercial e Institucional, presumiblemente por la caída de la actividad turística, las cuales aumentaron en los años siguientes. En 2021 y, particularmente en 2022, una baja en el precio del gas LP llevó a un aumento en su consumo, principalmente en el sector residencial. En suma, se registró un crecimiento entre 2010 y 2023 de 1.37% TMCA.

III.5.2 Metodología

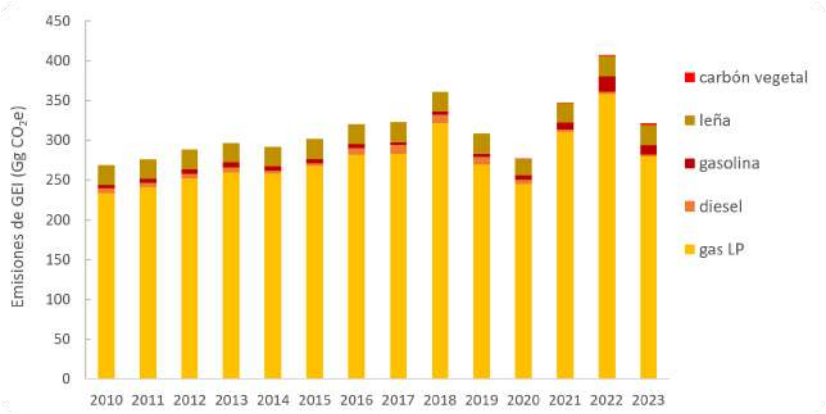
La metodología usada es la de las Directrices del IPCC (2006b). Se ha usado un enfoque metodológico de nivel 2 para la estimación de las emisiones de CO_2, mientras que la estimación de las emisiones de CH_4 y N_2O se calculó mediante nivel 1, siguiendo el árbol de decisión de la Figura 2 del cap. 2, vol. 2 de las mismas Directrices del IPCC.

III.5.3 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, 2024a y 2024b); así también, de información de la Comisión Reguladora de Energía (CRE, 2022) para el gas LP; de las Cédulas de Operación Anual de la Secretaría de Medio

Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT, 2024) y de las Cédulas de Desempeño Ambiental de la Secretaría de Ecología y Medio Ambiente de Quintana Roo (SEMA, 2024). Finalmente, las estimaciones con base en el Producto Interno Bruto Estatal por actividad económica para el estado de Quintana Roo provienen de INEGI (2023a), y de Masera (2010) para el uso de leña.

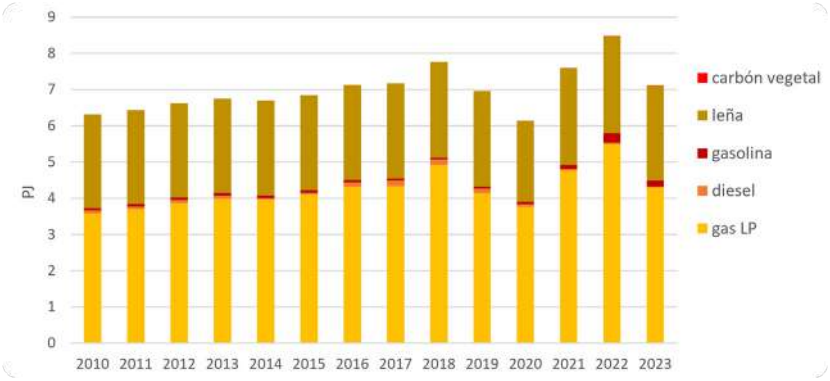
Figura III.15 Emisiones de la categoría [1A4] por combustibles ($GgCO_2e$)



Fuente: Elaboración propia con información de SEMARNAT (2024), SEMA (2024), SENER (2024a), CRE (2022) y Masera (2010).

En términos de emisiones GEI (Figura III.15), el gas LP es el energético fósil más alto en esta categoría, con el 87.1% en 2023, seguido de la leña (7.7%); el de mayor crecimiento fue la gasolina (TMCA 6.48%). Sin embargo, cuando se analiza por consumo energético (PJ) (Figura III.16), la leña representa el 36.74% de la energía consumido, y el gas LP el 60.22%, lo cual se debe al diferente contenido energético entre combustibles y, principalmente, a que la leña, por su origen biogénico, no contabiliza las emisiones de CO_2 (sólo de metano y de óxido nitroso). La leña se utiliza especialmente en actividades residenciales, pero podría incluir también algunas actividades económicas informales.

Figura III.16 Consumo energético de la categoría [1A4] por combustibles (PJ)



Fuente: Elaboración propia con información de SEMARNAT (2024), SEMA (2024), SENER (2024a), CRE (2022) y Masera (2010).

III.5.4 Factores de emisión (FE)

El FE de CO_2 fue tomado del informe técnico INECC/A1-008/201, realizado por el Instituto Mexicano del Petróleo (INECC-IMP, 2014). Para los FE de CH_4 y N_2O se consideraron los valores por defecto de las Directrices del IPCC (2006b), (tabla 2.4, vol. 2, cap. 2). En la Tabla III.17 se recogen los valores de los FE específicos de México.

Tabla III.17 Factores de emisión de CO_2 empleados en la categoría [1A4] (kg/TJ)

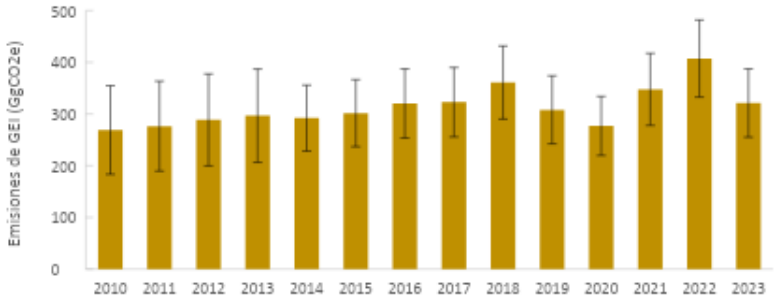
Combustible	FE de CO_2
Gas LP	65,083
Diésel	72,851
Gasolina	73,791
Leña	103,237

Fuente: INECC-IMP, 2014.

III.5.5 Incertidumbres y coherencia de las series temporales

Se calculó la incertidumbre mediante el "Método 1: Propagación del error", del vol. 1, cap. 3 de las Directrices del IPCC (2006a) por categorías, tendencias y GEI, entre el año base (2010) y el último año de reporte (2023). 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_2 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 ±10.14% (debido principalmente a la leña), y la serie se considera coherente en el tiempo, al emplearse la misma metodología, y completa al tener la misma cobertura geográfica (Figura III.17).

Figura III.17 Incertidumbres de la categoría [1A4]



Fuente: Elaboración propia con información de SEMARNAT (2024), SEMA (2024), SENER (2024a), CRE (2022) y Masera (2010).

III.5.6 QA/QC de la categoría y verificación

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

III.5.7 Mejoras previstas específicas de cada categoría

Se identificaron las siguientes oportunidades de mejora:

- Elaborar una base de datos de consumos energéticos para todas las unidades económicas de la industria turística independientemente de su tamaño.
- 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.
- Revisar y confirmar los datos de consumo del año 2023 en los próximos meses.

III.6 [1B1] Emisiones fugitivas de los combustibles sólidos

El subsector [1B] Emisiones fugitivas provenientes de la fabricación de combustibles registra todas las emisiones del sector [1] Energía derivadas de los procesos de escape no controlado de un combustible líquido o gaseoso, así como de procesos controlados tales como desfogues, programados o de emergencia, y procesos de quema, todos los cuales proceden 1) del manejo de los combustibles durante su fabricación, 2) su transporte, almacenamiento y distribución, y 3) su uso final en los procesos productivos. Las actividades 2) y 3) son las que suceden en el caso del estado de Quintana Roo.

La categoría [1B1] Combustibles sólidos incluye tres subcategorías: [1B1a] Minería carbonífera y manejo del carbón, [1B1b] Combustión no controlada y vertederos para la quema de carbón y [1B1c] Transformación de combustibles sólidos. En este estudio no se encontró registro de dichas actividades manifiestas o latentes durante el periodo de análisis 2010 a 2023 en el estado de Quintana Roo, 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.

III.7 [1B2] Emisiones fugitivas del petróleo y gas natural

III.7.1 Descripción de la categoría

La categoría [1B2] Petróleo y gas natural, compuesta a su vez por las subcategorías [1B2a] Petróleo y la subcategoría [1B2b] Gas natural, contabiliza para el caso de Quintana Roo sólo las emisiones no controladas que se derivan de los procesos de transporte y distribución, así como las emisiones debidas al almacenamiento en las TAR[7] y otros almacenamientos. Esto se debe 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 de este inventario.

Debido a que la estimación de este tipo de emisiones es paramétrica por la falta de levantamientos de información maduros (esto es, se han estimado con base en los consumos de combustibles reportados en la categoría 1A), sólo se encontraron procesos de quema en [1B2a] Petróleo, pues no hay abasto de gas natural regular en Quintana Roo. Las emisiones de la categoría [1B2] sumaron un total de 624.1 kgCO_2e en 2023, con una TMCA de 1.25% respecto al año 2010 (directamente proporcional al uso de gas LP en el estado, ver la Figura III.18).

Figura III.18 Emisiones de la subcategoría [1B2a] por tipo de emisión (GgCO_2e)



Fuente: Elaboración propia con información de SEMARNAT (2024), SEMA (2024), SENER (2024a), CRE (2022) y Masera (2010).

[7] Terminales de Almacenamiento y Reparto, ya sean públicas o privadas.

III.7.2 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_2 y CH_4 al utilizar FE propios del país. Para el cálculo de las emisiones se utilizó la ecuación 4.2.1, vol. 2, cap. 4 de las Directrices del IPCC (2006b).

III.7.3 Datos de actividad (DA)

Como ya se mencionó, los datos de actividad son paramétricos, por lo que la información proviene de los volúmenes de combustibles reportados en los procesos productivos de las categorías [1A1] Industrias de la energía, [1A2] Industrias manufactureras y de la construcción, y [1A4] Otros sectores del estado de Quintana Roo. Lo anterior se debe a que no existen reportes específicos de emisiones fugitivas que se registren en campo y contra los cuales se pueda verificar un cambio en las emisiones con respecto a una línea base a través del tiempo que sea independiente 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) de SEMARNAT (2024), las Cédulas de Desempeño Ambiental de la Secretaría de Ecología y Medio Ambiente de Quintana Roo (SEMA, 2024), el Sistema de Información Energética (SIE) de SENER (2024a), y la Comisión Reguladora de Energía (CRE, 2022). La Tabla III.18 muestra las emisiones fugitivas del proceso de transporte y almacenamiento de gas LP por quema en el estado (único proceso identificado).

Tabla III.18 Emisiones fugitivas de la categoría [1B2a] ($KgCO_2e$)

Proceso	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Quema	530.7	546.2	568.1	583.1	580.0	599.3	629.1
Proceso	**2017**	**2018**	**2019**	**2020**	**2021**	**2022**	**2023**
Quema	623.1	697.7	591.8	551.4	720.8	783.8	624.1

Fuente: Elaboración propia con información de SEMA (2024), SEMARNAT (2024), SENER (2024a) y CRE (2022).

III.7.4 Factores de emisión (FE)

Los FE para CO_2, CH_4 y N_2O 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 III.19 se recogen los valores de los FE específicos de México.

Tabla III.19 Factores de emisión de CO_2 empleados en la categoría [1B2] (Gg CO_2/MMm^3)

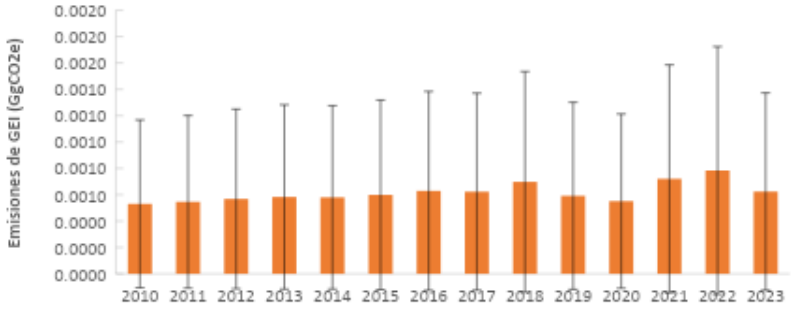
Proceso	Tipo	FE de CO_2
Transporte y almacenamiento de gas LP	Quema	2.72E-00

Fuente: INECC (2012).

III.7.5 Incertidumbres y coherencia de las series temporales

Se calculó la incertidumbre mediante el Método 1: Propagación del error, vol. 1, cap. 3 de las Directrices del IPCC (2006a) por categorías, tendencias y GEI, entre el año base (2010) y el último año de reporte (2023). 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 vol. 2, cap. 4.

Figura III.19 Incertidumbres de la categoría [1B2]



Fuente: Elaboración propia con información de SEMA (2024), SEMARNAT (2024), SENER (2024a) y CRE (2022).

La incertidumbre de la categoría [1B2] se estimó en ±119.96% promedio anual (ver Figura III.19). La serie se considera coherente en el tiempo al emplearse la misma metodología, así como completa al tener una cobertura geográfica estatal.

III.7.6 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 (2006a), sección 4.2.3, vol. 2, capítulo 4.

III.7.7 Mejoras previstas específicas de cada categoría

Se plantean las siguientes mejoras:

- Determinar las emisiones fugitivas específicas del estado de Quintana Roo en un inventario que sea congruente con las actividades de manejo y almacenamiento medidas en campo y abarque a todos los combustibles.
- Confirmar la información del año 2023 en los próximos meses.

III.8 Biomasa

De acuerdo con el Refinamiento 2019 de las Directrices del IPCC (IPCC, 2019, pp. 2.4-2.5), las emisiones de CO_2 por la combustión de biomasa las captura el sector ASOUT, lo que se refleja en las estimaciones de cambios en las reservas de carbono por la cosecha de biomasa, incluso cuando las emisiones se generan físicamente en otros sectores, como la quema para aprovechamiento energético.

De las emisiones de CO_2, CH_4 y N_2O derivadas de la quema de biomasa, las de CO_2 no se contabilizan dentro de las emisiones del sector [1] Energía, puesto que ya se incluyen en [3] ASOUT. Las emisiones de CH_4 y N_2O sí se incluyen en el total de [1] Energía, ya que las tasas de emisión dependen de las condiciones de combustión y transformación y no se pueden aproximar con las metodologías empleadas para [3] ASOUT.

Tabla III.20 Emisiones por la quema de biomasa ($GgCO_2$), 2010-2023

Año	Bagazo de caña	Leña		Biomasa		
	[1A2e] Procesamiento de los alimentos, bebida y tabaco	[1A2e] Procesamiento de los alimentos, bebida y tabaco	[1A4a] Otros sectores: comercial e institucional	[1A4b] Otros sectores: residencial	[3C1a] Quema de biomasa en tierras forestales	Emisiones totales
2010	345.63	0.00	0.00	266.56	119.98	732.16
2011	318.44	0.00	0.00	267.20	1,628.08	2,213.72
2012	357.56	0.00	0.00	267.91	2.33	627.80
2013	407.94	0.00	0.00	268.61	0.00	676.56
2014	318.18	0.00	0.00	269.30	27.52	615.01
2015	306.53	0.00	0.00	269.98	122.74	699.25
2016	282.65	0.00	0.00	270.66	51.51	604.81
2017	264.36	0.00	0.00	271.32	223.35	759.03
2018	379.10	0.00	0.00	271.97	161.51	812.58
2019	343.59	0.00	0.00	272.58	165.33	781.50
2020	450.65	0.00	0.01	229.01	944.16	1623.83
2021	364.91	0.33	0.94	273.81	40.75	680.74
2022	265.87	0.30	1.96	274.41	181.22	723.76
2023	241.46	0.14	2.84	267.10	244.53	756.06

Elaboración propia.

En Quintana Roo la biomasa que se quema con fines energéticos corresponde a la quema de bagazo de caña y leña para la generación de energía, y otros usos industriales no definidos.

También se emplea leña en el sector residencial [1A4b] para la cocción de alimentos, calentamiento de agua y calefacción ya sea como fuente única de energía o en uso mixto con otros combustibles fósiles (Masera, et al., 2010), y en menor medida en el sector comercial. Finalmente, se registran las emisiones por la quema de biomasa en bosques y praderas. Las emisiones por quema de biomasa en el año 2023 se contabilizaron en 756.06 $GgCO_2$. En la Tabla III.20 se presentan las emisiones por la quema de leña durante el periodo inventariado.

IV [2] Procesos industriales y uso de productos (PIUP)

IV.1 Visión general del sector

El sector [2] PIUP comprende las emisiones que se generan por la transformación físico-química de materiales en procesos industriales, así como por el uso de productos que contienen o emiten gases de efecto invernadero (GEI), sin incluir aquellas emisiones que provienen de la combustión de combustibles (las cuales se reportan en el sector de Energía). Este sector también incluye las emisiones generadas en la industria de los minerales, el uso no energético de combustibles y disolventes, uso de productos sustitutos de las sustancias que agotan la capa de ozono, manufactura y utilización de otros productos e industria de la alimentación y bebidas.

El IPCC establece que, para una estimación integral de emisiones del sector IPPU, deben considerarse al menos los siguientes subsectores:

- Producción de minerales (cemento, cal, vidrio, entre otros)
- Producción de metales (hierro, acero, aluminio, etc.)
- Industria química (producción de amoníaco, ácido nítrico, caprolactama, etc.)
- Producción de pulpa y papel
- Uso de productos que contienen GEI, tales como hidrofluorocarbonos (HFCs) en sistemas de refrigeración y aire acondicionado, perfluorocarbonos (PFCs) en la industria electrónica, hexafluoruro de azufre (SF_6) en equipos eléctricos, espumas, aerosoles, solventes y otros productos.
- Otros procesos industriales que resulten en la liberación de GEI no incluidos en los sectores anteriores.

Tras un análisis detallado de la estructura industrial del estado de Quintana Roo y con base en la revisión de registros públicos disponibles, incluyendo las Cédulas de Operación Anual (COA) y los registros del Sistema Nacional de Emisiones (RENE), se concluye que en la entidad no se desarrollan actividades industriales que correspondan a los subsectores señalados por el IPCC para este sector, a excepción del uso de productos que contienen gases refrigerantes.

Quintana Roo es un estado cuya actividad económica se encuentra principalmente enfocada en los sectores terciario (servicios, turismo y comercio) y secundario no intensivo en procesos industriales pesados. Por ello, no se identifican instalaciones industriales que realicen actividades de producción primaria de minerales, metales o productos químicos, ni operaciones significativas de la industria papelera o manufacturera pesada que generen emisiones de GEI a través de procesos industriales.

En este contexto, la única fuente relevante de emisiones identificada dentro del sector IPPU corresponde al uso de HFCs como refrigerantes en sistemas de aire acondicionado y equipos de refrigeración, presentes de forma extendida en el sector comercial, hotelero y residencial del estado. Estas emisiones han sido estimadas conforme a las metodologías establecidas en el Volumen 3, Capítulo 7 (“Uso de productos”) de las Directrices del IPCC 2006, utilizando factores de emisión y datos de actividad ajustados al contexto regional.

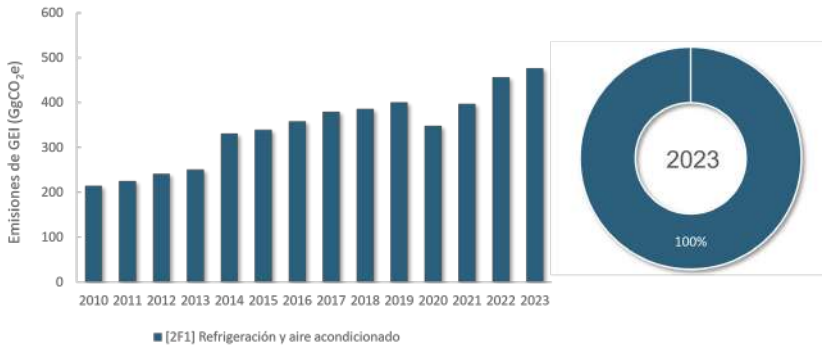
Es importante mencionar que, en el inventario estatal anterior, se menciona la producción de cal como posible fuente de emisión. No obstante, tras un análisis detallado de sus actividades y la revisión de sus Cédulas de Operación Anual (COAs) más recientes, se identificó que no existen empresas con esta actividad solamente la minería de piedra caliza. Además, en las COAs correspondientes a los últimos ejercicios fiscales no se reporta actividad alguna relacionada con emisiones de procesos industriales, ni consumo de insumos que generen emisiones por descomposición química, lo que confirma la ausencia de emisiones relevantes en este rubro.

En conclusión, el estado de Quintana Roo no presenta emisiones significativas en el sector IPPU, con excepción de aquellas asociadas al uso de gases refrigerantes, las cuales han sido estimadas conforme a lo establecido en las guías metodológicas del IPCC. Esta evaluación permite enfocar los esfuerzos de mitigación y seguimiento en los sectores realmente emisores, evitando la sobrerrepresentación de fuentes sin sustento técnico-operativo.

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_2, CH_4, N_2O, hidrofluorocarbonos (HFC), éteres halogenados (HFE), hexafluoruro de azufre (SF_6), hidroclorofluorocarburos (HCFC), clorofluorocarburos (CFC), y perfluorocarbonos (PFC).

Las emisiones del sector [2] PIUP en 2023 alcanzaron 476.47 $GgCO_2e$ lo que representó el 7.60% de las emisiones totales del IEEGYCEI (sin absorciones). En 2010 las emisiones del sector PIUP se cuantificaron en 214.59 $GgCO_2e$, lo que significa un incremento del 122.04% para el sector. La única fuente estimada es [2F1a] Refrigeración y aire acondicionado estacionario, que estima el uso de productos sustitutos de las sustancias que agotan la capa de ozono [2F].

Figura IV.1 Evolución de las emisiones de GEI del sector [2] PIUP, 2010-2023



Fuente: Elaboración propia.

En la Figura IV.1, se presenta la evolución de las emisiones del 2010 al 2023 para la subcategoría del sector [2] PIUP. Las emisiones de HFC de la refrigeración y aire acondicionado estacionario es

una categoría principal, particularmente por las emisiones de comercios y hoteles (véase Anexo I: Categorías clave).

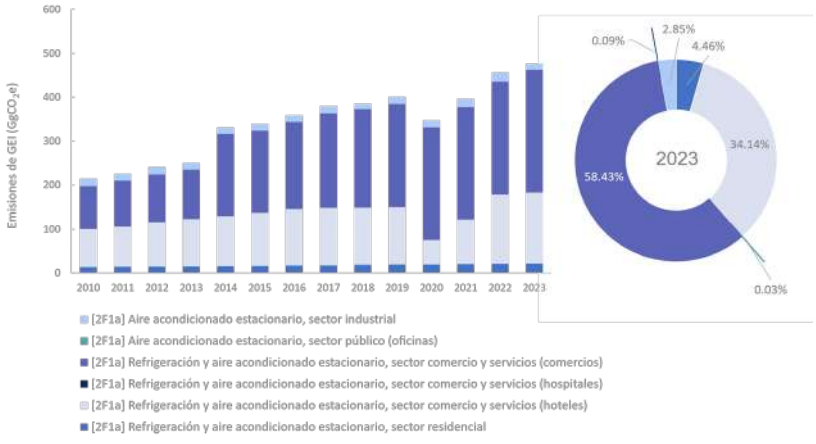
IV.2 [2F] Uso de productos sustitutos de las sustancias que agotan la capa de ozono

IV.2.1 Descripción de la categoría

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.

En Quintana Roo el uso de estas sustancias se registra en la subcategoría refrigeración y aire acondicionado [2F1] en la rama residencial, comercial y servicios. Las emisiones por uso de equipos de aire acondicionado y de refrigeración se contabilizaron en 214.59 Gg CO_2e en 2010 y en 476.47 $GgCO_2e$ en 2023. En la Figura IV.2 se presenta la evolución de las emisiones de esta categoría, en donde se aprecia un crecimiento constante a lo largo del periodo con una TMCA de 6.33%.

Figura IV.2 Evolución de las emisiones por el uso de productos en equipos de refrigeración y aire acondicionado ($GgCO_2e$), 2010-2023



Fuente: Elaboración propia.

Se cuantificaron emisiones por el uso de equipos de aire acondicionado y refrigeración en comercios, con una contribución del 58.43% de las emisiones en 2023 para esta subcategoría; en hoteles, que aportaron el 34.14%, en viviendas con el 4.46%; en la industria con el 2.85%, en oficinas de la administración pública estatal con 0.09%; y en hospitales estatales con el 0.03% (Figura IV.2).

IV.2.2 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) de manera indicativa, es decir, que no se reportan en el Inventario.

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

IV.2.3 Datos de actividad (DA)

Los DA considerados para la estimación de las emisiones procedentes de la subcategoría [2F1] se basan en la cantidad de equipos utilizados en los sectores de la refrigeración y aire acondicionado y en la determinación del consumo de estos. Asimismo, no se dispone de datos de recuperación/destrucción de los gases en esta subcategoría.

En el caso de las emisiones residenciales, se emplea la información de la Encuesta Nacional sobre Consumo de Energéticos en Viviendas Particulares (ENCEVI) 2018 de INEGI, a partir del cual se proyectó el uso de equipos de aire acondicionado y refrigeradores por tamaño de localidad.

Para las emisiones en hoteles se utilizaron los estadísticos de la Secretaría de Turismo comprendidos en el Compendio Estadístico 2022 de la Actividad Hotelera, para identificar el número de hoteles y cuartos, a partir de los cuales se estimaron la superficie de los hoteles y el consumo energético. Posteriormente, se empleó el Índice de consumo de energía eléctrica por tipo de edificio y región climática, publicado por la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE, 2019), para estimar el consumo eléctrico. Finalmente, se emplearon los factores de utilización de energía eléctrica por uso final (iluminación, AA, refrigeración, bombeo y equipos), publicados por la U.S. Energy Information Administration (IEA, 2018).

Esta metodología se aplicó también para estimar las emisiones de comercios, que considera establecimientos de cadenas cuantificados a partir del Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE) de INEGI (2024).

Para estimar las emisiones de hoteles y oficinas de la administración pública estatal, se dispuso de información sobre el consumo de energía eléctrica, proporcionada por la Secretaría de Salud y la Secretaría de Finanzas y Planeación del estado de Quintana Roo.

Finalmente, las emisiones del sector industrial se cuantifican a partir de las Cédulas de Operación Anual proporcionadas por la SEMARNAT, completando la serie histórica a partir del comportamiento estatal del PIB de los rubros hotelero y de la industria de los alimentos, bebidas y tabaco.

IV.2.4 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.

IV.2.5 Incertidumbres y coherencia de las series temporales

Se estimó la incertidumbre mediante el "Método 1: Propagación de error" por categorías, tendencias y GEI para el año 2010 y 2023, descrito en el volumen 1, capítulo 3 de las Directrices del IPCC 2006 (IPCC 2006a). La incertidumbre de los FE se tomó de las Directrices 2006 (Vol. 3. Cap. 7), (IPCC 2006c).

La incertidumbre calculada de los DA se estimó en ±143.51%, y para los FE se estimó en ±102.46%, para una incertidumbre combinada de ±55.29% como porcentaje del total de emisiones estatales en el año 2023.

IV.2.6 QA/QC de la categoría y verificación

Esta categoría sigue los principios generales de QA/QC descritos en el apartado 1.3.

IV.2.7 Mejoras previstas específicas de cada categoría

Se identifican las siguientes oportunidades de mejora:

- Incluir en el inventario de equipos de aires acondicionados en oficinas de gobierno las siguientes características: tipo de equipo, año de antigüedad e intensidad de uso.
- Elaborar un inventario de equipos de aire acondicionado y refrigerados en hoteles, comercios principales y hospitales.

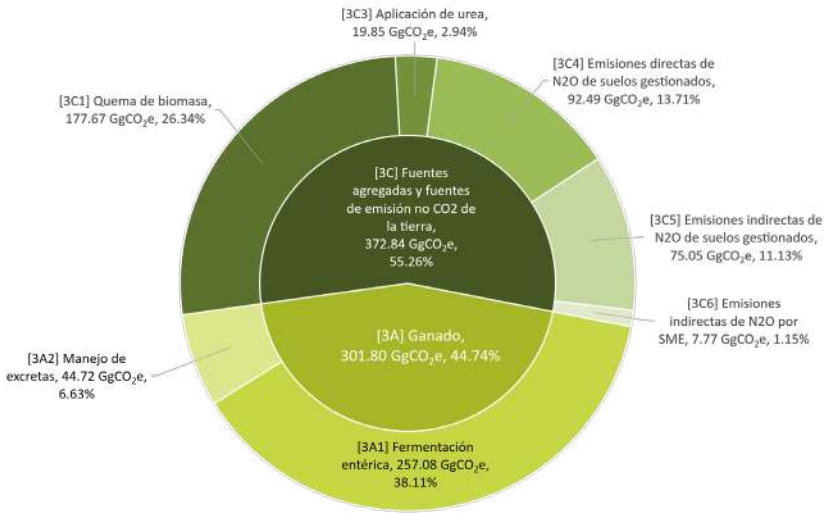
V [3] Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra (ASOUT)

V.1 Visión general del sector

El sector [3] ASOUT[8] reporta emisiones de las categorías [3A] Ganado, [3B] Tierra, [3C] Fuentes agregadas y fuentes de emisión distintas al CO_2 de la tierra y [3D] Otros. En primer término, se presenta la información de las categorías Ganado [3A] y Fuentes agregadas y fuentes de emisión no CO_2 de la tierra o Agricultura [3C], y posteriormente la que corresponde a UTCUTS[9] categoría [3B] Tierra y [3D] Otros.

Las emisiones del ganado y agricultura en 2023 se contabilizaron en 674.64 $GgCO_2e$, lo que representó el 10.76% de las emisiones del IEEGYCE (sin absorción), (Figura V.1). La categoría con mayor contribución es la fermentación entérica [3A1] con el 38.11% de las emisiones del sector una TMCA de 1.43%, le siguen las categorías de quema de biomasa [3C1] con el 26.34% y los suelos gestionados [3C4] + [3C5] con una contribución del 24.83%.

Figura V.1 Emisiones del sector [3] ASOUT ($GgCO_2e$), 2023



Fuente: Elaboración propia.

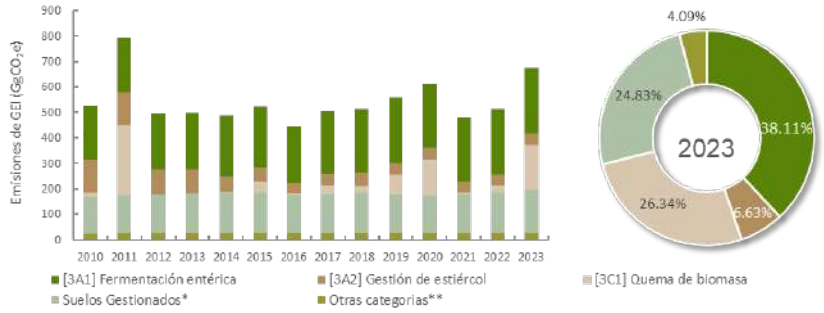
En la Figura V.2, se presentan las emisiones del sector ASOUT con desglose por categorías. Se observa, en el periodo histórico, que hay una tendencia de aumento en prácticamente todas las

[8] En ingles, AFOLU, por Agriculture, Forestry and Other Land Use.

[9] Uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura. En ingles, LULUCF por *Land use, Land-use change, and Forestry.*

subcategorías de este sector, excepto las emisiones debidas a los animales [3A], que han disminuido gradualmente con una TMCA de -0.99% debido a la reducción del inventario ganadero en categorías importantes como porcinos o aves. La tendencia creciente de las actividades agrícolas [3C] en 5.58% al año, se relaciona con el aumento en la superficie cultivada y el uso de fertilizantes.

Figura V.2 Evolución de las emisiones para [3A] Ganado y [3C] Agricultura ($GgCO_2e$), 2010-2023



Notas: *[3C4] Emisiones directas de los N2O de los suelos gestionados + [3C5] Emisiones indirectas **[3C3] aplicación de urea + [3C6] Emisiones indirectas de los N2O de la gestión del estiércol. Fuente: Elaboración propia.

El total de absorciones para este sector se estima en -11,852.93 $GgCO_2e$, de las cuales -11,667.92 $GgCO_2e$ se absorben en tierras forestales [3B1a], -35.92 $GgCO_2e$ en tierras de cultivo que permanecen como tal [3B2a], -92.57 $GgCO_2e$ en praderas que permanecen como tal [3B3a] y -56.53 $GgCO_2e$ se absorben en productos de madera recolectada [3D1].

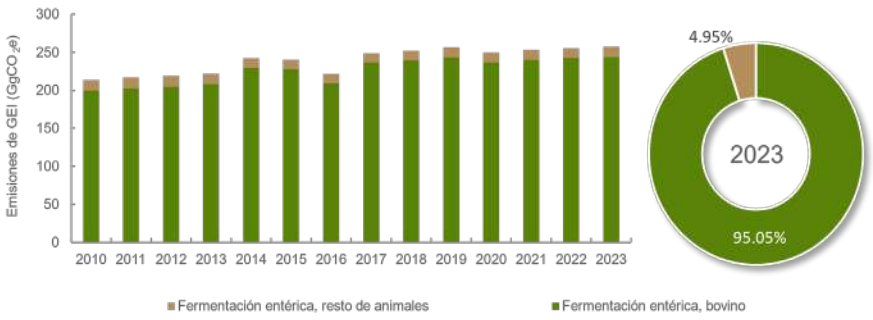
V.2 [3A1] Fermentación entérica

V.2.1 Descripción de la categoría

Las emisiones de CH_4 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 257.1 $GgCO_2e$, las cuales muestran un incremento del 1.43% respecto al año 2010. La evolución de las emisiones a lo largo del periodo se muestra en la Figura V.3, donde se observa un incremento en las emisiones, motivado por el crecimiento del hato ganadero, principalmente de bovinos.

Figura V.3 Emisiones de CH_4 de la fermentación entérica [3A1] ($GgCO_2e$)



Fuente: Elaboración propia.

V.2.2 Metodología

La metodología aplicada es del 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 el árbol de decisión de la Figura 10.2, se utilizaron diferentes enfoques metodológicos de acuerdo con la disponibilidad de información del municipio de Mérida y al peso en las emisiones que representan las especies ganaderas. De esta manera, se empleó un nivel metodológico 1 para todas las especies.

V.2.3 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.

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%. Para el caso de mulas, asnos y caballos se tomó como referencia los datos de actividad publicados en el Inventario Nacional 1990-2015 (INECC-SEMARNAT, 2018) y se completó la serie histórica a partir de tasas de crecimiento.

La Tabla V.1, 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 algunas de las especies se reducen como los porcinos, pero se incrementan los bovinos.

Tabla V.1 Población por especie (Número de cabezas)

Especie	Año						
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Bovino carne	102,580	104,047	105,086	106,784	117,661	116,888	107,365
Bovino leche	15,103	15,412	15,728	16,050	17,700	17,550	16,050
Caprino	4,564	4,930	4,985	3,247	3,561	3,743	4,144
Ovino	52,088	52,928	59,448	57,256	56,758	57,614	57,185
Caballos	4,244	4,156	4,069	3,983	3,900	3,818	3,738
Mulas y asnos	16	19	23	27	33	39	46
Porcino (traspatio)	44,090	43,781	33,602	31,661	18,942	18,563	14,307
Porcino (comercial)	102,876	102,155	78,406	73,875	44,197	43,313	33,382
Ave-carne-huevo	798,467	803,096	767,755	628,327	616,936	621,113	607,089
Guajolote	39,881	40,430	40,164	42,790	34,754	33,504	23,530
Porcino Total	146,966	145,935	112,008	105,536	63,139	61,876	47,689
Especie	**Año**						
	2017	**2018**	**2019**	**2020**	**2021**	**2022**	**2023**
Bovino carne	121,495	122,814	124,952	121,274	122,193	123,014	123,747
Bovino leche	18,150	18,450	18,750	18,150	19,152	19,510	19,867
Caprino	3,658	4,205	4,323	4,224	4,352	4,290	4,276
Ovino	57,472	60,666	65,671	66,051	66,725	66,306	66,386
Caballos	3,660	3,184	3,352	3,396	3,177	3,078	2,979
Mulas y asnos	55	63	84	84	87	95	102
Porcino (traspatio)	14,718	16,546	14,549	13,856	13,883	13,921	13,983
Porcino (comercial)	34,341	38,608	33,947	32,332	32,393	32,481	32,627
Ave-carne-huevo	607,650	726,152	888,346	883,232	880,243	804,676	821,186
Guajolote	23,437	23,562	22,614	21,787	21,590	20,072	19,962
Porcino Total	49,059	55,154	48,496	46,188	46,276	46,402	46,610

Fuente: Elaboración propia.

V.2.4 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 hato 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 hato porcino se tomó el valor de alta productividad para el porcino comercial y de baja para el familiar.

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.

V.2.5 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 14.4%. 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.

V.2.6 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 de Quintana Roo, 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 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 revisadas y se consideran justificados.

V.2.7 Mejoras previstas específicas de cada categoría

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

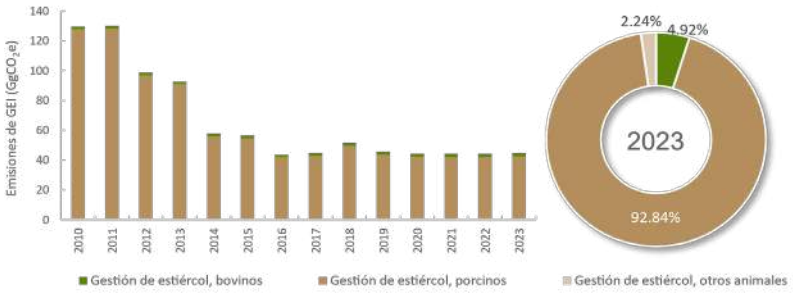
V.3 [3A2] Manejo de excretas

V.3.1 Descripción de la categoría

El manejo de las excretas (considerando heces y orina) de las diferentes especies ganaderas genera emisiones de metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O).

En 2023, las emisiones asociadas al manejo de excretas en esta subcategoría [3A2] se estimaron en 44.72 GgCO2e, 65.48% menos que en 2010 y con una TMCA negativo de -7.86%. La Figura V.4, 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 mayor del número de cabezas, principalmente de bovinos y porcinos.

Figura V.4 Emisiones de gestión de estiércoles [3A2] ($GgCO_2e$)



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

V.3.2 Metodología

En esta categoría se estiman las emisiones directas de metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O) debidas al manejo de los estiércoles. Las emisiones indirectas de N_2O 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.

V.3.3 Datos de actividad (DA)

El DA es el número medio de efectivos ganaderos de cada especie y subcategoría en cada año, que también se emplea en 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 V.2. Los tipos de sistemas se describen en la tabla 10.18 del Refinamiento 2019.

Tabla V.2 Distribución de los sistemas de manejo de estiércol por animal (%)

Especie	Distribución de Sistemas de Manejo de Excretas			Total
	Estabulado/Traspatio/ Campo/Potrero	Laguna anaeróbica	Cama profunda	

	Distribución de Sistemas de Manejo de Excretas			
Bovino carne	1			100%
Bovino leche	1			100%
Caprino	1			100%
Ovino	1			100%
Caballos	1			100%
Mulas y asnos	1			100%
Porcino (traspatio)	0.7	0.3		100%
Porcino (comercial)	0.3	0.7		100%
Ave	0.4		0.6	100%
Guajolote	0.9		0.1	100%
Porcino	0.7	0.3		100%

Fuente: Elaboración propia.

V.3.4 Factores de emisión (FE)

Para las especies ganaderas estimadas, se seleccionaron los FE con base en los procedimientos establecidos en el Refinamiento 2019. Para ello, se estimaron datos específicos del estado de Quintana Roo 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).

V.3.5 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 14.4%. Respecto a los FE, la incertidumbre retoma la recomendación de las Directrices 2006 (vol. 4, capítulos 10 y 11), siendo de 32.5% para CH_4.

La serie se considera coherente en el tiempo al emplearse la misma metodología, y también es una serie completa respecto a su cobertura geográfica.

V.3.6 QA/QC de la categoría y verificación

La información del número de efectivos de las distintas especies ganaderas del 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 para el estado de Quintana Roo.

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

V.3.7 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.

V.4 [3B] Tierra

V.4.1 Descripción de la categoría

Para la estimación del subsector [3B] Tierra, llamado también "Uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura, UTCUTS", de acuerdo con la Guía de Buenas Prácticas del IPCC (2003) –conocido también como Sector Forestal-, se reportan las seis categorías de uso de suelo: [3B1] Tierras forestales, [3B2] Tierras de cultivo, [3B3] Praderas, [3B4] Humedales, [3B5] Asentamientos, y [3B6] Otras tierras (IPCC, 2006).

Las estimaciones se realizaron utilizando las Directrices del IPCC 2006, así como su Refinamiento 2019, y comprenden el periodo de 2000 al 2023. Se reportan los flujos de CO_2 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 se cuantificaron en -9,754.90 $GgCO_2e$ y en la Tabla V.3 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 la conversión de Tierras forestales que pasan a Praderas y Tierras de cultivo, y ocasionan la liberación de 1,858.07 $GgCO_2e$; por el contrario, la permanencia de tierras forestales permitió la absorción de -11,648.71 Gg CO_2e. Los valores negativos corresponden a absorciones y los positivos a emisiones.

Tabla V.3 Emisiones por subcategoría de [3B] Tierra y por tipo de transición ($GgCO_2e$), 2023

Código IPCC	Subcategoría/transición		Emisiones netas ($GgCO_2e$)
3B1	**Tierras forestales**		**-11,667.92**
3B1a	Tierras forestales que permanecen como tal		-11,648.71
	FL-FL	Tierras forestales que permanecen como tierras forestales	-11,648.71
3B1b	Tierras convertidas a Tierras forestales		-19.21

Código IPCC	Subcategoría/transición		Emisiones netas ($GgCO_2e$)
	CL-FL	Tierras de cultivo convertidas en Tierras forestales	-5.05
	GL-FL	Praderas convertidas en Tierras forestales	-13.79
	WL-FL	Humedales convertidos en Tierras forestales	-0.23
	OL-FL	Otras tierras convertidas en Tierras forestales	-0.14
3B2	**Tierras de cultivo**		**475.00**
3B2a	Tierras de cultivo que permanecen como tal		-35.92
	RCL-RCL	Tierras de cultivo que permanecen, agricultura perenne	
3B2b	Tierras convertidas a Tierras de cultivo		510.92
	FL-CL	Tierras forestales que pasan a Tierras de cultivo	485.13
	GL-CL	Praderas que pasan a Tierras de cultivo	25.79
3B3	**Praderas**		**1,266.30**
3B3a	Praderas que permanecen como tal		-92.57
	GL-GL	Praderas que permanecen como tal	-92.57
3B3b	Tierras convertidas en Praderas		1,358.87
	FL-GL	Tierras forestales que pasan a Praderas	1,372.94
	CL-GL	Tierras de cultivo convertidas en Praderas	-11.72
	WL-GL	Humedales convertidos en Praderas	-2.21
	WL-OL	Otras tierras convertidas en Praderas	-0.14
3B4	**Humedales**		**10.11**
3B5b	Tierras convertidas en Humedales		10.11
	FL-WL	Tierras forestales que pasan a Humedales	6.38
	GL-WL	Praderas que pasan a Humedales	3.73
3B5	**Asentamientos**		**143.82**
3B5b	Tierras convertidas en asentamientos		143.82
	FL-SL	Tierras forestales que pasan a Asentamientos	138.25
	GL-SL	Praderas que pasan a Asentamientos	5.57
3B6	**Otras tierras**		**17.79**
3B6b	Tierras convertidas en otras tierras		17.79
	FL-OL	Tierras forestales que pasan a Otras tierras	17.00
	GL-OL	Praderas que pasan a Otras Tierras	0.79
		Total [3B] Tierra	**-9,754.90**

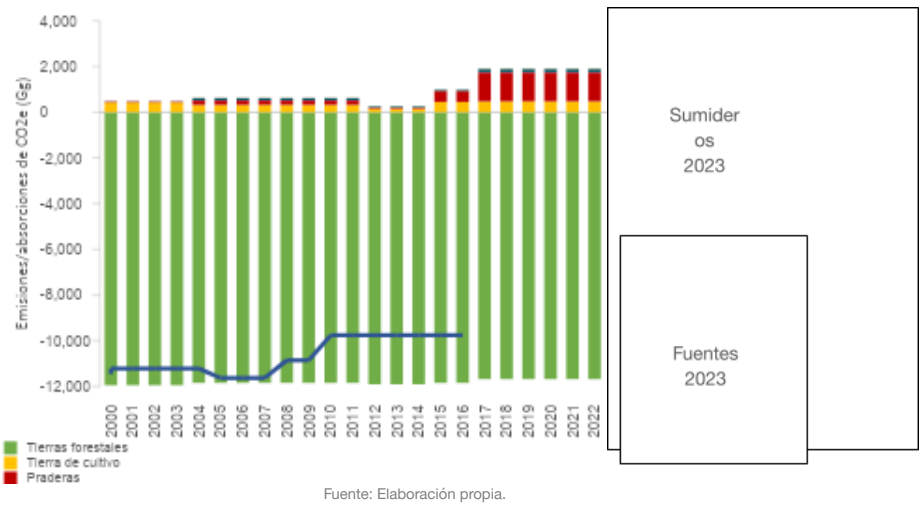
FL= Tierras Forestales, CL= Tierras de Cultivo, GL= Praderas, SL= Asentamientos, WL= Humedales, y OL= Otras Tierras.
Fuente: Elaboración propia.

En la Figura V.5 se presentan las emisiones y sumideros en CO_2e de [3B] Tierra por subcategoría. Las absorciones de CO_2 estimadas proceden principalmente de la permanencia de las tierras forestales. Las absorciones totales en 2023 disminuyeron 0.91% respecto a 2010, alcanzando -11,796.40 $GgCO_2e$. Por el contrario, las emisiones totales en 2023 aumentaron 1.9 veces respecto a 2010, y en 2.7 veces respecto al 2000, reportando 2,041.51 $GgCO_2e$.

La Figura V.6, presenta la misma información del gráfico precio excluyendo la subcategoría [3B1] Tierras forestales (dominante en los sumideros), para permitir apreciar el comportamiento del resto

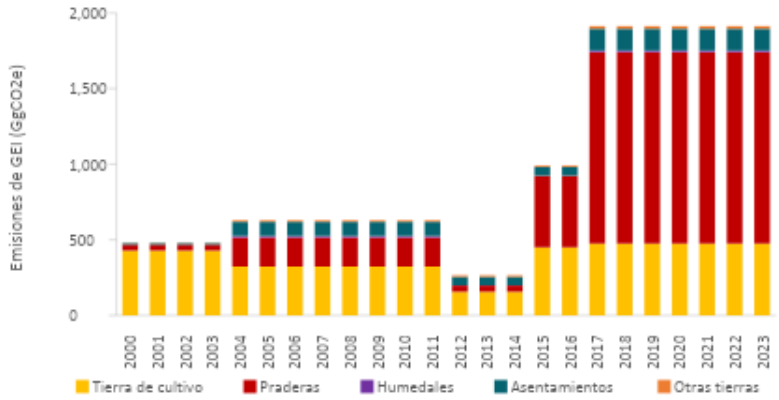
de usos del suelo. Se observa que la mayor parte de las emisiones provienen de la pérdida de la biomasa de las Tierras forestales principalmente hacia Praderas (42.2%). La segunda fuente de emisiones deriva de la deforestación de Tierras forestales hacia Tierras de cultivo (23.8%).

Figura V.5 Evolución de las emisiones de CO_2e del subsector [3B] Tierra para Quintana Roo, 2003-2023



Fuente: Elaboración propia.

Figura V.6 Evolución de las emisiones de CO_2e del subsector [3B] Tierra sin [3B1] Tierras forestales, 2000-2023



Fuente: Elaboración propia.

V.4.1.1 Definición de Tierra

De acuerdo con las Directrices del IPCC (2006d) y su Refinamiento (2019), existen seis categorías 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 subsector [3B] Tierra se muestran en la Tabla V.4.

Tabla V.4 Definiciones de las categorías de [3B] Tierra de acuerdo con el IPCC, 2006

Categoría IPCC[10]	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.

[10] 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).

Categoría IPCC[10]	Definición
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.

V.4.1.2 Enfoque para representar superficies, y bases de datos de Tierra [3B]

Las Directrices del IPCC, 2006 proporcionan una orientación sobre la utilización de los diferentes tipos de datos empleados para representar las categorías de usos de la tierra y las conversiones entre ellas. En el presente inventario, se utilizó el método 3, el cual permite seguir a las conversiones del uso de la tierra de manera espacialmente explícita (Capítulo 3.3.1 Representación coherente de las tierras del Vol. 4 de las Directrices del IPCC, 2006 y su Refinamiento 2019).

En las estimaciones de las existencias de carbono y la emisión/absorción de gases y compuestos de efecto invernadero en la categoría [3B] Tierra, es necesaria la información acerca de la clasificación y superficie que representan las categorías de uso de suelo y cambio de uso de suelo. El insumo oficial que provee datos para el periodo requerido (2000-2023) y complementario de la superficie nacional, son los mapas de cambio de cobertura del suelo del Sistema Satelital de Monitoreo Forestal (SAMOF) elaborados por la CONAFOR (2020) a través del enfoque metodológico “Pared a Pared).

El área de contabilidad (escala estatal) fue definida en función de la superficie cubierta por las dos principales fuentes de insumos utilizados para estimar las emisiones: el mapa de cobertura del suelo (MCS) y los mapas de cambio de cobertura del suelo (MCCS) para el estado de Quintana Roo. Estos instrumentos de acopio de datos sobre las tierras forestales de México tienen una cobertura estatal, una serie temporal histórica consistente y adecuada, así como el mismo diseño de muestreo.

Los mapas generados por el sistema SAMOF a través del enfoque pared a pared, son mapas de cobertura de suelo (MCS) año base 2016 y 2020, y mapas de cambio de coberturas del suelo (MCCS), que se basan en imágenes satelitales como insumo principal y muestran la reflectancia de los objetos que cubren el suelo. El MCCS permite generar cifras sobre cambios de coberturas del suelo según las conversiones entre tierras forestales (TF) y tierras no-forestales (TNF) para los períodos 2000-2003, 2003-2011, 2011-2014, 2014-2016 y 2016-2020. Además, siendo una información espacialmente explícita, muestra la distribución o ubicación de los cambios de coberturas representados. Su leyenda de 4 clases[11] no incluye la representación de las fases de desarrollo de la vegetación (sin vegetación secundaria, vegetación secundaria arbórea, arbustiva o herbácea) como la carta de uso de suelo y vegetación (CUSVEG) elaboradas por el INEGI, debido a las limitantes tecnológicas en la discriminación de clases; este producto no genera información relacionada a la degradación forestal y por tanto para el presente Inventario, no se calculó la superficie de las tierras forestales que se recuperan y las tierras forestales que se degradan. Sin embargo, la resolución espacial de 1 ha, presenta mayor detalle en comparación con la información de la CUSVEG, cuya resolución espacial es de 50 ha, por lo que, en general, si se comparan ambas cartografías podrían encontrarse diferencias en las superficies, debido a la unidad de representación, por un lado, y a la diferencia de los conceptos representados (uso del suelo contra cobertura del suelo), por el otro.

Enfoque metodológico “Pared a Pared”

La estrategia en el desarrollo de los productos del sistema SAMOF consistió en el desarrollo de un mapa de cobertura del suelo (MCS) de muy alta calidad, con una resolución temática de 34 clases y una unidad mínima mapeable (UMM) de 1 ha, y una escala de representación gráfica equivalente 1:75,000, elaborado a partir de imágenes del sensor OLI[12] de Landsat 8, tomadas durante el año 2016. Los mapas elaborados tienen una precisión o exactitud temática mayor al 80% a nivel de las 34 clases de coberturas de vegetación y otras coberturas del suelo, y de 90% a nivel de las clases para reporte adoptadas por las directrices del IPCC.

La estrategia para la elaboración y actualización del MCS en años previos y posteriores al año base 2016 consiste en utilizar el MCS 2016 como mapa de referencia, sobre el cual se adicionan o sustraen los polígonos de las capas de cambios obtenidas en los mapas de cambio de coberturas de suelo (MCCS). Los períodos considerados para la elaboración de los MCC fueron definidos con base en la disposición de imágenes de los sensores Landsat 5, 7 y 8, tomando en cuenta su completitud y coherencia. Considerando lo anterior, los periodos elegidos para la elaboración de los MCCS fueron 2000-2003, 2003-2011, 2011-2014, 2014-2016 y 2016-2020 (COAFOR, 2020).

Mapas de Cobertura del Suelo (MCS)

[11] Ver cuadro 2 de la Guía de uso de los productos del Sistema Satelital de Monitoreo Forestal. Enfoque pared a pared (CONAFOR, 2020). https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/587193/Gui_a_de_uso_de_los_productos_del_sistema_SAMOF_v1.pdf

[12] OLI Operational Land Imager (generador operativo de imágenes terrestres); obtiene información en las porciones del espectro visible, infrarrojo cercano e infrarrojo de onda corta. Sus imágenes tienen resoluciones espaciales pancromáticas de 15 metros y multi-espectrales de 30 metros a lo largo de una franja de 185 km de ancho, que cubre amplias áreas del paisaje de la Tierra al tiempo que proporciona una resolución suficiente para distinguir características como centros urbanos, granjas, bosques y otros usos de la tierra. La superficie terrestre cubierta completamente una vez cada 16 días debido a la órbita casi polar del Landsat 8. https://landsat.gsfc.nasa.gov/operational-land-imager-oli/

Para la elaboración del MCS, CONAFOR considera las definiciones establecidas en el marco jurídico del país y los alcances operativos de los insumos y metodologías utilizadas. Se estableció una leyenda de 34 clases (que pueden agruparse a las clases del IPCC) considerando tierras forestales (FL), definidas como aquella superficie con más de 10% de cobertura con presencia de individuos leñosos capaces de alcanzar los 4 m de altura. Las otras categorías de uso del suelo del IPCC no forestales utilizadas fueron: pastizales (GL), humedales (WL), tierras agrícolas (CL), asentamientos humanos (SL) y otras tierras (OL). La correspondencia entre las clases 34 clases SAMOF con las Clases IPCC e INEGI se muestran en la Tabla V.5.

Tabla V.5 Correspondencia entre las clases de las series del INEGI y las categorías del IPCC

Clase SAMOF	Descripción SAMOF	Clase IPCC
C1	Bosque de Coníferas de Altura (BA, BB y BS)	FL
C2	Bosque de Coníferas (BP, BPQ, BJ y MJ)	FL
C3	Bosque de Encino-Galería (BQ, BQP y BG)	FL
C4	Chaparral (ML)	FL
C5	Mezquital y Submontano (MK, MKE y MSM)	FL
C6	Bosque Cultivado (BC y BI)	FL
C7	Bosque Mesófilo y Selva Baja Perennifolia (BM y SBP)	FL
C8	Selva Baja y Mediana Subperennifolia (SBQ, SBQP, SMQ, SG y VPN)	FL
C9	Manglar y Petén (VM y PT)	FL
C10	Selva Mediana y Alta Perennifolia (SAP y SMP)	FL
C11	Selva alta Subperennifolia (SAQ)	FL
C12	Selva Baja Caducifolia Subcaducifolia (SBC, SBK, SBS, MST y VPI)	FL
C13	Selva Mediana Caducifolia y Subcaducifolia (SMC y SMS)	FL
C14	Mezquital Xerófilo y Vegetación Galería (MKX y VG)	FL
C15	Matorral Crasicaule (MC)	FL
C16	Matorral Espinoso Tamaulipeco (MET)	FL
C17	Matorral Sarco-Crasicaule (MSCC)	FL
C18	Matorral Sarcocaule (MSC)	FL
C19	Matorral Sarco-Crasicaule de Neblina (MSN)	FL
C20	Matorral Rosetófilo Costero (MRC)	GL
C21	Matorral Desértico Micrófilo y Rosetófilo (MDM y MDR)	GL
C22	Popal (VA)	GL
C23	Tular (VT)	GL
C24	Vegetación de Dunas Costeras (VU)	GL
C25	Vegetación de Desiertos Arenosos (VD)	GL
C26	Vegetación Halófila Hidrófila (VHH)	GL
C27	Vegetación Halófila Xerófila y Gipsófila (VY y VH)	GL
C28	Pastizales Naturales (PN, PY, PH, VW, VS y VSI)	GL
C280	Pastizales Cultivado e Inducido (PC y PI)	GL

Clase SAMOF	Descripción SAMOF	Clase IPCC
C29	Tierras Agrícolas (T, R y H) Cultivos anuales	CL
C290	Tierras Agrícolas (T, R y H) Cultivos perennes	CL
C30	Urbano y Construido (ZU y AH)	SL
C31	Suelo Desnudo (ADV y DV)	OL
C32	Agua (H2O, PRE y ACUI	WL

Fuente: Elaboración propia con información de CONAFOR (2020).

La leyenda de 34 clases es una agrupación del sistema de Clasificación de Uso de Suelo y Vegetación del INEGI (2009)[13] que contiene 58 tipos de vegetación, hasta 4 fases de desarrollo de la vegetación según aplique y 10 coberturas de uso de suelo para un total de 220 clases. Con el uso del software MAD-Mex (versión CONAFOR), aplicado a imágenes ópticas, se discriminaron en forma semiautomática 31 clases; además, 3 clases más se añadieron en la etapa de postprocesamiento. Estas 3 clases incluyeron la clase de bosque cultivado o inducido, los pastizales inducidos y cultivados (para diferenciarlos de los naturales) y la agricultura perenne (para diferenciarla de la agricultura cíclica). De acuerdo con las categorías IPCC, de las 34 clases, 19 corresponden a tierras forestales, 10 a pastizales, 2 a agricultura, 1 para humedales, 1 para asentamientos humanos y 1 para otras tierras (Tabla V.5) (CONAFOR, 2020).

Insumos

Para el procesamiento automatizado de los MCS se utilizaron los insumos siguientes:

- Las imágenes Satelitales Landsat 8 Sensor OLI (tomadas de la colección 1 del US Geological Survey (USGS) del año 2016);
- Modelo del Continuo de elevación con resolución de 15m del INEGI;
- Polígonos depurados por la CONAFOR del mapa de referencia 2015 de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) generado con imágenes RapidEye que fueron utilizados como áreas de entrenamiento;
- El Marco Geoestadístico Municipal (MGM2016) del INEGI.

Para la revisión y ajuste manual (o post-procesamiento) de los MCS y la evaluación de la precisión temática se utilizaron:

- Plataformas públicas para la visualización de imágenes de alta resolución espacial e imágenes de alta y muy alta resolución; y
- Cartografía adicional de apoyo, como la carta topográfica 1:50,000 elaborada por el INEGI, el inventario de manglares de la CONABIO; la frontera agrícola del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP); información del programa de, Plantaciones Forestales Comerciales de CONAFOR, e imágenes RapidEye del año 2016.

Metodología

[13] INEGI. (2009). Guía para la Interpretación de Cartografía. Uso del Suelo y Vegetación escala 1: 250,000.

Para la elaboración del MCS a través del sistema SAMOF, se implementaron una serie de procesos semi-automatizados que incluyeron, desde la adquisición e ingesta de imágenes satelitales, hasta la evaluación de la exactitud temática de la información geoespacial. Algunos de los principales procesos (mostrados en orden consecutivo) se enlistan a continuación:

1. Selección de parámetros como área de interés y período de análisis.
2. ingesta de imágenes y de información de apoyo.
3. Segmentación[14] de las imágenes satelitales Landsat 5, 7 y 8, empleando el segmentador de Berkeley[15].
4. Clasificación automatizada (supervisada) de imágenes segmentadas empleando el clasificador C5.0[16] y considerando áreas de entrenamiento depuradas derivadas del mapa de referencia 2015.
5. Re-proyección de escenas individuales y generación de mosaicos.
6. Post-procesamiento, el cual se refiere a una revisión y corrección manual del MCS realizada por especialistas en interpretación visual de imágenes satelitales; con esta actividad se corrigieron aquellas etiquetas de los polígonos del MCS que fueron generadas erróneamente por la clasificación automatizada.
7. Supervisión y control de calidad de los productos.
8. Integración de los productos.
9. Cálculo de la precisión temática.
10. Edición y publicación de los productos.

Mapas de Cambio de Cobertura del Suelo (MCCS)

Para la elaboración de los MCCS se analizaron las definiciones establecidas en el marco jurídico del país; además de que se identificaron las limitaciones propias de los insumos y métodos utilizados. La leyenda de cambio de cobertura se basa en las transiciones de las clases “Tierras Forestales” y “Tierras No Forestales”, cuya correspondencia con las clases IPCC se muestra en la Tabla V.6.

Tabla V.6 Leyenda de los mapas de cambio de cobertura del suelo generados a través del sistema Satelital de Monitoreo Forestal

Transiciones		Descripción de cambio
FL - FL	TF - TF	Tierra Forestal a Tierra Forestal
FL - NFL	TF - TNF	Tierra Forestal a Pastizal
FL - NFL	TF - TNF	Tierra Forestal a Agricultura
FL - NFL	TF - TNF	Tierra Forestal a Humedal

[14] La segmentación de imágenes consiste en subdividir una imagen en regiones homogéneas que, idealmente, representan objetos de interés del mundo real; se ha demostrado que es particularmente beneficioso cuando los objetos de interés en una imagen son más grandes que los píxeles de la imagen. https://www.mdpi.com/journal/remotesensing/special_issues/image-segentation

[15] El segmentador de Berkeley es un software comercial desarrollado por Berkeley Environmental Technology International, LLC, utilizado para el proceso de segmentación de las imágenes de satélite dentro del sistema SAMOF.

[16] C5.0 Es un algoritmo de clasificación supervisada de imágenes a través de árboles de decisiones, es no paramétrico, robusto y no sufre efectos por la dimensionalidad y por ruido en los datos.

Transiciones		Descripción de cambio
FL - NFL	TF - TNF	Tierra Forestal a Asentamiento Humano
FL - NFL	TF - TNF	Tierra Forestal a Otra Tierra
NFL - FL	TNF – TF	Pastizal a Tierra Forestal
NFL - NFL	TNF – TNF	Pastizal a Pastizal
NFL - NFL	TNF – TNF	Pastizal a Agricultura
NFL - NFL	TNF – TNF	Pastizal a Humedal
NFL - NFL	TNF – TNF	Pastizal a Asentamiento Humano
NFL - NFL	TNF – TNF	Pastizal a Otra Tierra
NFL - FL	TNF – TF	Agricultura a Tierra Forestal
NFL - NFL	TNF – TNF	Agricultura a Pastizal
NFL - NFL	TNF – TNF	Agricultura a Agricultura
NFL - NFL	TNF – TNF	Agricultura a Humedal
NFL - NFL	TNF – TNF	Agricultura a Asentamiento Humano
NFL - NFL	TNF – TNF	Agricultura a Otra Tierra
NFL - FL	TNF – TF	Humedal a Tierra Forestal
NFL - NFL	TNF – TNF	Humedal a Pastizal
NFL - NFL	TNF – TNF	Humedal a Agricultura
NFL - NFL	TNF – TNF	Humedal a Humedal
NFL - NFL	TNF – TNF	Humedal a Asentamiento Humano
NFL - NFL	TNF – TNF	Humedal a Otra Tierra
NFL - FL	TNF – TF	Asentamiento Humano a Tierra Forestal
NFL - NFL	TNF – TNF	Asentamiento Humano a Pastizal
NFL - NFL	TNF – TNF	Asentamiento Humano a Agricultura
NFL - NFL	TNF – TNF	Asentamiento Humano a Humedal
NFL - NFL	TNF – TNF	Asentamiento Humano a Asentamiento Humano
NFL - NFL	TNF – TNF	Asentamiento Humano a Otra Tierra
NFL - FL	TNF – TF	Otra Tierra a Tierra Forestal
NFL - NFL	TNF – TNF	Otra Tierra a Pastizal
NFL - NFL	TNF – TNF	Otra Tierra a Agricultura
NFL - NFL	TNF – TNF	Otra Tierra a Humedal
NFL - NFL	TNF – TNF	Otra Tierra a Asentamiento Humano
NFL - NFL	TNF – TNF	Otra Tierra a Otra Tierra

Fuente: Elaboración propia con información de CONAFOR (2020).

Insumos

Los insumos que se utilizan para el proceso automatizado de los MCCS fueron los siguientes:

- Compuestos multitemporales con las métricas anuales de las imágenes de satélite Landsat disponibles para cada periodo de análisis; y
- Los modelos de cobertura generados para cada fecha.

Por otra parte, para el post-procesamiento de los MCCS y la evaluación de la exactitud temática se utilizaron plataformas públicas para la visualización de imágenes de alta resolución espacial e imágenes de alta y muy alta resolución (CONAFOR, 2020).

Metodología

Como se menciona en el párrafo anterior, para el análisis y la detección de los cambios en la cobertura del suelo se utilizaron como insumos principales los compuestos multitemporales anuales, los cuales engloban el comportamiento promedio de la reflectancia en una determinada región. La comparación de los compuestos en dos diferentes tiempos, se realiza a través de algoritmos especializados como el IMAD[17] (Iterative Multivariate Alteration Detection) y el MAF[18] (Maximum Autocorrelation Factor) que detectan los cambios abruptos y anomalías en el comportamiento radiométrico de los pixeles y que pueden representar un potencial cambio en la cobertura del suelo.

Los periodos de análisis elegidos fueron 2000-2003, 2003-2011, 2011-2014, 2014-2016, y 2016-2020 debido a que en estos periodos es en los que se tiene mayor calidad en la información y mayor disponibilidad de imágenes satelitales.

Los MCCS obtenidos de manera automatizada fueron post-procesados por especialistas en interpretación visual de imágenes satelitales, quienes identificaron los polígonos reales de cambio de cobertura y determinaron los tipos de cambio que ocurrieron con una leyenda de 4 clases (Tabla V.5). Adicionalmente se establecieron procesos de supervisión y control de calidad para asegurar que la información fuera consistente con el diseño e implementación de la evaluación de la exactitud temática de los productos espaciales (CONAFOR, 2020).

A continuación, se resumen las fases generales en la generación de los MCCS:

1. Definición de los periodos y áreas de análisis.
2. Descarga e ingesta de las imágenes de satélite al sistema de procesamiento.
3. Generación de los compuestos multitemporales anuales.
4. Detección y posprocesamiento automatizado de los cambios con los algoritmos iMAD-MAF.
5. Post-procesamiento booleano de polígonos de cambios (verdaderos y falsos).
6. Post-procesamiento de dirección de cambios de conformidad con la leyenda de la Tabla V.5.
7. Supervisión y control de calidad de los polígonos de cambio.
8. Evaluación de exactitud.
9. Integración para su edición y publicación.

[17] La transformación iMAD es una técnica de detección de cambios bitemporales que es invariante al escalamiento lineal de los datos de entrada insensible a diferencias en la configuración de la ganancia del sensor y de su desviación de cero o a esquemas lineales de corrección radiométrica y atmosférica.

[18] MAF es un algoritmo de postprocesamiento de los resultados de la detección de cambios basado en el análisis de la máxima autocorrelación de los cambios, se asume que estos cambios siguen cierto comportamiento espacial, es decir, los cambios no se dan en pixeles aislados en una imagen.

Los mapas generados por el sistema SAMOF a través del enfoque “Pared a Pared”, son mapas de cobertura de suelo y mapas de cambio de coberturas del suelo, que se basan en imágenes satelitales como insumo principal y muestran la reflectancia de los objetos que cubren el suelo. Es pertinente señalar que pueden existir diferencias al comparar los mapas de cobertura de suelo elaborados en el sistema SAMOF con la Carta de uso de Suelo y Vegetación de INEGI, debido al enfoque y alcance de cada producto espacial.

De acuerdo con lo anterior, se definieron 16 subcategorías para el estado de Quintana Roo, que se agrupan como: Tierras forestales (7); Praderas (4); Tierras agrícolas (2); Humedales (1); Asentamientos humanos (1), y Otras tierras (1), (Tabla V.7).

Tabla V.7 Correspondencia entre las clases de las series del INEGI y las categorías del IPCC para el Estado de Quintana Roo

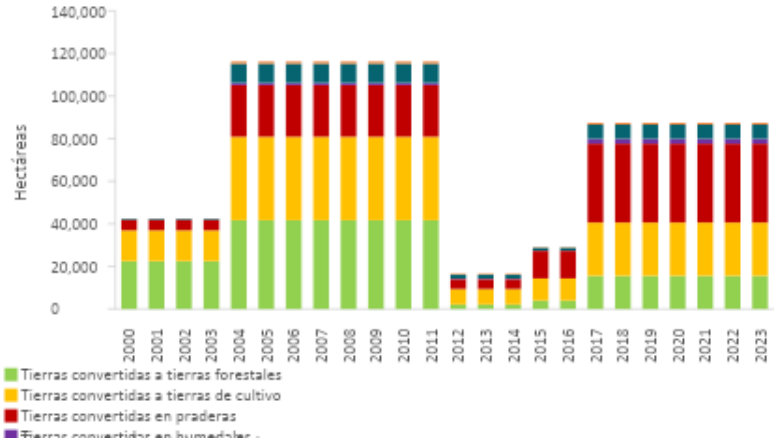
Categoría IPCC	Descripción SAMOF	Clave SAMOF
Tierras forestales (FL)	Bosque Cultivado e Inducido (BC y BI)	6
	Selva Baja y Mediana Subperennifolia (SBQ, SBQP, SMQ, SG y VPN)	8
	Manglar y Petén (VM y VP)	9
	Selva Mediana y Alta Perennifolia (SAP y SMP)	10
	Selva Alta Subperennifolia (SAQ)	11
	Selva Baja Caducifolia Subcaducifolia (SBC, SBK, SBS, MST y VPI)	12
	Selva Mediana Caducifolia y Subcaducifolia (SMC y SMS)	13
Praderas (GL)	Tular (VT)	23
	Vegetación de Dunas Costeras (VU)	24
	Pastizal Natural (PN, PY, PH, VW, VS y VSI)	28
	Pastizal Cultivado e Inducido (PC y PI)	280
Tierras agrícolas (CL)	Tierra Agrícola Cultivo Anual (T, R y H) (A y S)	29
	Tierra Agrícola Cultivo Perenne (T, R y H) (P)	290
Humedales (WL)	Agua (H_2O, PRE y ACUI)	32
Asentamientos (SL)	Urbano y Construido (ZU y AH)	30
Otras tierras (OL)	Suelo Desnudo (ADV y DV)	31

Fuente: Elaboración propia.

Uno de los elementos clave que el IPCC recomienda en su orientación sobre las buenas prácticas para uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura (IPCC, 2003), es que la información empleada cubra la totalidad del territorio a trabajar y tenga coherencia temporal, ya que se requieren estimaciones para una serie temporal de al menos 20 años. Los periodos de análisis elegidos de acuerdo con la CONAFOR son 2000-2003, 2003-2011, 2011-2014, 2014-2016 y 2016-2020, debido a que en estos periodos se tiene mayor calidad en la información y mayor disponibilidad de imágenes satelitales para la elaboración de los MCCS y MCS.

En la Figura V.7 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 de los 20 últimos años en línea con los requisitos de estimación de las Directrices del IPCC 2003.

Figura V.7 Evolución de las superficies en cambio de uso de suelo y vegetación, 2000-2023



Fuente: Elaboración propia.

V.4.2 [3B1] Tierras forestales

V.4.2.1 Descripción de la categoría

Las emisiones en Tierras forestales (FL), incluidos tres de los cinco reservorios[19], se calcularon mediante diferencias de carbono y comparando años consecutivos durante los cinco periodos (1993-2001, 2002-2006, 2007-2010, 2011-2013, 2014-2016 y 2016-2020).La subcategoría [3B1] Tierras forestales, es un sumidero que en 2023 reportó absorciones por -11,667.92 $GgCO_2e$, y en los últimos 20 años, observó una pérdida del 2.28% de su capacidad como sumidero de carbono, particularmente por la disminución de la cobertura vegetal hacia praderas (GL) y tierras de tierras de cultivo (CL). La fuente [3B1a] Tierras forestales que permanecen, es el principal sumidero con el 98.75% de las absorciones para la categoría Tierras forestales (Figura V.8).

[19] Biomasa aérea, biomasa subterránea y hojarasca (mantillo).

Figura V.8 Absorciones de [3B1] Tierras forestales ($GgCO_2e$), 2000-2023



Fuente: Elaboración propia.

V.4.2.2 Metodología

La estimación se generó con la información geoespacial del Sistema Satelital de Monitoreo Forestal (SAMOF) de la CONAFOR, bajo el enfoque de pared a pared de la cobertura forestal del estado de Quintana Roo y su dinámica de cambio de suelo para el periodo 2000-2020.

Para establecer las emisiones y absorciones de CO_2, se utilizó el enfoque del cambio en las existencias de carbono (C) con base en el hecho de que los cambios de carbono del ecosistema se producen, en su mayoría, a través del intercambio de CO_2 entre la superficie terrestre y la atmósfera. Por lo tanto, los incrementos en las existencias de C en el tiempo se equiparan con la absorción neta de CO_2 de la atmósfera, mientras que las reducciones en las existencias totales de C se equiparan con la emisión neta de CO_2 (IPCC, 2006d). De acuerdo con la disponibilidad de datos de los mapas de cambios de cobertura de suelo (MCCS) y mapas de cobertura de suelo (MCS) de la CONAFOR, se realizaron cinco comparaciones: 2000-2003, 2003-2011, 2011-2014, 2014-2016, y 2016-2020.

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).

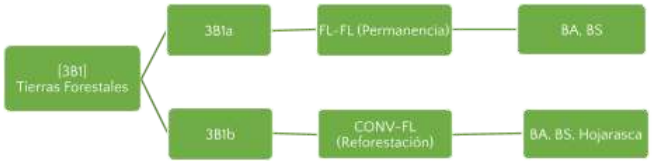
La estimación se generó con la información geoespacial de las cartas de Uso de Suelo y Vegetación (Series II, III, IV, V, VI y VII), escala 1: 250,000, elaboradas por INEGI, y su dinámica de cambio de suelo para el periodo 1993-2017.

Para estimar las emisiones/absorciones de CO_2 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. FL-FL: Tierras forestales que permanecen como Tierras forestales.
2. FLd-FL: Tierras forestales que se recuperan.
3. FL-FLd: Tierras forestales que se degradan
2. CONVL-FL: Tierras convertidas que cambian a Tierras forestales.

Para las Tierras forestales que permanecen como tal, las superficies de datos de actividad se contabilizaron con la totalidad del área del periodo, ya que, durante ese periodo, no hay transiciones ni cambios en esa superficie. Lo anterior, implica la estimación de los cambios producidos en las existencias de carbono de dos de los cinco reservorios de carbono (biomasa aérea y biomasa subterránea) y para las Tierras convertidas a Tierras forestales, se estimó además las existencias de carbono de la hojarasca (Figura V.9).

Figura V.9 Subcategoría, fuente (transiciones) y reservorios de [3B1] Tierras forestales



BA= Biomasa aérea, BS=Biomasa subterránea, MM=Materia orgánica muerta. Fuente: Elaboración propia.

En el caso del reservorio de carbono en los depósitos de hojarasca, por defecto, el IPCC supone que las existencias de carbono en los terrenos que cambian a Tierras forestales hay ganancia propia e incorporación de carbono que se recupera en forma lineal durante los siguientes 20 años. Para obtener un factor de emisión anual se dividió el factor de emisión de recuperación entre 20 años, de acuerdo con las recomendaciones del IPCC (INECC-SEMARNAT, 2018).

Las existencias anuales de carbono forestal fueron estimadas a nivel de clases de uso de suelo de acuerdo con la descripción de la vegetación del INEGI (Tabla V.5), para luego ser agregadas al nivel del estrato principal de interés que son las transiciones o subcategorías.

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:

ΔC_{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

V.4.2.3 Datos de actividad (DA)

El DA es la superficie (hectáreas) de [3B1a] Tierras forestales que permanecen y las [3B1b] Tierras convertidas en tierras forestales. La fuente de información se detalló anteriormente en el apartado V.4.1.2 “Enfoque para representar superficies, y bases de datos de Tierra [3B]”.

V.4.2.4 Factores de emisión (FE)

Se calcularon factores de emisión promedio anual con base a los factores de emisión por tipo de vegetación de Quintana Roo derivados de la Iniciativa de Reducción de Emisiones (IRE) de México (CONAFOR, 2017) y de los factores nacionales por tipo de vegetación del INEGYCEI 1990-2015 (INECC-SEMARNAT, 2018). Estos factores de emisión usan clases más específicas de la cobertura del suelo de la Series II, III, IV, V y VI, del INEGI, que los datos de cambio de SAMOF y, por lo tanto, se agruparon y promediaron para estar en línea con las clasificaciones en los datos de clase de SAMOF (Ver archivo “Factores de emisión ASOUT_3B_Tierra” para más detalles de los cálculos).

V.4.2.5 Incertidumbres y coherencia de las series temporales

Las incertidumbres para los FE se realizaron por el método de propagación de errores y las fuentes de información de la Iniciativa de Reducción de Emisiones (IRE) de México (CONAFOR, 2017) y del INEGYCEI 1990-2015 (INECC, 2018). La incertidumbre de los DA (superficies) proviene de la evaluación de la variabilidad de las superficies por clase de vegetación. En general, para la subcategoría [3B1] Tierras forestales, la incertidumbre se cifra en ±112.93%. La serie se considera coherente en el tiempo al emplearse la misma metodología y completa al tener una misma cobertura geográfica.

V.4.2.6 QA/QC de la categoría y verificación

La información básica de la que se extraen los DA está sometida a controles de revisión específicos dentro de la CONAFOR y 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.

V.4.2.7 Mejoras previstas específicas de cada categoría

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

V.4.3 [3B2 y 3B3] Tierras de cultivo y pastizales

V.4.3.1 Descripción de las categorías

La subcategoría [3B2a] Tierras de cultivo que permanecen, es un sumidero que en 2023 alcanzó -35.92 $GgCO_2e$, cantidad 5.6 veces mayor que la del año 2000. Por su parte, [3B2b] Tierras convertidas en tierras de cultivo es una fuente neta de emisiones que en 2023 alcanzó 510.92 $GgCO_2e$, con un incremento del 17.7% comparado hace más de 20 años (Figura V.10).

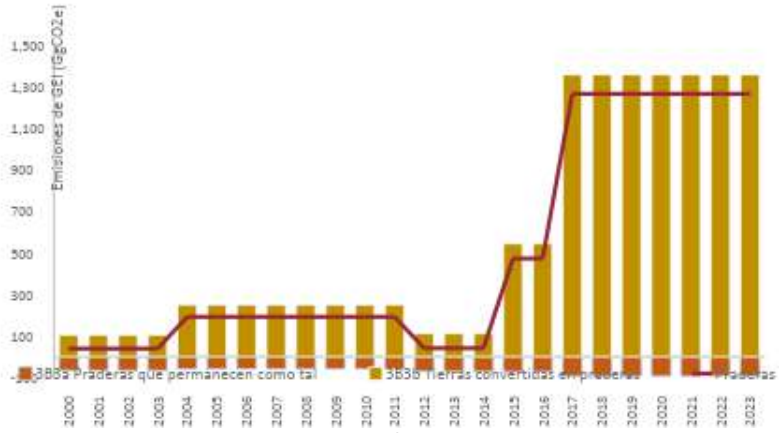
De la misma forma, [3B3b] Tierras convertidas en praderas es una fuente neta de emisiones que no se compensa con el sumidero [3B2a] Praderas que permanecen, ya que en 2023 alcanzó -92.57 $GgCO_2e$, comparada con los 1,358.87 Gg CO_2e de [3B3b]. La evolución de las emisiones netas a lo largo del periodo se muestra en la Figura V.11.

Figura V.10 Emisiones y absorciones [3B2] Tierras de cultivo ($GgCO_2e$), 2000-2023



Fuente: Elaboración propia.

Figura V.11 Emisiones y absorciones [3B3] Praderas ($GgCO_2e$), 2000-2023



Fuente: Elaboración propia.

V.4.3.2 Metodología

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

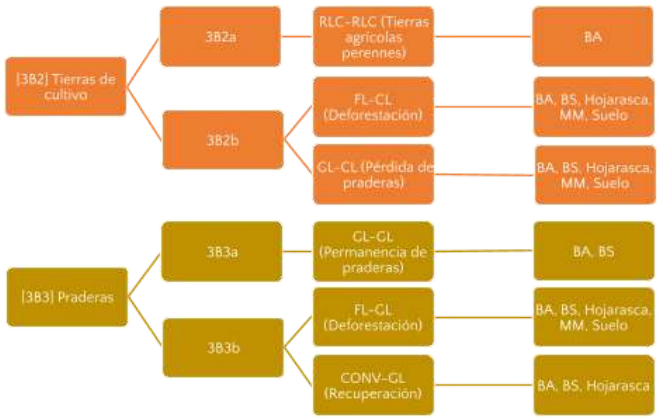
- [3B2a] Tierras de cultivo que permanecen como tales (RCL)
- [3B2b] Tierras convertidas en tierras de cultivo (CONVL-FL).

Para estimar las emisiones/absorciones de CO_2 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 se reporta en otra subcategoría. 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), (Figura V.12).

Figura V.12 Subcategorías, fuente (transiciones) y reservorios de [3B2] Tierras de cultivo y [3B3] Praderas



BA= Biomasa aérea, BS=Biomasa subterránea, MM=Materia orgánica muerta. Fuente: Elaboración propia.

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 las Praderas que permanecen como tal, las superficies de datos de actividad se contabilizaron con la totalidad del área del periodo, ya que, durante ese periodo, no hay transiciones ni cambios en esa superficie. Implica la estimación de los cambios producidos en las existencias de carbono de dos de los cinco depósitos de carbono (biomasa aérea y biomasa subterránea) y para las Tierras forestales que cambian a Praderas, se estimaron las existencias de carbono de los cinco depósitos (Figura V.12).

Para estimar las emisiones/absorciones de CO_2 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 apartado V.4.2.2 “Metodología” de la subcategoría [3B1] Tierras forestales.

V.4.3.3 Datos de actividad (DA)

El DA es la superficie (hectáreas) de tierras de cultivo y praderas que permanecen y en conversión. La fuente de información se ha explicado anteriormente en el apartado V.4.1.2 “Enfoque para representar superficies, y bases de datos de Tierra [3B]”.

V.4.3.4 Factores de emisión (FE)

Se calcularon factores de emisión promedio anual con base a los factores de emisión por tipo de vegetación de Quintana Roo derivados de la Iniciativa de Reducción de Emisiones (IRE) de México (CONAFOR, 2017) y de los factores nacionales por tipo de vegetación del INEGYCEI 1990-2015 (INECC-SEMARNAT, 2018). Estos factores de emisión usan clases más específicas de la cobertura del suelo de la Series II, III, IV, V y VI, del INEGI, que los datos de cambio de SAMOF y, por lo tanto, se agruparon y promediaron para estar en línea con las clasificaciones en los datos de clase de SAMOF (Ver archivo “Factores de emisión ASOUT_3B_Tierra” para más detalles de los cálculos).

En el caso de cultivos perennes, se tomó el promedio de los valores del sistema de monocultivo tanto de plantaciones como de huertos del vol. 4 del Refinamiento2019 de las Directrices del IPCC 2006, ya que de acuerdo con el Censo Agropecuario 2022 del INEGI (2023b), los principales cultivos en Quintana Roo son la caña de azúcar, cítricos, plátano, aguacate, mango y piña. Particularmente el de las tierras de cultivo anuales se aplican las consideraciones del Refinamiento 2019 de las Directrices del IPCC y se asumió en balance.

V.4.3.5 Incertidumbres y coherencia de las series temporales

Las incertidumbres para los FE se realizaron por el método de propagación de errores y las fuentes de información de la Iniciativa de Reducción de Emisiones (IRE) de México (CONAFOR, 2017) y del INEGYCEI 1990-2015 (INECC-SEMARNAT, 2018). La incertidumbre de los DA (superficies) proviene de la evaluación de la variabilidad de las superficies por clase de vegetación. En general la incertidumbre se cifra en ±1.51% para la subcategoría [3B2] Tierras de cultivo, y en ±9.34% para [3B3] Praderas. La serie se considera coherente en el tiempo al emplearse la misma metodología y completa al tener una misma cobertura geográfica.

V.4.3.6 QA/QC de la categoría y verificación

La información básica de la que se extraen los DA está sometida a controles de revisión específicos dentro de la CONAFOR y 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.

V.4.3.7 Mejoras previstas específicas de cada categoría

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

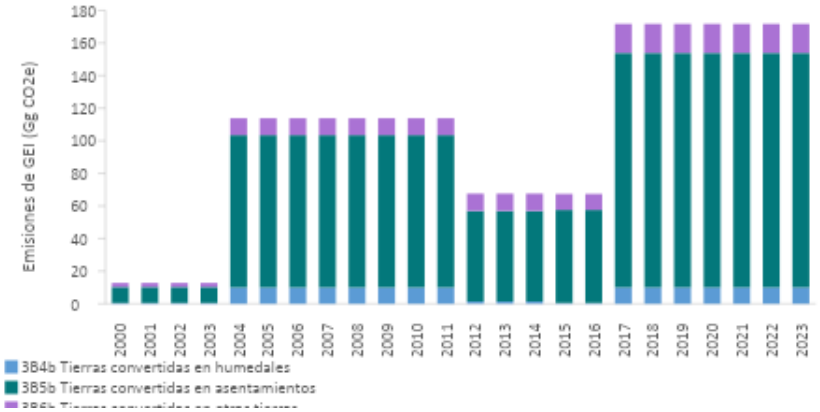
V.4.4 [3B4, 3B5 y 3B6] Otros usos de la tierra

V.4.4.1 Descripción de la categoría

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 10.11 $GgCO_2e$ para Humedales, 143.82 $GgCO_2e$ para Asentamientos, y de 17.79 $GgCO_2e$ para Otras tierras.

Figura V.13 Emisiones y absorciones de [3B4] Humedales, [3B5] Asentamientos y [3B6] Otras tierras ($GgCO_2$ yo 2000-2023



Fuente: Elaboración propia.

La evolución de las emisiones netas a lo largo del periodo se muestra en la Figura V.13. Estas emisiones derivan principalmente de la deforestación de Tierras forestales y pérdida de Praderas hacia estas tres categorías de cambio de uso de suelo (Tabla V.3).

V.4.4.2 Metodología

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

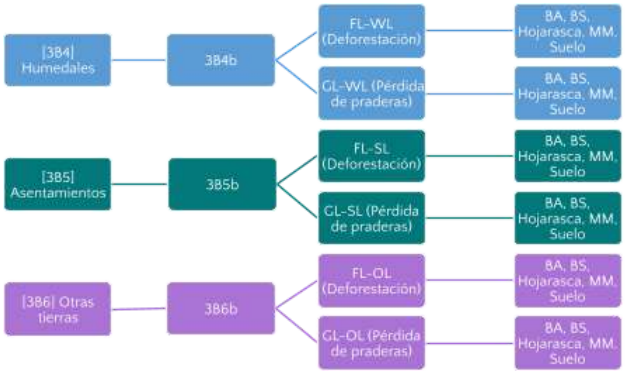
- [3B4a] Humedales que permanecen como Humedales (WL-WL).

- [3B4b] Tierras convertidas en Humedales (CONVL-SL).

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). Para esta subcategoría no se realizó ninguna estimación ya que no se cuentan con datos específicos para el país de tierras anegadas y manejo de turberas.

Para los cambios de tierras 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), (Figura V.14). Los cambios sucedidos en esta transición pierden todo el carbono almacenado en la vegetación inicial.

Figura V.14 Subcategorías, fuente (transiciones) y reservorios de [3B4] Humedales, [3B5] Asentamientos y [3B6] Otras tierras



BA= Biomasa aérea, BS=Biomasa subterránea, MM=Materia orgánica muerta. Fuente: Elaboración propia.

La subcategoría Asentamientos [3B5] se desglosa 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 incluye el arbolado urbano, vegetación herbácea perenne, como el césped y las plantas de los parques, camellones y banquetas, así como el arbolado de los asentamientos rurales en jardines y plazas, (IPCC, 2006d).

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), (Figura V.14). Los cambios sucedidos en esta transición pierden todo el carbono almacenado en la vegetación inicial.

Finalmente, para Otras Tierras [3B6], esta subcategoría 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 se incluyen en las otras subcategorías. De acuerdo con las clases de vegetación de INEGI, en esta subcategoría se integran las áreas sin vegetación aparente y las desprovistas de vegetación.

La subcategoría Otras tierras [3B6] se subdivide 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 las Directrices del IPCC (2006d) y su Refinamiento (2019), las superficies de otras tierras que permanecen como tales [3B6a] deben incluirse en la matriz de cambios de uso de suelo, 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), (Figura V.14). Los cambios sucedidos en esta transición pierden todo el carbono almacenado en la vegetación inicial.

Para estimar las emisiones/absorciones de CO_2 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 V.4.2.2 “Metodología” de la subcategoría [3B1] Tierras forestales.

V.4.4.3 Datos de actividad (DA)

El DA es la superficie (hectáreas) de humedales, asentamientos y otras tierras que permanecen y en conversión. La fuente de información se ha explicado anteriormente en el apartado V.4.1.2 “Enfoque para representar superficies, y bases de datos de Tierra [3B]”.

V.4.4.4 Factores de emisión (FE)

Se calcularon factores de emisión promedio anual con base en los factores de emisión por tipo de vegetación de Quintana Roo, derivados de la Iniciativa de Reducción de Emisiones (IRE) de México (CONAFOR, 2017) y de los factores nacionales por tipo de vegetación del INEGYCEI 1990-2015 (INECC, 2018). Estos factores de emisión usan clases más específicas de la cobertura

del suelo de la Series II, III, IV, V y VI, del INEGI, que los datos de cambio de SAMOF y, por lo tanto, se agruparon y promediaron para estar en línea con las clasificaciones en los datos de clase de SAMOF (Ver archivo "Factores de emisión ASOUT_3B_Tierra" para más detalles de los cálculos).

V.4.4.5 Incertidumbres y coherencia de las series temporales

Las incertidumbres para los FE se estimaron por el método de propagación de errores y las fuentes de información de la Iniciativa de Reducción de Emisiones (IRE) de México (CONAFOR, 2017) y del INEGYCEI 1990-2015 (INECC-SEMARNAT, 2018). La incertidumbre de los DA (superficies) proviene de la evaluación de la variabilidad de las superficies por clase de vegetación. En general la incertidumbre se cifra en ±0.04% para la categoría [3B4] Humedales, en ±0.47% para [3B5] Asentamientos y en ±0.05% 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.

V.4.4.6 QA/QC de la categoría y verificación

La información básica de la que se extraen los DA está sometida a controles de revisión específicos dentro de la CONAFOR y 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.

V.4.4.7 Mejoras previstas específicas de cada categoría

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

V.5 [3C1] Emisiones de GEI por quema de biomasa

V.5.1 Descripción de la categoría

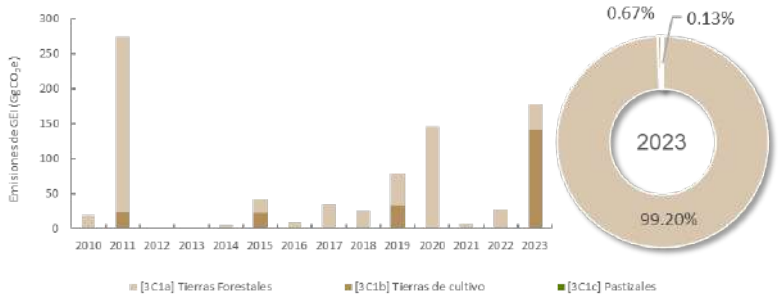
Quema de biomasa [3C1], es una actividad generadora de gases y compuestos contaminantes como monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NOx), carbono negro (CN), compuestos orgánicos volátiles (VOC por sus siglas en inglés) y GEI como CO_2, CH_4 y N_2O. En esta subcategoría del inventario se calculan las emisiones de CH_4 y N_2O 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 quemas 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 quemas 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_2 se reportan como IE ("included elsewhere") y NA ("not applicable").

En 2023, las emisiones de quema de biomasa se estimaron en 177.7 $GgCO_2e$ con una TMCA de 19%. 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 V.15, 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 sigue un patrón establecido, ni una tendencia lineal; es decir, la quema por incendios forestales está condicionada 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 V.15 Emisiones de quema de biomasa [3C1] ($GgCO_2e$)



Fuente: Elaboración propia.

V.5.2 Emisiones por quema de biomasa en tierras forestales [3C1a] y praderas [3C1c]

En estas categorías se incluyen los incendios forestales que, de acuerdo con los datos oficiales de SEMARNAT-CONAFOR, fueron atendidos.

Los datos sobre incendios forestales provienen de los reportes mensuales de CONAFOR, que registran las áreas afectadas por el fuego que fueron combatidos. La base de datos contiene información de 2010 a 2023. Los reportes oficiales de áreas afectadas contienen año y estrato de vegetación siniestrado, que puede ser arbóreo, arbustivo o herbáceo.

Para el cálculo de emisiones se utilizó la ecuación 2.27 correspondiente a las guías de buenas prácticas del Volumen 4, Capítulo 2 (IPCC 2006d).

Para estimar la cantidad de GEI por incendios forestales, se requieren los datos del área quemada, la masa de combustible disponible, la fracción de biomasa consumida y los factores de emisión por especie química.

Se seleccionaron para este informe los factores de emisión de (Andreae y Merlet, 2001), que comprenden una revisión exhaustiva y actualizada de publicaciones sobre factores de emisión de CO_2 y gases traza de CH_4, CO, N_2O y NO_x en bosques y praderas, y que proporcionan valores generales en categorías similares a las propuestas a las guías de buenas prácticas del Panel

Intergubernamental del Cambio Climático, y están referidas en la Tabla 2.5 del Volumen 4, Capítulo 2 de las Directrices del IPCC (2019a).

V.5.2.1 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.

V.5.2.2 Datos de actividad (DA)

Como ya se mencionó, para el cálculo de emisiones de esta subcategoría se emplearon datos sobre incendios forestales de CONAFOR, los cuales se homologaron a las coberturas vegetales declaradas por INEGI (2021b) 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.

V.5.2.3 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.

V.5.3 Emisiones por quema de biomasa en tierras de cultivo [3C1b]

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).

V.5.3.1 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 V.8, se muestran las superficies incendiadas por cultivo, con datos provenientes del SIAP, se presentan los 10 más representativos.

Tabla V.8Superficies incendiadas por tipo de cultivo (ha)

Cultivo	2023	Cultivo	2023
Maíz grano	5,952.20	Stevia	267.5
Caña de azúcar	3,551.50	Calabaza semilla o chihua	227.8
Soya	618	Coco fruta	165.2
Frijol	573.22	Sorgo grano	150
Elote	411.5	Calabacita	41.1

Fuente: Elaboración propia.

V.5.3.2 Factores de emisión (FE)

Los FE de metano (CH_4) 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_4 y 0.07 para N_2O). Para algunos cultivos se consideraron los factores de la Tabla V.9. Para el resto de los cultivos y las emisiones de N_2O se usa el FE por defecto de las Directrices 2006 (Cuadro 2.5, vol. 4, cap. 2).

Tabla V.9 Factores de emisión por tipo de cultivo

Cultivo	g/kg MS quemada	
	CH_4	N_2O
Caña de azúcar	2.29	0.07
Sorgo Forrajero	2.29	0.07
Sorgo Grano	2.02	0.07

Fuente: INECC-SEMARNAT (2022).

V.5.3.3 Incertidumbres y coherencia de las series temporales

La incertidumbre del DA (superficie quemada) se calculó en 158.2% y 4.64% 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_4 y de 0.07% y 0.10% para las de N_2O. Para la

categoría [3C1b] la incertidumbre proviene de lo reportado por Múgica-Álvarez (2016) por tipo de cultivo de maíz 0.20%. La serie se considera coherente en el tiempo al emplearse la misma metodología y completa al tener una cobertura geográfica.

V.5.3.4 QA/QC de la categoría y verificación

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

V.5.3.5 Mejoras previstas específicas de cada categoría

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

V.6 [3C4 y 3C5] Suelos gestionados

V.6.1 Descripción de la categoría

Estas categorías integran las emisiones directas e indirectas de N_2O debidas a las aportaciones de nitrógeno en los suelos gestionados derivadas de las actividades agrícolas. De forma natural, el óxido nitroso (N_2O) es generado mediante procesos de nitrificación y desnitrificación, por lo que, al aumentar la disponibilidad del nitrógeno en el suelo, la producción de N_2O que es emitido a la atmósfera se ve incrementada. Las emisiones indirectas de N_2O 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 amoniaco (NH_3) y óxidos de nitrógeno (NOx); y 2) lixiviación y escorrentía.

En 2023, las emisiones directas e indirectas de suelos gestionados (categorías [3C4] y [3C5]) contabilizaron 167.54 Gg CO_2e (92.49 y 75.05 $GgCO_2e$, respectivamente), lo que supone un incremento promedio de 17.9% (19.5% y 16.1%) respecto al año 2010. La evolución de las emisiones a lo largo del periodo se muestra en la Figura V.16.

Figura V.16 Emisiones directas e indirectas de N_2O en los suelos gestionados, [3C4] y [3C5]



Fuente: Elaboración propia.

Asimismo, es importante destacar el incremento de todas las variables analizadas, es decir los datos asociados al uso de fertilizantes nitrogenados. La Tabla V.10, muestra las superficies sembradas, cosechadas y producción de los cultivos, así como la superficie fertilizada estimada. La tendencia de cada uno de los factores que contribuyen a la subcategoría [3C4] se presenta en la Figura V.17.

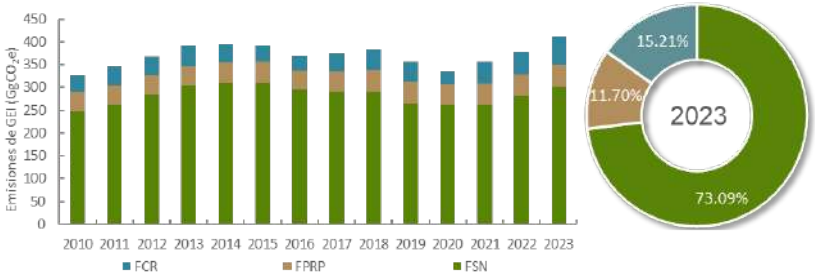
Las fuentes de N consideradas para la categoría [3C5] corresponden a la aplicación de fertilizantes sintéticos y el N de la orina y el estiércol depositado por animales de pastoreo. En la Figura V.18 se puede observar el comportamiento de las emisiones por volatilización.

Tabla V.10 Estadísticas de producción agrícola y superficie fertilizada calculada

Año	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Superficie sembrada (ha)	112,199.40	115,541.40	126,065.50	133,505.20	135,552.40	139,454.90	132,912.80
Superficie cosechada (ha)	107,614.70	111,396.30	104,043.10	129,429.90	100,844.70	101,639.90	123,111.10
Producción (ton)	1,595,094.90	1,870,651.90	1,981,876.20	2,180,292.80	1,828,747.90	1,819,189.90	1,722,702.50
Superficie fertilizada estimada (ha)	57,249.70	58,702.00	52,251.00	59,519.00	63,500.00	72,161.00	59,775.00
Año	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Superficie sembrada (ha)	128,182.49	127,543.21	117,653.19	111,377.40	111,641.49	127,604.11	135,932.74
Superficie cosechada (ha)	122,694.99	121,958.56	94,212.99	88,258.12	110,286.59	2,346,649.76	129,726.94
Producción (ton)	1,870,578.58	2,168,201.84	2,226,445.61	1,187,033.93	2,070,486.99	2,333,073.16	2,427,199.60
Superficie fertilizada estimada (ha)	63,588.00	65,078.93	56,830.33	56,830.33	56,965.08	65,110.01	69,359.69

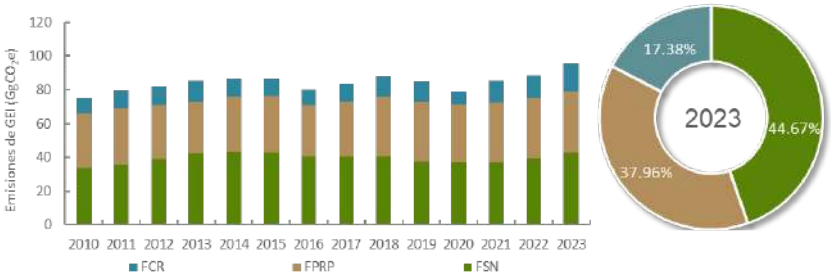
Fuente: Elaboración propia.

Figura V.17 Emisiones directas de los N_2O de los suelos gestionados (t CO_2e)



Nota: FSN (Fertilizantes sintéticos nitrogenados), FPRP (Estiércol depositado en pasturas y praderas por animales en pastoreo), y FCR (Residuos agrícolas (aéreos y subterráneos) de cultivos). Fuente: Elaboración propia.

Figura V.18 Emisiones indirectas de los N_2O de los suelos gestionados (t CO_2e)



Nota: FSN (Fertilizantes sintéticos nitrogenados), FPRP (Estiércol depositado en pasturas y praderas por animales en pastoreo), y FCR (Residuos agrícolas (aéreos y subterráneos) de cultivos). Fuente: Elaboración propia.

V.6.2 Metodología

Las emisiones directas e indirectas de N_2O 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 (F_{SN}); estiércol depositado en pasturas y praderas por animales en pastoreo (F_{PRP}), y residuos agrícolas (aéreos y subterráneos) de cultivos (F_{CR}).

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.

V.6.3 Datos de actividad (DA)

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

V.6.3.1 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).

Se consideran las cantidades de urea y nitrógeno empleadas por cultivo y se asume que los cultivos que no tienen datos específicos de urea o nitrógeno el valor de 56% corresponde a urea y el resto a Nitrógeno.

V.6.3.2 Estiércol depositado en pasturas y praderas por animales en pastoreo (FPRP)

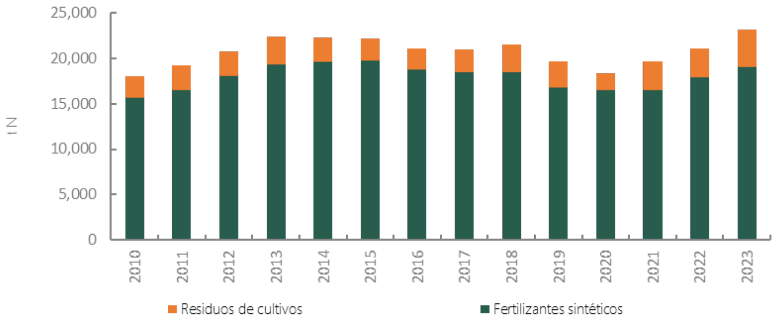
El estiércol depositado por animales en pastoreo se estima según la metodología de la subcategoría [3A2] Gestión de estiércol.

V.6.3.3 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 V.19, se muestra la evolución de los insumos de nitrógeno a los suelos gestionados.

Figura V.19 Insumos de nitrógeno a los suelos gestionados (t N)



Fuente: Elaboración propia.

V.6.4 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 NH3 y NOx.

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.

V.6.5 Incertidumbres y coherencia de las series temporales

La incertidumbre de los DA se tomó conforme a la recomendación de las Directrices 2006, siendo de 6.79%. 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.

V.6.6 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 el apartado 1.3 de este documento.

V.6.7 Mejoras previstas específicas de cada categoría

Se planean las siguientes mejoras:

- Refinamiento de las estimaciones de lixiviación y escorrentía 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.

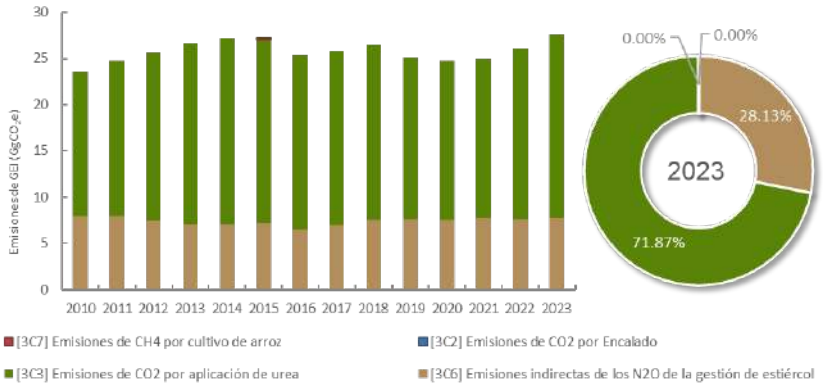
V.7 [3C2, 3C3, 3C6, 3C7] Otras fuentes de emisión

V.7.1 Descripción de la categoría

En este apartado se incluye la información sobre las subcategorías: [3C2] Emisiones de CO_2 por encalado, [3C3] Emisiones de CO_2 por aplicación de urea, [3C6] Emisiones indirectas de los N_2O de la gestión del estiércol y [3C7] Emisiones de CH_4 por cultivo del arroz. Las dos primeras reflejan 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 ($CaCO_3$) o dolomita ($CaMg(CO_3)_2$) y la incorporación de urea a los suelos durante la fertilización. La tercera, [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. Y la última, [3C7], considera las emisiones de metano (CH_4) debidas a la descomposición anaeróbica de la materia orgánica en los arrozales producida en los suelos por bacterias metanógenas y su transporte del suelo hacia la atmósfera.

Según la disponibilidad de información, únicamente se estimaron las categorías [3C3] y [3C6], ya que el SIAP no reporta cultivo de arroz [3C7]; tampoco se reporta uso de cal en actividades agrícolas [3C2]. En 2023, la suma de emisiones de estas dos subcategorías alcanzó un total de 27.62 Gg CO_2e (19.85 y 7.77 Gg CO_2e respectivamente), lo que representa un incremento del 0.9% respecto al año 2010. La evolución de las emisiones a lo largo del periodo se muestra en la Figura V 20. Para [3C3] se identifica una tendencia positiva y para [3C6] una tendencia negativa de las emisiones durante el periodo de 2010 a 2023 con una TMCA de 1.82% y -0.12% respectivamente.

Figura V.20 Emisiones de otras fuentes del sector agrícola ($GgCO_2e$)



Fuente: Elaboración propia.

V.7.2 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_2O 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.

Para estimar la subcategoría [3C3], se asume que la superficie fertilizada emplea urea, ya que dentro de las agendas técnicas se mencionan que algunos cultivos no solamente emplean urea sino otros fertilizantes; 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.

Se cuantifica la cantidad de urea utilizada por ha por tipo de cultivo y se estimó un promedio general. Al no tener datos desagregados, se asume que se emplea urea y otros fertilizantes en la superficie fertilizada estimada.

Al no cuantificar un total de consumo de fertilizantes para la estimación, no se considera necesario estimar una proporción de urea utilizada en el estado. Sin embargo, para los cultivos que no tienen dato de aplicación de urea, se retoma el valor determinado en el Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero (2022), que indica que el 56% de fertilizantes empleados corresponde a urea.

V.7.3 Datos de actividad (DA)

Para las emisiones indirectas de N_2O 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].

Particularmente, para la categoría [3C2] la fuente de información (Servicio Geológico Mexicano) no indica información para el estado de Quintana Roo.

Para la categoría [3C3], se utiliza el dato de la superficie sembrada, asimismo, se realiza una estimación de la proporción de superficie fertilizada, con base en los datos publicados en el SIAP, considerando que del total de la superficie sembrada el 51.03% se fertiliza.

Para la categoría [3C7], el SIAP no reporta el cultivo.

V.7.4 Factores de emisión (FE)

Para la aplicación de urea, se usó el FE por defecto de CO_2 de las Directrices 2006 (0.20 t C/t urea).

Para las emisiones indirectas de N_2O 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).

V.7.5 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 2.0% y [3C6] de 4.74%.

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.

V.7.6 QA/QC de la categoría y verificación

Esta categoría sigue los principios generales de QA/QC.

V.7.7 Mejoras previstas específicas de cada categoría

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

V.8 [3D] Productos de madera recolectada

V.8.1 Descripción de la categoría

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_2 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_2 de productos de madera en el Estado de Quintana Roo 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.

Figura V.21 Emisiones/absorciones de [3D1] Productos de madera recolectada, 2010-2023



Fuente: Elaboración propia.

Los productos de madera recolectada (PMR) [3D1], en el caso del Estado de Quintana Roo, en 2023, presenta una absorción de – 56.53 Gg CO_2e, en 2010 presentó una absorción de -10.65 Gg CO_2e. La evolución de las emisiones netas a lo largo del periodo se muestra en la Figura V.21.

V.8.2 Metodología

La fuente de información fue FAOSTAT (2022) 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.

V.8.3 Datos de actividad (DA)

El DA es la cantidad de madera en productos semifinalizados[20] que entra en el depósito de PMR 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 V.11 muestra la evolución de las entradas de productos semifinalizados por año.

Tabla V.11 Datos de productos de madera

Productos maderables (m^3r)	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Aserrio	33,530.0	20,723.0	28,868.0	25,897.0	26,996.0	26,081.0	28,425.0
Celulosa							
Chapa y triplay	2,425.0	3,338.0	4,304.0	4,583.0	3,065.0	2,079.0	3,151.0
Postes	5,274.0	4,673.0	4,330.0	4,364.0	5,499.0	7,558.0	10,050.0
Leña					0.0	415.0	941.0
Carbón	6,253.0	2.0	2,485.0	3,178.0	4,339.0	4,868.0	9,380.0
Durmientes							
TOTAL	47,482.0	28,736.0	39,987.0	38,022.0	39,899.0	41,001.0	51,947.0
Productos maderables (m^3r)	**2017**	**2018**	**2019**	**2020**	**2021**	**2022**	**2023**
Aserrio	31,855.0	24,239.0	27,029.1	26,954.6	26,880.1	26,805.6	26,731.1
Celulosa							
Chapa y triplay	3,729.0	3,032.0	3,199.9	3,179.8	3,159.6	3,139.5	3,119.3
Postes	12,446.0	8,996.0	11,424.5	12,305.2	13,185.9	14,066.6	14,947.3
Leña	2,017.0	1,244.0	2,045.0	2,401.3	2,757.6	3,113.9	3,470.2
Carbón	13,858.0	17,295.0	15,285.6	16,972.5	18,659.4	20,346.4	22,033.3
Durmientes							
TOTAL	63,905.0	54,806.0	58,984.1	61,813.3	64,642.6	67,471.9	70,301.1

Fuente: Anuarios Estadísticos Forestales - SEMARNAT.

[20] Madera aserrada, tableros a base de madera y papel y cartón

V.8.4 Factores de emisión (FE)

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

Tabla V.12 Parámetros de estimación de las variaciones del depósito de PMR

Parámetro	Madera aserrada	Tableros a base de madera	Papel y cartón
Densidad	Mg/m^3	Mg/m^3	
Fracción de carbono	t C/t m.s.	t C/t m.s.	
Factor de conversión de carbono	$Mg\ C/m^3$	$Mg\ C/m^3$	$Mg\ C/m^3$
Vida media	años	años	años

Fuente: IPCC (2019).

V.8.5 Incertidumbres y coherencia de las series temporales

La incertidumbre del DA proviene de la estimación de los propios datos y se cifra en un 25.18%. 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.

V.8.6 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.

V.8.7 Mejoras previstas específicas de cada categoría

Se recomienda generar estadísticas de importaciones y exportaciones por producto.

•

VI [4] Residuos

VI.1 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 (CH_4), debido a la descomposición de la materia orgánica en condiciones anaeróbicas; dióxido de carbono (CO_2) por la incineración y quema abierta de residuos y óxido nitroso (N_2O) en las descargas de las aguas residuales.

Para el estado de Quintana Roo las categorías a estimar son:

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

Cabe señalar que, en el Directorio de empresas autorizadas para el manejo de residuos peligrosos de la SEMANAT, no se identificaron empresas incineradoras de residuos autorizadas en el estado de Quintana Roo.

En cuanto al tratamiento biológico de residuos, se identifican dos proyectos de biodigestor sin información sobre el tipo y la cantidad de residuo tratado, por lo que no fue posible reportarlo en este Inventario.

Las emisiones del sector [4] Residuos en 2023 se contabilizaron en 973.73 $GgCO_2e$, lo que representó el 16.38% de las emisiones del IEEGYCEI (sin absorción). El sector presenta un incremento en sus emisiones de GEI durante el periodo de análisis de 13.44% al año, siendo la categoría [4A] Eliminación de residuos sólidos el de mayor TMCA con 37.72%. Por otro lado, la categoría de tratamiento y eliminación de aguas residuales [4D] experimentó un incremento más moderado de 4.77% por año, y la Incineración y quema abierta de residuos [4C] se redujo en -1.49% anual.

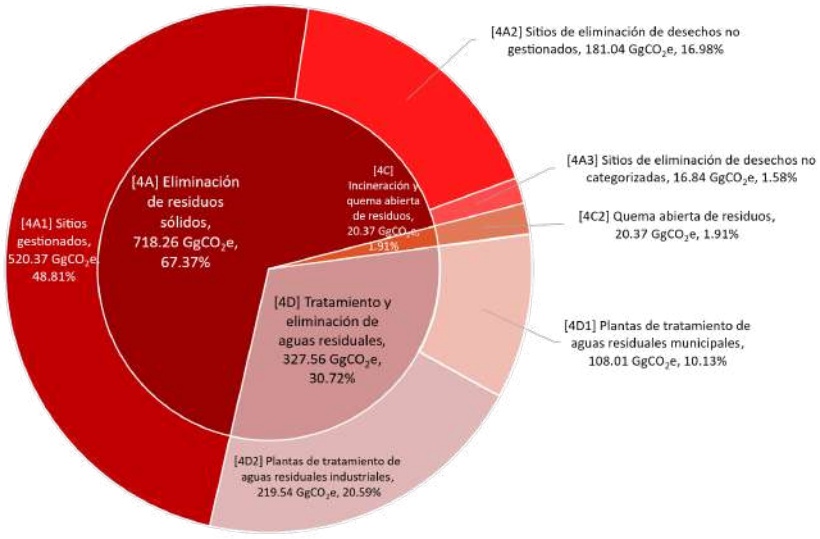
En 2023, la categoría eliminación de residuos sólidos [4A] contribuyó con el 11.46% (718.26 $GgCO_2e$) de las emisiones del IEEGYCEI (sin absorción), seguido por el tratamiento y eliminación de aguas residuales [4D] con el 5.23% (327.56 $GgCO_2e$), el resto proviene de la incineración y quema abierta de los residuos sólidos [4C] con el 0.32% (20.37 $GgCO_2e$).

El principal GEI emitido es el metano (CH_4) generado principalmente en [4A] y [4D], seguido por el óxido nitroso (N_2O) emitido durante la eliminación de aguas residuales [4D]. Las emisiones por sitios gestionados [4A1] y no gestionados [4A2] son categorías principales identificadas para el año 2023 (véase Anexo I: Categorías clave).

En la Figura VI.1 se presenta la contribución de cada categoría y sus respectivas subcategorías del sector Residuos en 2023, y en la Figura VI.2 se muestra la evolución de las emisiones para el

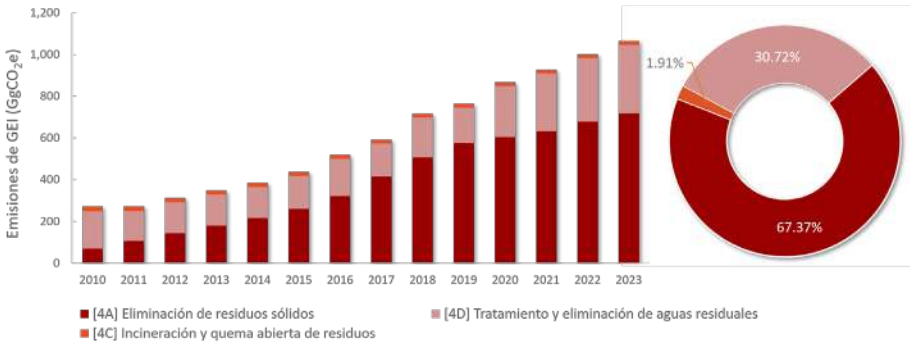
periodo inventariado, donde se observa la preponderancia de la fuente [4A1] Sitios gestionados con el 67.37% de las emisiones del sector .

Figura VI.1 Emisiones del sector [4] Residuos ($GgCO_2e$), 2023



Fuente: Elaboración propia.

Figura VI.2 Evolución de las emisiones del sector [4] Residuos ($GgCO_2e$), 2010-2023



Fuente: Elaboración propia.

VI.2 [4A] Sitios de eliminación de residuos

VI.2.1 Descripción de la categoría

La categoría [4A] contabiliza las emisiones de GEI, particularmente de CH_4, que se produce durante el confinamiento de los residuos en Sitios de Disposición Final (SDF). Si bien los esfuerzos de los gobiernos para minimizar, reciclar y reutilizar los residuos son cada vez mayores, en México los SDF constituyen aún el destino principal de los residuos generados. De acuerdo con el equipamiento disponible en el estado de Quintana Roo, se estimaron emisiones para las siguientes subcategorías:

- [4A1] Sitios de eliminación de residuos gestionados
- [4A2] Sitios de eliminación de residuos no gestionados
- [4A3] Sitios de eliminación de residuos no categorizados

En 2023, la eliminación de residuos sólidos contabilizó 718.26 $GgCO_2e$ y el 67.37% de las emisiones del sector residuos [4]. La evolución de las emisiones a lo largo del periodo se muestra en Figura VI.3, donde se observa que el 72.45% de las emisiones proviene de sitios no gestionados [4A2], el 25.21% de sitios gestionados [4A1], y el 2.34% de sitios no categorizados [1A3].

Figura VI.3 Emisiones de [4A] Eliminación de residuos sólidos ($GgCO_2e$), 2010-2023



Fuente: Elaboración propia.

Tabla VI.1 Emisiones de [4A] Eliminación de residuos sólidos por subcategoría ($GgCO_2e$), 2010-2023

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_4	CO_2e	CH_4	CO_2e	CH_4	CO_2e	CH_4	CO_2e
2010	0.29	8.12	2.14	59.96	0.06	1.64	2.49	69.72
2011	0.94	26.46	2.76	77.34	0.11	2.95	3.81	106.75
2012	1.64	45.97	3.36	94.22	0.15	4.14	5.15	144.33
2013	2.33	65.34	3.88	108.74	0.18	5.09	6.40	179.18
2014	3.16	88.52	4.34	121.48	0.21	5.86	7.71	215.86
2015	4.34	121.55	4.75	132.88	0.23	6.48	9.32	260.91
2016	6.12	171.35	5.12	143.28	0.25	7.05	11.49	321.68
2017	8.76	245.28	5.80	162.31	0.30	8.27	14.85	415.85
2018	11.35	317.72	6.38	178.63	0.36	10.10	18.09	506.46
2019	13.36	374.03	6.80	190.39	0.44	12.38	20.60	576.80
2020	14.30	400.40	6.79	190.21	0.47	13.29	21.57	603.90
2021	15.57	436.05	6.58	184.34	0.47	13.28	22.63	633.67
2022	17.21	481.79	6.49	181.79	0.54	15.23	24.24	678.81
2023	18.58	520.37	6.47	181.04	0.60	16.84	25.65	718.26

Fuente: Elaboración propia.

Las emisiones en 2023 son 10.3 veces más elevadas que las de 2010, es decir, que aumentaron en 19.65% cada año. No obstante, es importante resaltar que la proporción de emisiones provenientes de sitios gestionados [1A1] se ha incrementado del 11.65% al 72.45% entre 2010 y 2023. Por el contrario, las emisiones provenientes de los sitios no gestionados [1A2] se redujo de 86.01% a 25.21%; en tanto que la contribución de los sitios no categorizados [1A3] se ha mantenido prácticamente sin cambios en 2.3%.

VI.2.2 Metodología

Se utilizó la metodología de las Directrices 2006, complementada con algunos aspectos incluidos en el Refinamiento 2019. Se aplicó un enfoque metodológico nivel 2 con parámetros nacionales como el Modelo Mexicano de Biogás y la composición de los residuos a nivel local, siguiendo el árbol de decisión de la Figura 3.1 del vol. 5, capítulo. 3, de las Directrices 2006 (IPCC, 2006e).

VI.2.3 Datos de actividad (DA)

Para estimar los residuos confinados, se empleó la cantidad de residuos sólidos urbanos y de manejo especial depositados en los sitios de disposición final, la cual se cuantificó en 1.15 millones de toneladas anuales de residuos en el año 2023, de las cuales el 99.5% corresponde a residuos sólidos urbanos (RSU), el 0.4% a residuos de manejo especial (RME), y el 0.1% a lodos procedentes de plantas de tratamiento.

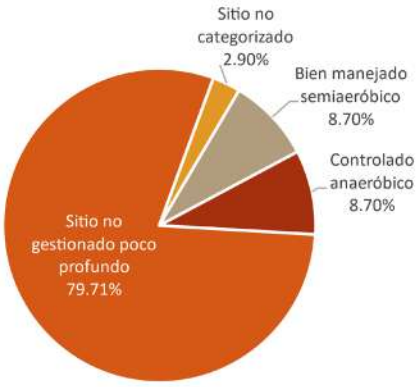
La fuente de información de los datos de residuos depositados es la proporcionada por los municipios a partir de las gestiones de la Secretaría de Ecología y Medio Ambiente del estado de Quintana Roo (SEMA). La serie temporal 2010-2023 se complementa con información del Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Delegacionales (CNGMD) del Instituto Nacional de Estadística y Geografía 2011, 2017, 2019, 2020 y 2021, e interpolaciones con base en el comportamiento poblacional reportado en los Censos de Población y Vivienda 2000, 2010 y 2020, el Conteo de Población y Vivienda 2005 y la Encuesta Intercensal del 2015 de INEGI.

Tan solo tres SDF concentraron el 91.07% del total de los residuos sólidos urbanos (RSU) depositados en 2023. Estos SDF son el Centro Intermunicipal de Manejo Integral de Residuos Sólidos de los Municipios de Benito Juárez, Isla Mujeres y Puerto Morelos, que recibió el 58.03% de los RSU estatales en confinamiento; el Centro Integral de Manejo de Residuos y de Manejo Especial del municipio de Playa del Carmen con el 16.73% de los RSU, el Sitio de Disposición Final del municipio de Othón P. Blanco recibió el 8.29% de los RSU confinados, y el Relleno Sanitario de Tulum el 8.01%.

De acuerdo con la clasificación de los SDF definida por el IPCC (2019) considerando su infraestructura y condiciones de operación[21], 55 SDF (79.7%) son sitios no gestionados poco profundos y reciben 2.7% de los residuos; 6 SDF (8.7%) son de gestión anaeróbica y confinan 9.5% de los RSU, 6 SDF (8.7%) son sitios de gestión semiaeróbico con manejo adecuado y reciben 87.8% de los residuos; y 2 SDF (2.9%) no tienen información sobre su caracterización pero no recibieron residuos en 2023 (Figura VI.4).

[21] Reportadas por el Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Demarcaciones Territoriales de la Ciudad de México 2019 (INEGI, 2020) y las administraciones municipales.

Figura VI.4 Caracterización de SDF en el estado de Quintana Roo



Fuente: Elaboración propia.

Adicionalmente, se incluyó la estimación de emisiones de GEI asociadas a la descomposición del sargazo colectado en playas y mar de Quintana Roo, que posterior a su proceso de secado, es enviado a sitios de disposición final en el estado. Debido a que no se cuenta con un registro oficial ni una articulación entre todos los sectores involucrados en la atención del fenómeno del sargazo (Aldana, Enríquez y Elías, 2020), no existe información exacta sobre los sitios de disposición final ni su caracterización. Las cifras sobre la cantidad de toneladas de residuos depositadas se obtuvieron de las páginas de la Secretaría de Marina y la SEMA, donde se reportan las toneladas recolectadas, así como de medios de comunicación y documentos oficiales sobre la problemática (Tabla VI.2).

Tabla VI.2 Sargazo depositado en SDF, 2019-2023

Año	Sargazo (ton/año)	Año	Sargazo (ton/año)
2019	8,308	2022	7,121
2020	5,709	2023	7,669
2021	9,403		

Fuente: Elaboración propia con datos del Municipio de Benito Juárez (2022), DIANCO (s.f.), SEMAR (2019a, 2019b y 2021).

La información empleada para caracterizar la composición de los residuos sólidos urbanos dispuestos en los SDF se obtuvo de los siguientes estudios: Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Delegacionales 2011 de INEGI, y el Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos 2020 de SEMARNAT. La Tabla VI.3 presenta la composición empleada en la estimación de emisiones.

Tabla VI.3 Composición de residuos (Porcentaje)

Año	Alimentos	Jardín	Papel	Madera	Textiles	Pañales	Plásticos y otros inertes
2010	23.42	3.53	22.90	3.33	5.98	4.92	35.92
2011	23.42	3.53	22.90	3.33	5.98	4.92	35.92
2012	23.42	3.53	22.90	3.33	5.98	4.92	35.92
2013	23.42	3.53	22.90	3.33	5.98	4.92	35.92
2014	23.42	3.53	22.90	3.33	5.98	4.92	35.92
2015	23.42	3.53	22.90	3.33	5.98	4.92	35.92
2016	23.42	3.53	22.90	3.33	5.98	4.92	35.92
2017	33.59	12.57	9.62	0.79	3.31	6.75	33.37
2018	33.59	12.57	9.62	0.79	3.31	6.75	33.37
2019	33.59	12.57	9.62	0.79	3.31	6.75	33.37
2020	33.59	12.57	9.62	0.79	3.31	6.75	33.37

Fuente: elaboración propia con datos SEMARNAT (2012 y 2020).

Con relación a la cuantificación de residuos de manejo especial (RME) que se confinan en los SDF del estado, se emplearon los resultados reportados por el municipio de Playa del Carmen para el Centro Integral de Manejo de Residuos y de Manejo Especial, operado por Promotora Ambiental de la Laguna S.A de C.V. (Tabla VI.4).

Tabla VI.4 Residuos de Manejo Especial depositados en el SDF del Municipio de Playa del Carmen

Año	PIB Q Roo	RME (t/año)	Lodos PTAR (t/año)
2016	261,498	2,738	398
2017	272,212	7,709	533
2018	286,533	17,080	1,044
2019	290,612	25,826	1,516
2020	220,550	4,335	909

Fuente: Municipio de Playa del Carmen.

VI.2.4 Parámetros de estimación

Los parámetros empleados en la estimación se obtuvieron de las Directrices 2006 (IPCC, 2006e) y del Refinamiento 2019 (IPCC, 2019), así como datos del Modelo Mexicano del Biogás 2.0 (MMB) (EPA & SCS Engineers, 2009), (Tabla 31, Tabla 32, Tabla 33, y Tabla 34).

Tabla VI.5 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
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_4)	MMB (US EPA & SCS Engineers, 2009	Tabla 4
Composición de los residuos a nivel municipal o estatal	SIMEPRODE	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: IPCC (2006d, Volumen 5 "Residuos", Capítulo 2).

Tabla VI.6 Valores de FCM

Sitio de disposición	Factor de corrección de metano (FCM)
Bien manejado semiaeróbico	0.5
Controlado anaeróbico	1
Sitio no gestionado poco profundo	0.4
Sitio no gestionado profundo	0.8
Sitio no categorizado	0.6

Fuente: IPCC (2006d, Volumen 5 "Residuos", Capítulo 3, p. 3.13).

Tabla VI.7 Valores de COD y CODF empleados

Parámetro	Comida	Jardín	Papel	Madera y paja	Textiles	Pañales	Lodos de PTAR	Sargazo
DOC	0.15	0.2	0.4	0.43	0.24	0.24	0.26	0.09
DOCf	0.23	0.23	0.5	0.1	0.5	0.5	0.23	0.23

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 VI.8 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
0.3	0.13	0.05	0.025	0.185

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

VI.2.5 Incertidumbres y coherencia de las series temporales

La incertidumbre de los DA (cantidad de residuos y su composición) proviene del Cuadro 3.5, cap. 3, vol. 5 de las Directrices 2006, y se cifra en ±64.03% para datos de actividad, en ±65.29% para los FE (factores de emisión y parámetros), y en ±38.47% el aporte a la varianza en las emisiones del 2023. La serie se considera coherente en el tiempo una vez registrados los hechos que ocasionaron las variaciones registradas.

VI.2.6 QA/QC de la categoría y verificación

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

VI.2.7 Mejoras previstas específicas de cada categoría

Se recomiendan las siguientes mejoras:

- Mantener un registro de la cantidad de residuos municipales depositados en todos los SDF.
- Elaborar un registro del sargazo depositado en los SDF.
- Elaborar estudios de composición de residuos en los SDF:
- Elaborar un registro de los residuos tratados biológicamente.

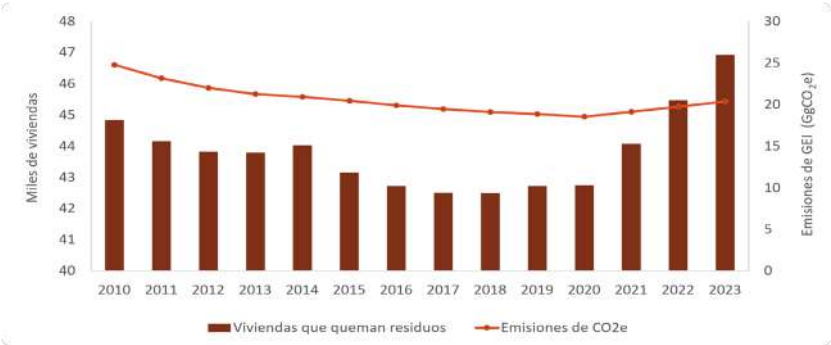
VI.3 [4C2] Quema abierta de residuos

VI.3.1 Descripción de la categoría

La quema abierta de desechos se define como la combustión de materiales combustibles no deseados, tales como papel, madera, plástico, textiles, caucho, desechos de aceites y otros residuos al aire libre o en vertederos abiertos, donde el humo y otras emisiones se liberan directamente al aire, sin pasar por una chimenea o columna (IPCC, 2006e). Los gases de efecto invernadero emitidos incluyen el CO_2, el metano (CH_4) y el óxido nitroso (N_2O). Normalmente, las emisiones de CO_2 provenientes de la quema de desechos son más significativas que las emisiones de CH_4 y N_2O.

La emisión por la quema abierta de residuos sólidos se estimó en 20.37 $GgCO_2e$ en 2023, cantidad que representó una reducción de -17.72% respecto a 2010. La evolución de las emisiones a lo largo del periodo se muestra en la Figura VI.5.

Figura VI.5 Emisiones de [4C2] Quema abierta de residuos ($GgCO_2e$), 2010-2023



Fuente: Elaboración propia con datos de los Censos de Población y Vivienda 2010 y 2020, así como la Encuesta Intercensal 2015 de INEGI, y la composición de los residuos para el estado de Quintana Roo con datos de datos de JICA (2014), SEDUMA (2009) y Ay Robertos, Brinckmann y Ayllón (2010).

VI.3.2 Metodología

Se utilizó la metodología de las Directrices 2006 (IPCC, 2006e) y el Refinamiento 2019 (IPCC, 2019). La quema a cielo abierto de residuos sólidos empleó el enfoque nivel 1, siguiendo el árbol de decisión de la Figura 5.1 del capítulo 5, vol. 5, de las Directrices 2006.

VI.3.3 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, 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 los residuos sólidos urbanos y de manejo especial 2009-2011 (IPN-SEDUMA-GIZ), y de los Diagnósticos Básicos para la Gestión Integral de Residuos 2012 y 2020 (SEMARNAT, 2012 y 2020).

VI.3.4 Factores de emisión (FE)

Las emisiones de CO_2 de la quema 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, IPCC, 2006e). 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_4 de la quema 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_2O se realizó considerando el FE por defecto de las Directrices 2006 (IPCC, 2006e), (tabla 5.6, vol. 5, cap. 5).

VI.3.5 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 236.40%. La incertidumbre de los FE se tomó de las Directrices (IPCC, 2006d) (vol. 5, cap. 5, tablas 3.5): 286.83% para CO_2, y 10% para CH_4 y N_2O. El porcentaje de incertidumbre total que esta subcategoría aporta al inventario se estimó en 199.30%.

VI.3.6 QA/QC de la categoría y verificación

Esta categoría sigue los principios generales de QA/QC.

VI.3.7 Mejoras previstas específicas de cada categoría

Se recomienda trabajar en la precisión de los datos de actividad, en colaboración con el INEGI, dado que las incertidumbres de los datos recabados para la entidad poseen un alto nivel de error.

VI.4 [4D] Tratamiento y eliminación de aguas residuales domésticas y aguas residuales industriales

VI.4.1 Descripción de la categoría

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.

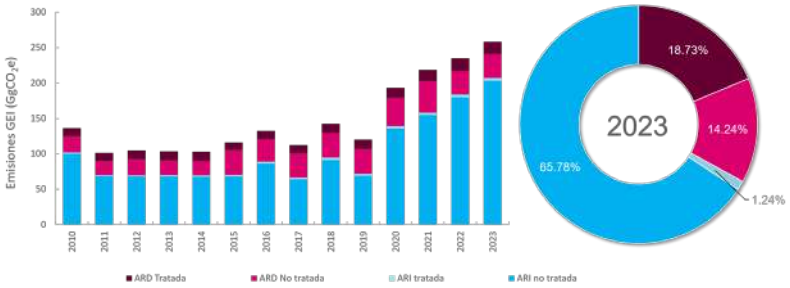
Los gases que se estiman en esta categoría son metano (CH_4) debido a la descomposición de materia orgánica en condiciones anaeróbicas y el óxido nitroso (N_2O) asociado a la degradación de los compuestos nitrogenados en las aguas residuales.

Las emisiones de dióxido de carbono (CO_2) procedentes de las aguas residuales no se consideran en las 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] para el estado de Quintana Roo se contabilizaron en 327.56 $GgCO_2e$, lo que representa un aumento con una TMCA de 4.77% respecto al año 2010. La evolución de las emisiones a lo largo del periodo se muestra en la Figura VI.6, 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 [4D2b] Aguas residuales industriales no tratadas.

Figura VI.6 Emisiones de [4D] Tratamiento y eliminación de aguas residuales ($GgCO_2e$)



Fuente: Elaboración propia.

Para el año 2023, se estimaron en 4.06 $GgCO_2e$ las emisiones asociadas al tratamiento de aguas residuales industriales [4D2a], lo que representa una contribución del 1.24% a las emisiones totales del sector [4D], siendo el Ingenio Azucarero el de mayor contribución a las emisiones generando el 1.10% de las emisiones totales del sector [4D]. Así mismo las emisiones derivadas de la eliminación de aguas residuales industriales sin tratamiento [4D2b] aportan un 65.78% a dichas emisiones.

En cuanto al tratamiento y eliminación de las aguas residuales domésticas, se registraron emisiones de 108.01 $GgCO_2e$ en 2023, equivalentes al 32.98% de las emisiones totales del sector [4D]. De estas, 61.37 $GgCO_2e$ corresponden al tratamiento, mientras que 46.65 $GgCO_2e$ se generan por la eliminación sin tratamiento de las aguas residuales domésticas.

VI.4.2 Metodología

La metodología usada es las descritas en las Directrices 2006 (IPCC, 2006e) y es completada con algunos elementos del Refinamiento 2019 (IPCC, 2019). Se usó Tier 1 mejorado para el cálculo de las emisiones de CH_4 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 Quintana Roo se consideraron dos zonas económicas, rurales y urbanas introduciendo el factor de 1.25 para la población urbana y 1 para la población rural.

[142]

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, 2022), 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_2O 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).

VI.4.3 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 (Tabla VI.9). Los datos de demanda bioquímica de oxígeno (DBO) (Tabla VI.10), 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 VI.9 Datos de actividad para la estimación de emisiones en [4D]

Datos de actividad	Fuente	Descripción
Caudal tratado doméstico (m^3/año)	CONAGUA	Información obtenida de reportes anuales 2010-2021, por PTAR
Caudal no tratado ARM (m^3/año)	(CONAGUA, 2021)	Reportes anuales 2010 al 2021, estatal
Caudal tratado de ARI (m3/año)	Cedula de Operación Anual (COA)	SEMARNAT, por PTARI
Caudal no tratado ARI (m^3/año)	(CONAGUA, 2021)	Reportes anuales 2010 al 2021, nacional
% 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

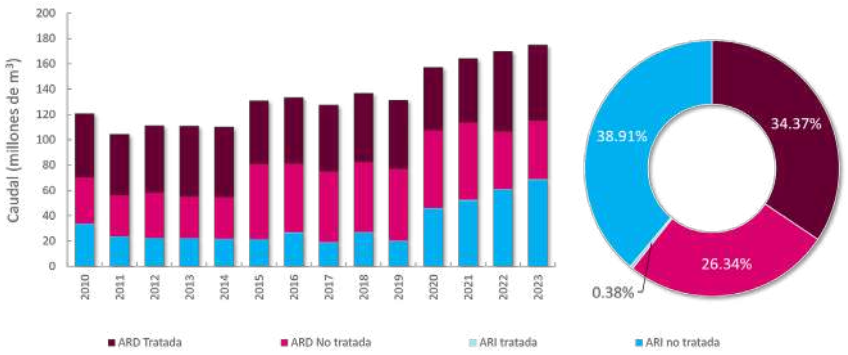
Fuente: Elaboración propia.

Tabla VI.10 Porcentaje de DBO en lodos por tipo de tratamiento

Tecnología de tratamiento	% DBO en lodos Sobre DBO		Consideraciones
	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.

Figura VI.7 Volumen de aguas residuales domésticas e industriales tratadas y no tratadas



Fuente: Elaboración propia.

En la Figura VI.7, se muestra el caudal de las aguas residuales domésticas e industriales tratadas y no tratadas en el estado de Quintana Roo para el periodo de 2010 al 2023.

VI.4.4 Factores de emisión (FE)

Los parámetros empleados para el cálculo de las emisiones de CH_4 y N_2O se enlistan en la Tabla VI.11.

Tabla VI.11 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_{REM}), según tipo de tratamiento	Refinamiento (IPCC, 2019)	
DQO industrias	(CONAGUA, (IPCC, 2006), PIB estatal, (INECC-SEMARNAT, 2023)	
I recolectadas (población urbana y rural)	Directrices (IPCC, 2006e), Refinamiento (IPCC, 2019)	1.25 (población urbana) /1.0 (población rural)
Bo ($kgCH_4/kgDBO$)	Refinamiento (IPCC, 2019)	0.6 $kgCH_4/kgDBO$ (debido a que en México no se dispones de datos específicos, se usa el valor más alto recomendado
Factor de conversión (kgDQO/kgDBO)	Directrices (IPCC, 2006e)	2.4 kgDQO/kgDBO
FNON-CON	Refinamiento (IPCC, 2019)	1.04 para Latinoamérica
$_{FNPR}$ (kgN/kg de proteína)	Directrices (IPCC, 2006e), Refinamiento (IPCC, 2019)	0.16 kgN/kg de proteína
FIND-COM	Directrices (IPCC, 2006e), Refinamiento (IPCC, 2019)	1.25
$EF_{EFLUENT}$ (kg N_2O-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_4 han sido los reportados por defecto en las Directrices de 2006 y para otros casos se utiliza la opinión o juicio de experto reportado en el INEGYCEI 1990-2019 (INECC-SEMARNAT, 2022), (Tabla VI.12). En la Tabla VI.13 se presenta la demanda bioquímica de oxígeno (DQO) para el sector industrial.

Tabla VI.12 MCF específicos del país considerado para cada uno de los diferentes tipos de tratamiento en Quintana Roo

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)

Tecnología de tratamiento	MCF	Fuente
Lodos activados (flujos menores a 100 l/S)	0.06	(Noyola, 2018)
RAFA o UASB	0.80	(IPCC, 2006e)
No tratada	0.10	(IPCC, 2006e)
Bo=capacidad máxima de producción de metano=0.6 $kgCH_4/kg$ DBO; FE=Bo*MCF ($kgCH_4/kgDBO$)		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla VI.13 Parámetros de DQO de las industrias en Quintana Roo

Industria	DQO (kg/m^3)	Fuente
Bebidas no alcohólicas	3.3	CONAGUA
Alimenticio	3.3	CONAGUA

Fuente: Elaboración propia con datos del INEGYCEI México 1990-2019 (INECC-SEMARNAT, 2022).

VI.4.5 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 ±83.17% (39.57 a 430.64 $GgCO_2e$) para [4D].

La serie se considera coherente en el tiempo al emplearse la misma metodología.

VI.4.6 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.

VI.4.7 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.
- 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 industrial dentro del estado de Quintana Roo.

VII Emisiones de Carbono Negro (CN)

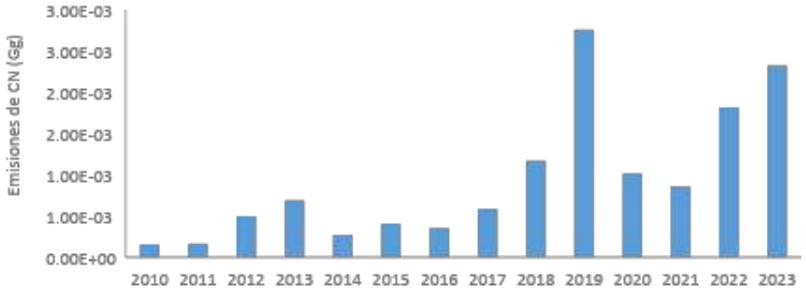
En 2023, se emitieron 0.53 Gg de CN, debido principalmente al sector transporte y en específico a la quema de diésel automotriz. A continuación, se incluye la descripción metodológica de los cálculos de las emisiones de carbono negro (CN) en las categorías donde se contabiliza. A continuación, se incluye la descripción metodológica de los cálculos de las emisiones de carbono negro (CN) en las categorías donde se contabiliza.

VII.1 [1A1] Industrias de la energía

VII.1.1 Descripción de la categoría

En esta categoría se contabilizan las emisiones de GEI debidas al consumo de combustibles para la categoría [1A1] Industrias de la energía. En el periodo 2010-2023 las emisiones de CN para la generación de energía aumentaron en 23.20% en promedio por año. En 2023 se estimaron en 0.0023 Gg, que representaron 0.4% de las emisiones de CN de ese año.

Figura VII.1 Emisiones de CN en [1A1] Industrias de la energía (GgCN), 2010-2023



Fuente: Elaboración propia con información de SEMARNAT (2024), SENER (2024a) y CRE (2022).

VII.1.2 Metodología

Las emisiones de carbono negro se estimaron utilizando un método nivel 1, a partir de los datos de actividad, de los factores de emisión para $PM_{2.5}$ y de los porcentajes de $PM_{2.5}$ y carbono negro para cada tipo de combustible, de acuerdo con la Ecuación 2 y Ecuación 3.

Ecuación 2. Emisiones de $PM_{2.5}$

$$EmisionesPM_{2.5} = \Sigma \left(Combustible_j * FE_{PM2.5j} \right)$$

Donde:

$EmisionesPM_{2.5}$	= Emisiones de $PM_{2.5}$ en (kg)
$Combustible_j$	= Dato de actividad/consumo de combustible por tipo $_j$ en (TJ)
$FEPM_{2.5j}$	= Factor de emisión de $PM_{2.5}$ por tipo de combustible $_j$, (en su caso, por tipo de actividad) (kg/TJ)

Fuente: INECC-SEMARNAT (2018).

Ecuación 3. Emisiones de CN

$$EmisionesCN = \Sigma \left(Emisiones_{PM2.5} * SH_j \right)$$

Donde:

$EmisionesCN$	= Emisiones de Carbono Negro en (kg)
$EmisionesPM_2$	= Emisiones de $PM_{2.5}$ en (kg)
SH_j	= Porcentaje de relación de CN/$PM_{2.5}$ por tipo de combustible (puede aplicar igualmente por tipo de actividad/sector)

Fuente: INECC-SEMARNAT (2018).

VII.1.3 Datos de actividad (DA)

Los datos de actividad (consumo de combustibles) fueron los mismos utilizados para el cálculo de las emisiones de gases de efecto invernadero.

VII.1.4 Factores de emisión (FE)

Los FE y los porcentajes de CN/$PM_{2.5}$ se tomaron del INEGYCEI 1990-2019 (INECC-SEMARNAT, 2022), a su vez éstos provienen de los perfiles de especiación de la Junta de Recursos del Aire de California[22]. En la Tabla VII.1 se presentan los parámetros y FE empleados para cada fuente de emisión.

Tabla VII.1 Factores de emisión de CN para la fuente de emisión [1A1a]

Combustible	FE $PM_{2.5}$ (kg/TJ)	SHARE CN/$PM_{2.5}$
Diésel	6.45	26%
Combustóleo	89.25	26%

Fuente: INECC-SEMARNAT (2022).

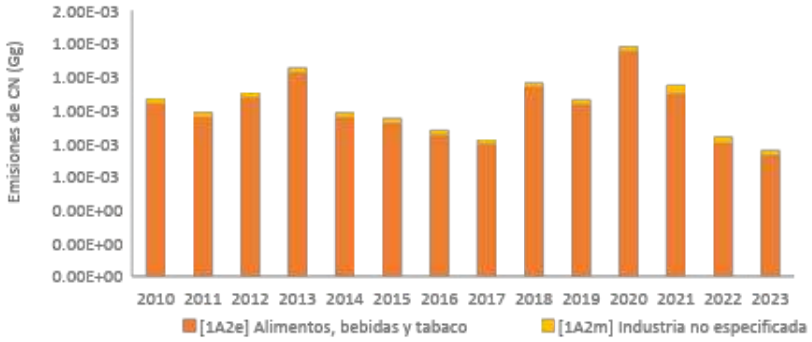
[22] Speciation Profiles Used in ARB Modeling. California Air Resources Board (CARB). California´s black carbon emission inventory, April, 2016.

VII.2 [1A2] Industrias de la manufactura y la construcción

VII.2.1 Descripción de la categoría

En 2023, las industrias de la manufactura y la construcción [1A2] contribuyeron con 0.0008 Gg de CN, lo que representa un decremento de -2.60% con respecto al 2010. La principal fuente de emisiones es la industria del procesamiento de los alimentos, bebida y tabaco [1A2e] con el 96.06% de las emisiones, y el resto corresponde a [1A2m] Industria no especificada: manufacturas.

Figura VII.2 Emisiones de CN en [1A2] en las industrias de la manufactura y la construcción (GgCN), 2010-2023



Fuente: Elaboración propia con información de SEMARNAT (2024), SENER (2024a) y CRE (2022).

VII.2.2 Metodología

Se emplea la metodología descrita anteriormente, empleando la Ecuación 2 para estimar las emisiones de $PM_{2.5}$, y la Ecuación 3 para estimar las emisiones de CN.

VII.2.3 Datos de actividad (DA)

Los datos de actividad (consumo de combustibles) son los utilizados para el cálculo de las emisiones de gases de efecto invernadero.

VII.2.4 Factores de emisión (FE)

Los FE y los porcentajes de $CN/PM_{2.5}$ se tomaron del INEGYCEI 1990-2019 (INECC-SEMARNAT, 2022), a su vez éstos provienen de los perfiles de especiación de la Junta de Recursos del Aire de

California. En la Tabla VII.2 se presentan los parámetros y FE empleados para cada fuente de emisión.

Tabla VII.2 Factores de emisión de CN para la fuente de emisión [1A2]

Combustible	FE $PM_{2.5}$ (kg/TJ)	SHARE CN/$PM_{2.5}$
Gas LP	2.77	7%
Diésel	6.45	26%
Bagazo de caña	939.76	30%
Leña	7.38	15%
Coque de petróleo	36.76	5%
Comb. alt. líquido	133.32	21%

Fuente: INECC-SEMARNAT (2022).

VII.3 [1A3] Transporte

VII.3.1 Descripción de la categoría

Con relación al comportamiento tendencial de las emisiones de carbono negro de la subcategoría transporte en el periodo de 2010 al 2023, se observa en la Tabla VII.3, un comportamiento ligeramente creciente de la TMCA de 2.26% al pasar de 0.30 GgCN en 2010 a 0.40 Gg CN en 2023.

Tabla VII.3 Históricos de emisiones de CN por combustibles [1A3] Transporte (GgCN)

Año	[1A3a] Aviación civil (Gg)		[1A3b] Transporte terrestre (Gg)			[1A3d] Transporte marítimo (Gg)	Total Gg de CN
	Turbosina	Gasavión	Gasolinas	Diésel automotriz	Gas LP	Diésel marino	
2010	1.33E-02	1.72E-05	2.56E-02	2.60E-01	1.10E-04	3.53E-04	0.30
2011	1.32E-02	1.80E-05	2.61E-02	2.66E-01	1.13E-04	3.84E-04	0.31
2012	1.77E-02	1.72E-05	2.67E-02	3.37E-01	1.43E-04	5.09E-04	0.38
2013	1.80E-02	1.43E-05	2.61E-02	2.89E-01	2.16E-04	3.13E-04	0.33
2014	1.95E-02	1.54E-05	2.62E-02	2.95E-01	2.25E-04	3.49E-04	0.34
2015	2.16E-02	1.74E-05	2.63E-02	2.91E-01	2.50E-04	3.27E-04	0.34
2016	2.40E-02	1.40E-05	2.71E-02	2.80E-01	2.25E-04	2.04E-04	0.33
2017	2.67E-02	1.27E-05	2.70E-02	2.83E-01	4.08E-04	3.02E-04	0.34
2018	2.82E-02	1.64E-05	2.69E-02	2.87E-01	4.80E-04	5.70E-04	0.32
2019	2.90E-02	1.28E-05	2.64E-02	2.71E-01	4.78E-04	4.66E-04	0.33
2020	1.80E-02	9.56E-06	2.25E-02	2.17E-01	5.89E-04	8.36E-05	0.26
2021	2.99E-02	1.33E-05	2.40E-02	2.09E-01	4.52E-04	1.02E-04	0.26
2022	3.61E-02	1.22E-05	2.67E-02	2.73E-01	3.77E-04	8.64E-05	0.34
2023	3.34E-02	1.25E-05	8.16E-02	2.84E-01	3.63E-04	2.17E-04	0.40

Fuente: Elaboración propia

Figura VII.3 Emisiones de [1A3] Transporte por tipo de combustible (GgCN), 2010-2023



Fuente: Elaboración propia

VII.3.2 Metodología

Se emplea la metodología descrita anteriormente, empleando la Ecuación 2 para estimar las emisiones de $PM_{2.5}$, y la Ecuación 3 para estimar las emisiones de CN.

VII.3.3 Datos de actividad (DA)

Los datos de actividad corresponden a los utilizados mediante el nivel 1 en el cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero.

VII.3.4 Factores de emisión (FE)

Los factores de emisión de $PM_{2.5}$ y carbono negro provienen del Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero 1990-2015 del INECC y de la Guía de Inventario de Emisiones 2019 del Programa Europeo de Monitoreo y Evaluación de la Agencia Europea de Medio Ambiente (EMEP/EEA) respectivamente. Los factores utilizados se muestran en la Tabla VII.4.

Tabla VII.4 Factores de emisión para $PM_{2.5}$ y carbono negro

Combustible	kg $PM_{2.5}$/TJ	CN/$PM_{2.5}$	Combustible	kg $PM_{2.5}$/TJ	CN/$PM_{2.5}$
Turbosina	6.85	0.48	Gasolina premium	7.38	0.15
Gasavión	7.38	0.15	Gas LP	2.97	0.25
Diésel autotransporte	74.25	0.69	Diésel marino	6.51	0.26
Gasolina regular	7.38	0.15			

[152]

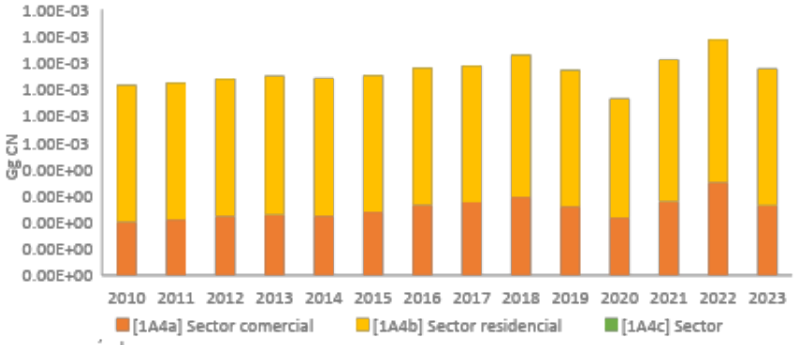
Fuente: INECC-SEMARNAT (2018), EEA (2019).

VII.4 [1A4] Otros sectores (comercial, residencial y agricultura)

VII.4.1 Descripción de la categoría

El consumo de energéticos en las actividades comerciales, de servicios, institucionales, residenciales y agropecuarias contribuyó en 2023 con 0.78 ton de CN (equivalentes a 0.0008 Gg), lo que representa una reducción de -8.5% con respecto al 2010. La principal fuente emisora es el sector residencial [1A4b] con el 66.19% de las emisiones, seguido del sector comercial e institucional [1A4a] con el 33.72%, y por las actividades agrícolas, silvícolas, de pesquería y piscifactoría [1A4c], con el 0.09%.

Figura VII.4 Emisiones de CN en [1A4] Otros sectores (GgCN), 2010-2023



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

VII.4.2 Metodología

Se emplea la metodología descrita anteriormente, empleando la Ecuación 2 para estimar las emisiones de $PM_{2.5}$, y la Ecuación 3 para estimar las emisiones de CN.

VII.4.3 Datos de actividad (DA)

Los datos de actividad (consumo de combustibles) fueron los mismos utilizados para el cálculo de las emisiones de gases de efecto invernadero.

VII.4.4 Factores de emisión (FE)

Los FE y los porcentajes de CN/$PM_{2.5}$ se tomaron del INEGYCEI 1990-2019 (INECC-SEMARNAT, 2022), a su vez éstos provienen de los perfiles de especiación de la Junta de Recursos del Aire de California. En la Tabla VII.5 se presentan los parámetros y FE empleados para cada fuente de emisión.

Tabla VII.5 Factores de emisión de CN y porcentaje de relación entre carbono negro y $PM_{2.5}$ para la subcategoría [1A4]

Combustible	FE $PM_{2.5}$ (kg/TJ)	Share BV $PM_{2.5}$
Diésel	2.55	20%
Gasolinas y naftas	7.38	15%
Gas LP	536.37	7%
Leña	464.59	17%
Carbón vegetal	14.77	5%

Fuente: INECC-SEMARNAT (2022).

VII.5 [3C1] Quema de biomasa

VII.5.1 Descripción de la categoría

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, 0.127 Gg de CN, donde la mayor aportación corresponde a la quema de biomasa en tierras de cultivo, con el 58.9% de las emisiones, seguido de las emisiones generadas por quema de biomasa en tierras forestales (40.08%) y en mucha menor proporción las emisiones por quema de biomasa en praderas (0.2%)

Se estima una tasa de crecimiento de 1.7% 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.

VII.5.2 Metodología

Método de nivel 1. Se tiene un solo factor de emisión por unidad de superficie, superficie quemada y un factor de especiación.

Ecuación 4. 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_{CN}=	Emisiones de carbono negro
A=	Superficie quemada (ha)
$FE_{PM2.5}$=	Factor de emisión de $PM_{2.5}$ por área (ha)
$FS_{CN/PM2.5}$=	Factor de especiación para convertir $PM_{2.5}$ en carbono negro

Método de nivel 2. Tiene factores de emisión basados en la biomasa y características específicas del combustible.

Ecuación 5. Estimaciones de carbono negro para quema a cielo abierto, nivel 2

$$E_{CN,k} = \left(0.45 * A_k * B_k * a_k * b_k\right) * FE_{k,PM_{2.5}} * FS_{k,CN/PM_{2.5}}$$

Dónde:

$E_{CN,k}$=	Emisiones de carbono negro de bioma k
0.45=	Fracción de carbono en el combustible
A_k=	Superficie quemada (ha) de bioma k
B_k=	Carga de combustible (masa de combustible por superficie de bioma k)
a_k=	Fracción de biomasa superficial para bioma k
b_k=	Eficiencia de combustión (fracción de combustible quemado para bioma k)
$FE_{PM2.5}$=	Factor de emisión de $PM_{2.5}$ para bioma k (emisiones por masa de carbono en el combustible [kg/kg-C en combustible])
$FS_{CN/PM2.5}$=	Factor de especiación para convertir $PM_{2.5}$ en carbono negro para bioma k

VII.5.3 [3C1b] Quema agrícola

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_2), partículas en suspensión de 2.5 y 10 micras ($PM_{2.5}$ y PM_{10}) y contaminantes de vida corta, Metano (CH_4) 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 6. Biomasa incinerada en campos de residuos agrícolas

$$r_{inc} = P * R_{r-c} * f_{ms} * f_{cinc}$$

Dónde:

r_{inc}=	Masa de residuo agrícola incinerado en campo (ton)
P=	Producción agrícola del cultivo
R_{c-r}=	Relación residuo-cultivo

f_{ms}= Fracción de materia seca
f_{cinc}= Fracción de cultivo incinerado en campo
f_{oxi}= Factor de oxidación (fracción de carbono que no se oxida), valor de 0.90 para residuos agrícolas

VII.5.4 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.

VII.5.5 Factores de emisión (FE)

Los factores de emisión obtenidos por el INECC son (Tabla VII.6):

Tabla VII.6 Factores de emisión de partículas $PM_{2.5}$, PM_{10} y CN para los principales cultivos en México

Quema de residuos	FE PM_{10} (g PM_{10}/Kg)	FE CN - PM_{10} (g CN/kg)	FE $PM_{2.5}$ (g $PM_{2.5}$/Kg)	FE CN - $PM_{2.5}$ (g CN/kg)	FE g del contaminante/ kg de residuo (EPA) $PM_{2.5}$
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: Múgica-Álvarez (2016).

Mientras que los elementos de residuos cultivos se presentan en la Tabla VII.7.

Tabla VII.7 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

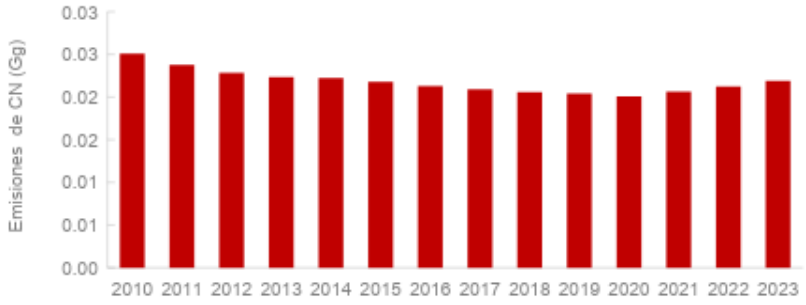
Fuente: INECC, 2016.

VII.6 [4C2] Quema abierta de residuos

VII.6.1 Descripción de la categoría

La quema abierta de residuos [4C2] contribuyó en 2023 con 28.89 toneladas CN, y entre 2010 y 2023 registró un decremento anual de -1.05%; no obstante, a partir de 2020 se observa un ligero incremento debido al mayor número de viviendas que quema residuos, de acuerdo con el último Censo Nacional de Población y Vivienda 2020 (INEGI), particularmente en los municipios de Tulum, Playa del Carmen, Cozumel y Felipe Carrillo Puerto.

Figura VII.5 Emisiones de CN en [4C2] Quema abierta de residuos (GgCN), 2010-2023



Fuente: Elaboración propia.

VII.6.2 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.

VII.6.3 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 Diagnóstico básico para la gestión integral de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial 2009-2011 (IPN-SEDUMA-GIZ), y los Diagnósticos Básicos para la Gestión Integral de Residuos 2012 y 2020 de SEMARNAT.

VII.6.4 Factores de emisión (FE)

El FE se obtuvo mediante una investigación realizada en México tomando en cuenta las características y circunstancias nacionales (Christian et al., 2010); definiendo un FE de 0.646 g CN/t de residuos quemados a cielo abierto.

VIIIAnexos

Anexo I: Categorías clave

La Tabla VIII.1 presenta las fuentes principales de emisión del inventario por tipo de gas, son 14 las fuentes que en su conjunto representaron el 95.22% de las emisiones del IEEGYCEI de Quintana Roo en 2023 (19,200.29 $GgCO_2e$).

Tabla VIII.1 Categorías clave ordenadas por nivel en 2023

Código	Categoría	GEI a evaluar	Emisiones o absorciones del año 2023 ($GgCO_2e$)	Valor absoluto de emisiones y absorciones del año 2023 ($GgCO_2e$)	Evaluación del nivel	Total acumulativo de la evaluación del nivel
3B1a	Tierras forestales que permanecen como tal	CO_2	(11,648.71)	11,648.71	57.7714531350%	**57.7714531350%**
1A3b	Transporte terrestre	CO_2	2,183.93	2,183.93	10.8311388719%	**68.6025920068%**
3B3b	Tierras convertidas en praderas	CO_2	1,358.87	1,358.87	6.7392840661%	**75.3418760729%**
1A3a	Aviación civil	CO_2	738.34	738.34	3.6617743533%	**79.0036504262%**
1A1ai	Generación de electricidad	CO_2	641.70	641.70	3.1825060863%	**82.1861565125%**
4A1	Sitios gestionados	CH_4	520.37	520.37	2.5807766938%	**84.7669332063%**
3B2b	Tierras convertidas a tierras de cultivo	CO_2	510.92	510.92	2.5339001673%	**87.3008333736%**
2F1a	Aire acondicionado estacionario	HFC	474.44	474.44	2.3529811809%	**89.6538145545%**
3A1	Fermentación entérica	CH_4	257.08	257.08	1.2749905552%	**90.9288051097%**
1A4a	Otros sectores (comercial/institucional)	CO_2	225.41	225.41	1.1178991403%	**92.0467042501%**
4D2	Tratamiento y eliminación de aguas residuales industriales	CH_4	207.11	207.11	1.0271612381%	**93.0738654881%**
4A2	Sitios no gestionados	CH_4	181.04	181.04	0.8978784252%	**93.9717439134%**
3B5b	Tierras convertidas en asentamientos	CO_2	143.82	143.82	0.7132757760%	**94.6850196893%**
3C1b	Emisiones de GEI por quemado de biomasa en tierras de cultivo	CH_4	108.54	108.54	0.5383015759%	**95.2233212653%**
1A3b	Transporte terrestre	N_2O	104.94	104.94	0.5204672511%	**95.7437885164%**
3B3a	Praderas que permanecen como tal	CO_2	(92.57)	92.57	0.4591000169%	**96.2028885333%**
3C4	Emisiones directas de N2O de suelos gestionados	N_2O	92.49	92.49	0.4586959682%	**96.6615845015%**
3C5	Emisiones indirectas de N2O de suelos gestionados	N_2O	75.05	75.05	0.3722311551%	**97.0338156566%**
1A4b	Otros sectores (residencial)	CO_2	69.46	69.46	0.3444930183%	**97.3783086749%**
4D1	Tratamiento y eliminación de aguas residuales domésticas	N_2O	56.73	56.73	0.2813334115%	**97.6596420864%**

Código	Categoría	GEI a evaluar	Emisiones o absorciones del año 2023 ($GgCO_2e$)	Valor absoluto de emisiones y absorciones del año 2023 ($GgCO_2e$)	Evaluación del nivel	Total acumulativo de la evaluación del nivel
3D1	Productos de madera recolectada	CO_2	(56.53)	56.53	0.2803601666%	**97.9400022530%**
4D1	Tratamiento y eliminación de aguas residuales domésticas	CH_4	51.29	51.29	0.2543516937%	**98.1943539467%**
3A2	Manejo de excretas	CH_4	43.11	43.11	0.2137962945%	**98.4081502412%**
3B2a	Tierras de cultivo que permanecen como tal	CO_2	(35.92)	35.92	0.1781290097%	**98.5862792509%**
3C1b	Emisiones de GEI por quemado de biomasa en tierras de cultivo	N_2O	31.46	31.46	0.1560412489%	**98.7423204998%**
3C1a	Emisiones de GEI por quemado de biomasa en tierras forestales	CH_4	29.47	29.47	0.1461416608%	**98.8884621606%**
1A2m	Industria no especificada	CO_2	27.78	27.78	0.1377718019%	**99.0262339625%**
1A4b	Otros sectores (residencial)	CH_4	21.88	21.88	0.1085247611%	**99.1347587236%**
3C3	Aplicación de urea	CO_2	19.85	19.85	0.0984523133%	**99.2332110369%**
3B1b	Tierras convertidas a tierras forestales	CO_2	(19.21)	19.21	0.0952675875%	**99.3284786244%**
3B6b	Tierras convertidas en otras tierras	CO_2	17.79	17.79	0.0882067025%	**99.4166853269%**
4A3	Sitios no categorizados	CH_4	16.84	16.84	0.0835278407%	**99.5002131675%**
4D2	Tratamiento y eliminación de aguas residuales industriales	N_2O	12.43	12.43	0.0616553019%	**99.5618684694%**
1A3b	Transporte terrestre	CH_4	10.93	10.93	0.0542199144%	**99.6160883839%**
3B4b	Tierras convertidas en humedales	CO_2	10.11	10.11	0.0501378394%	**99.6662262233%**
1A3d	Navegación marítima y fluvial	CO_2	9.29	9.29	0.0460735092%	**99.7122997324%**
4C2	Quema abierta de residuos	CH_4	9.24	9.24	0.0458172581%	**99.7581169905%**
4C2	Quema abierta de residuos	CO_2	9.11	9.11	0.0451916922%	**99.8033086827%**
3C1a	Emisiones de GEI por quemado de biomasa en tierras forestales	N_2O	8.20	8.20	0.0406801892%	**99.8439888719%**
3C6	Emisiones indirectas de N2O por SME	N_2O	7.77	7.77	0.0385259177%	**99.8825147896%**
1A3a	Aviación civil	N_2O	5.39	5.39	0.0267268579%	**99.9092416475%**
1A4b	Otros sectores (residencial)	N_2O	2.77	2.77	0.0137415474%	**99.9229831948%**
1A2e	Procesamiento de los alimentos, bebida y tabaco	N_2O	2.56	2.56	0.0127070302%	**99.9356902251%**
1A2e	Procesamiento de los alimentos, bebida y tabaco	CH_4	2.04	2.04	0.0101201880%	**99.9458104130%**
2F1a	Aire acondicionado estacionario	HCFC	2.02	2.02	0.0100401545%	**99.9558505676%**
4C2	Quema abierta de residuos	N_2O	2.02	2.02	0.0100067913%	**99.9658573588%**
3A2	Manejo de excretas	N_2O	1.61	1.61	0.0079782045%	**99.9738355633%**

Código	Categoría	GEI a evaluar	Emisiones o absorciones del año 2023 ($GgCO_2e$)	Valor absoluto de emisiones y absorciones del año 2023 ($GgCO_2e$)	Evaluación del nivel	Total acumulativo de la evaluación del nivel
1A1ai	Generación de electricidad	N_2O	1.40	1.40	0.0069459591%	**99.9807815224%**
1A2e	Procesamiento de los alimentos, bebida y tabaco	CO_2	1.20	1.20	0.0059671931%	**99.9867487155%**
1A4a	Otros sectores (comercial/institucional)	CH_4	0.83	0.83	0.0041082923%	**99.9908570078%**
1A1ai	Generación de electricidad	CH_4	0.74	0.74	0.0036695633%	**99.9945265711%**
1A4c	Otros sectores (Agricultura/Silvicultura/Pesca/Piscifactorías; Estacionaria)	CO_2	0.68	0.68	0.0033750610%	**99.9979016321%**
1A4a	Otros sectores (comercial/institucional)	N_2O	0.16	0.16	0.0008108136%	**99.9987124456%**
1A3a	Aviación civil	CH_4	0.14	0.14	0.0007059925%	**99.9994184381%**
1A3d	Navegación marítima y fluvial	N_2O	0.07	0.07	0.0003317462%	**99.9997501843%**
1A3d	Navegación marítima y fluvial	CH_4	0.02	0.02	0.0001226835%	**99.9998728678%**
1A2m	Industria no especificada	CH_4	0.01	0.01	0.0000592817%	**99.9999321495%**
1A2m	Industria no especificada	N_2O	0.01	0.01	0.0000561209%	**99.9999882705%**
1A4c	Otros sectores (Agricultura/Silvicultura/Pesca/Piscifactorías; Estacionaria)	CH_4	0.001	0.001	0.0000072601%	**99.9999955306%**
1B2a	Emisiones fugitivas. Petróleo	CO_2	0.001	0.001	0.0000025474%	**99.9999980779%**
1A4c	Otros sectores (Agricultura/Silvicultura/Pesca/Piscifactorías; Estacionaria)	N_2O	0.0003	0.0003	0.0000013742%	**99.9999994522%**
1B2a	Emisiones fugitivas. Petróleo	N_2O	0.0001	0.0001	0.0000005462%	**99.9999999984%**
1B2a	Emisiones fugitivas. Petróleo	CH_4	0.0000003	0.0000003	0.0000000016%	**100.0000000000%**
3C1c	Emisiones de GEI por quemado de biomasa en praderas	CH_4	-	-	0.0000000000%	**100.0000000000%**
3C1c	Emisiones de GEI por quemado de biomasa en praderas	N_2O	-	-	0.0000000000%	**100.0000000000%**
3C7	Cultivo de arroz	CH_4	-	-	0.0000000000%	**100.0000000000%**
Total			**(3,542.44)**	**20,163.43**	**100.0000000000%**	

Fuente: Elaboración propia.

Anexo II: Evaluación de la incertidumbre

Tabla VIII.2 Incertidumbres por fuente

Nivel	Emisiones / absorciones 2023 (Gg)	Incertidumbre combinada como % del total de emisiones estatales en el año 2023	- U	+ U
[1] Energía	4,051.71	4.25	3,879.31	4,224.10
[1A] Actividades de quema del combustible	4,051.71	4.25	3,879.31	4,224.10
[1A1] Industrias de la energía	643.84	5.13	610.79	676.90
[1A1a] Producción de electricidad y calor como actividad principal	643.84	5.13	610.79	676.90
[1A2] Industrias de la manufactura y la construcción	33.61	15.75	28.32	38.90
[1A2e] Procesamiento de los alimentos, bebida y tabaco	5.81	18.39	4.74	6.87
[1A2m] Industria no especificada: manufacturas	27.80	5.00	26.41	29.19
[1A3] Transporte	3,053.06	5.44	2,887.11	3,219.00
[1A3a] Aviación civil	743.87	5.04	706.35	781.39
[1A3b] Transporte terrestre	2,299.81	7.03	2,138.16	2,461.45
[1A3d] Navegación marítima y fluvial	9.38	7.16	8.71	10.05
[1A4] Otros sectores (comercial, residencial y agricultura)	321.20	10.14	288.63	353.76
[1A4a] Comercial / institucional	226.40	4.64	215.90	236.90
[1A4b] Residencial	94.11	32.75	63.29	124.94
[1A4c] Agricultura/ Silvicultura/ Pesca/Piscifactorías	0.68	5.00	0.65	0.72
[1B] Emisiones fugitivas provenientes de la fabricación de combustibles	6.24E-04	1.85E-05	6.24E-04	6.24E-04
[1B2] Petróleo y gas natural	0.001	119.96	-0.0001	0.0014
[1B2a] Petróleo	0.001	119.96	-0.0001	0.0014
[2] Procesos industriales y uso de productos	476.47	55.28	213.09	739.84
[2F] Uso de productos sustitutos de las sustancias que agotan la capa de ozono	476.47	55.28	213.09	739.84
[2F1] Refrigeración y aire acondicionado	476.47	55.28	213.09	739.84
[2F1a] Refrigeración y aire acondicionado estacionario	476.47	55.28	213.09	739.84
[3] ASOUT	-9,136.79	121.03	1,921.20	-20,194.78
[3] ASOUT sin absorciones	674.64	35.61	434.39	914.88
[3A] Ganado	301.80	36.48	191.69	411.91
[3A1] Fermentación entérica	257.08	42.51	147.79	366.37
[3A2] Manejo de excretas	44.72	30.05	31.28	58.16
[3B] Tierra	-9,754.90	113.33	1,300.46	-20,810.25

Nivel	Emisiones / absorciones 2023 (Gg)	Incertidumbre combinada como % del total de emisiones estatales en el año 2023	- U	+ U
[3B1] Tierras forestales	-11,667.92	57,350.80	6,679,975.13	-6,703,310.97
[3B1a] Tierras forestales que permanecen como tal	-11,648.71	57,350.79	6,668,976.17	-6,692,273.59
[3B1b] Tierras convertidas a tierras forestales	-19.21	38.87	-11.74	-26.68
[3B2] Tierras de cultivo	475.00	30.95	328.01	622.00
[3B2] Tierras de cultivo	-35.92	-3.85	-37.30	-34.53
[3B2a] Tierras de cultivo que permanecen como tal	510.92	30.71	354.04	667.80
[3B3] Praderas	1,266.30	71.98	354.78	2,177.83
[3B3a] Praderas que permanecen como tal	-92.57	-46.17	-135.31	-49.83
[3B3b] Tierras convertidas a praderas	1,358.87	55.23	608.43	2,109.32
[3B4] Humedales	10.11	35.35	6.54	13.68
[3B4b] Tierras convertidas en humedales	10.11	35.35	6.54	13.68
[3B5] Asentamientos	143.82	31.54	98.45	189.19
[3B5b] Tierras convertidas a asentamientos	143.82	31.54	98.45	189.19
[3B6] Otras tierras	17.79	25.37	13.27	22.30
[3B6b] Tierras convertidas en otras tierras	17.79	25.37	13.27	22.30
[3C] Fuentes agregadas y fuentes de emisión no CO_2 de la tierra	372.84	57.27	159.31	586.36
[3C1] Quema de biomasa	177.67	116.93	-30.08	385.42
[3C1a] Emisiones de GEI por quemado de biomasa en tierras forestales	37.67	54.81	17.02	58.32
[3C1b] Emisiones de GEI por quemado de biomasa en tierras de cultivo	140.00	9.34	126.92	153.09
[3C1c] Emisiones de GEI por quemado de biomasa en praderas	0.00	NA	NA	NA
[3C3] Aplicación de urea	19.85	50.00	9.93	29.78
[3C4] Emisiones directas de N_2O de suelos gestionados	92.49	40.66	54.88	130.10
[3C5] Emisiones indirectas de N_2O de suelos gestionados	75.05	40.17	44.91	105.20
[3C6] Emisiones indirectas de N_2O por SME	7.77	40.28	4.64	10.90
[3C7] Cultivo de arroz	0.00	NA	NA	NA
[3D]Otros	-56.53	41.11	-33.29	-79.77

Nivel	Emisiones / absorciones 2023 (Gg)	Incertidumbre combinada como % del total de emisiones estatales en el año 2023	- U	+ U
[3D1] Productos de madera recolectada	-56.53	41.11	-33.29	-79.77
[4] Residuos	1,066.18	40.86	630.49	1,501.87
[4A] Eliminación de residuos sólidos	718.26	38.47	441.95	994.57
[4A1] Sitios gestionados	520.37	50.50	257.59	783.15
[4A2] Sitios no gestionados	181.04	46.84	96.24	265.84
[4A3] Sitios no categorizados	16.84	60.16	6.71	26.97
[4C] Incineración y quema abierta de residuos	20.37	199.30	-20.22	60.96
[4C2] Quema a cielo abierto de residuos	20.37	199.30	-20.22	60.96
[4D] Tratamiento y eliminación de aguas residuales	327.56	102.09	-6.86	661.97
[4D1] Tratamiento y eliminación de aguas residuales domésticas	108.01	21.34	84.96	131.06
[4D2] Tratamiento y eliminación de aguas residuales industriales	219.54	151.96	-114.07	553.16
Inventario (emisiones netas)	-3,542.44	312.53	7,528.61	-14,613.48
Inventario (emisiones sin 3B, 3D)	6,268.99	9.39	5,680.24	6,857.74

Nota: NA indica que no existe información en el año base o de reporte para estimar el valor de incertidumbre.
Fuente: Elaboración propia.

Anexo III Fuentes estimadas y no estimadas

Tabla VIII.3 Fuentes estimadas y no estimadas en el IEEGYCEI de Quintana Roo, 2023

Código del IPCC	Nombre de la categoría	Estatus	Gases
1	ENERGÍA	Estimada	CO_2, CH_4, N_2O
1A	Actividades de quema de combustible	E	CO_2, CH_4 , N_2O
1A1	Industrias de la energía	E	CO_2, CH_4, N_2O
1A1a	Producción de electricidad y calor como actividad principal	E	CO_2, CH_4, N_2O
1A1ai	Generación de electricidad	E	CO_2, CH_4, N_2O
1A1aii	Generación combinada de calor y energía (CHP)	NO	-
1A1aiii	Plantas generadoras de energía	NE	CO_2, CH_4, N_2O
1A1b	Refinación del petróleo	NO	-
1A1c	Fabricación de combustibles sólidos y otras industrias energéticas	NO	-
1A1ci	Manufactura de combustibles sólidos	NO	-
1A1cii	Otras industrias de la energía	NO	-
1A2	Industrias manufactureras y de la construcción	E	CO_2, CH_4, N_2O
1A2a	Hierro y acero	NO	-
1A2b	Metales no ferrosos	NO	-
1A2c	Productos químicos	NO	-
1A2d	Pulpa, papel e imprenta	NO	-
1A2e	Procesamiento de los alimentos, bebida y tabaco	E	CO_2, CH_4, N_2O
1A2f	Minerales no metálicos	NO	-
1A2g	Equipo de transporte	NO	-
1A2h	Maquinaria	NO	-
1A2i	Minería (con excepción de combustibles) y cantería	NO	-
1A2j	Madera y productos de madera	NO	-
1A2k	Construcción	NO	-
1A2l	Textiles y cuero	NO	-
1A2m	Industria no especificada: manufacturas	E	CO_2, CH_4, N_2O
1A3	Transporte	E	CO_2, CH_4, N_2O
1A3a	Aviación civil	E	CO_2, CH_4, N_2O
1A3ai	Aviación internacional (Tanques de combustible internacional)	E	CO_2, CH_4, N_2O
1A3aii	Aviación de cabotaje	E	CO_2, CH_4, N_2O
1A3b	Transporte terrestre	E	CO_2, CH_4, N_2O
1A3bi	Automóviles	E	CO_2, CH_4, N_2O
1A3bi1	Automóviles de pasajeros con catalizadores tridireccionales	E	CO_2, CH_4, N_2O
1A3bi2	Automóviles de pasajeros sin catalizadores tridireccionales	E	CO_2, CH_4, N_2O
1A3bii	Camiones para servicio ligero	E	CO_2, CH_4, N_2O
1A3bii1	Camiones para servicio ligero con catalizadores tridireccionales	E	CO_2, CH_4, N_2O
1A3bii2	Camiones para servicio ligero sin catalizadores tridireccionales	E	CO_2, CH_4, N_2O
1A3biii	Camiones para servicio pesado y autobuses	E	CO_2, CH_4, N_2O

Código del IPCC	Nombre de la categoría	Estatus	Gases
1A3biv	Motocicletas	E	CO_2, CH_4, N_2O
1A3bv	Emisiones por evaporación procedentes de vehículos	E	CO_2, CH_4, N_2O
1A3bvi	Catalizadores basados en urea	E	CO_2, CH_4, N_2O
1A3c	Ferrocarriles	NE	-
1A3d	Navegación marítima y fluvial	E	CO_2, CH_4, N_2O
1A3di	Navegación marítima y fluvial internacional (Tanques de combustible internacional)	NE	-
1A3dii	Navegación marítima y fluvial nacional	NO	-
1A3e	Otro tipo de transporte	NE	-
1A3ei	Transporte por gasoductos	NO	-
1A3eii	Todo terreno	NE	-
1A4	Otros sectores	E	
1A4a	Comercial/Institucional	E	CO_2, CH_4, N_2O
1A4b	Residencial	E	CO_2, CH_4, N_2O
1A4c	Agricultura/Silvicultura/Pesca/Piscifactorías	E	CO_2, CH_4, N_2O
1A4ci	Estacionario	E	CO_2, CH_4, N_2O
1A4cii	Vehículos todo terreno y otra maquinaria	NE	-
1A4ciii	Pesca (combustión móvil)	NE	-
1A5	No especificado	NE	-
1A5a	Estacionario	NE	-
1A5b	Móvil	NE	-
1A5bi	Móviles (componente de aviación)	NE	-
1A5bii	Móviles (componente de navegación marítima y fluvial)	NE	-
1A5biii	Móviles (otros)	NE	-
1A5c	Operaciones multilaterales	NE	-
1B	Emisiones fugitivas provenientes de la fabricación de combustibles	E	CO_2, CH_4, N_2O
1B1	Combustibles sólidos	NO	-
1B1a	Minería carbonífera y manejo del carbón	NO	-
1B1ai	Minas subterráneas	NO	-
1B1ai1	Minería	NO	-
1B1ai2	Emisiones de gas de carbono posteriores a la minería	NO	-
1B1ai3	Minas subterráneas abandonadas	NO	-
1B1ai4	Quema en antorcha de metano drenado o conversión de metano en CO_2	NO	-
1B1aii	Minas de superficie	NO	-
1B1aii1	Minería	NO	-
1B1aii2	Emisiones de gas de carbono posteriores a la minería	NO	-
1B1b	Combustión no controlada y vertederos para quema de carbón	NO	-
1B1c	Transformación de combustibles sólidos	NO	-
1B2	Petróleo y gas natural	E	CO_2, CH_4, N_2O
1B2a	Petróleo	E	CO_2, CH_4, N_2O
1B2ai	Venteo	NO	-
1B2aii	Quema en antorcha	NO	-

Código del IPCC	Nombre de la categoría	Estatus	Gases
1B2aiii	Todos los demás	NO	-
1B2aiii1	Exploración	NO	-
1B2aiii2	Producción y refinación	NO	-
1B2aiii3	Transporte	E	CO_2, CH_4, N_2O
1B2aiii4	Refinación	NO	-
1B2aiii5	Distribución de los productos del petróleo	NO	-
1B2aiii6	Otros	NE	-
1B2b	Gas natural	NO	-
1B2bi	Venteo	NO	-
1B2bii	Quema en antorcha	NO	-
1B2biii	Todos los demás	NO	-
1B2biii1	Exploración	NO	-
1B2biii2	Producción	NO	-
1B2biii3	Procesamiento	NO	-
1B2biii4	Transmisión y almacenamiento	NO	-
1B2biii5	Distribución	NO	-
1B2biii6	Otros (fuga)	NO	-
1B3	Otras emisiones provenientes de la producción de energía	NO	-
1C	Transporte y almacenamiento de dióxido de carbono	NO	-
1C1	Transporte de CO2	NO	-
1C1a	Gasoductos	NO	-
1C1b	Embarcaciones	NO	-
1C1c	Otros (sírvase especificar)	NO	-
1C2	Inyección y almacenamiento	NO	-
1C2a	Inyección	NO	-
1C2b	Almacenamiento	NO	-
1C3	Otros	NO	-
2	PROCESOS INDUSTRIALES Y USO DE PRODUCTOS	E	HFC, HCFC
2A	Industria de los minerales	NO	-
2A1	Producción de cemento	NO	-
2A2	Producción de cal	NO	-
2A3	Producción de vidrio	NO	-
2A4	Otros usos de carbonatos en los procesos	NO	-
2A4a	Cerámicas	NO	-
2A4b	Otros usos de la ceniza de sosa	NO	-
2A4c	Producción de magnesia no metalúrgica	NO	-
2A4d	Otros (sírvase especificar)	NO	-
2A5	Otros (sírvase especificar)	NO	-
2B	Industria química	NO	-
2B1	Producción de amoníaco	NO	-
2B2	Producción de ácido nítrico	NO	-

Código del IPCC	Nombre de la categoría	Estatus	Gases
2B3	Producción de ácido adípico	NO	-
2B4	Producción de caprolactama, glyoxal y ácido glyoxílico	NO	-
2B5	Producción de carburo	NO	-
2B6	Producción de dióxido de titanio	NO	-
2B7	Producción de ceniza de sosa	NO	-
2B8	Producción petroquímica y de negro de humo	NO	-
2B8a	Metanol	NO	-
2B8b	Etileno	NO	-
2B8c	Dicloruro de etileno y monómero de cloruro de vinilo	NO	-
2B8d	Óxido de etileno	NO	-
2B8e	Acrilonitrilo	NO	-
2B8f	Negro de humo	NO	-
2B9	Producción fluoroquímica	NO	-
2B9a	Emisiones de productos derivados	NO	-
2B9b	Emisiones fugitivas	NO	-
2B10	Otros (Producción de químicos básicos inorgánicos)	NO	-
2C	Industria de los metales	NO	-
2C1	Producción de hierro y acero	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 (sírvase especificar)	NO	-
2D	Uso de productos no energéticos de combustibles y de solvente	NO	-
2D1	Uso de lubricante	NO	-
2D2	Uso de la cera de parafina	NO	-
2D3	Uso de solvente	NO	-
2D4	Otros (sírvase especificar)	NO	-
2E	Industria electrónica	NO	-
2E1	Circuito integrado o semiconductor	NO	-
2E2	Pantalla plana tipo TFT	NO	-
2E3	Productos fotovoltaicos	NO	-
2E4	Fluido de transporte y transferencia térmica	NO	-
2E5	Otros	NO	-
2F	Usos de productos como sustitutos de las sustancias que agotan la capa de ozono	E	HFC, HCFC
2F1	Refrigeración y aire acondicionado	E	HFC, HCFC
2F1a	Refrigeración y aire acondicionado estacionario	E	HFC, HCFC
2F1b	Aire acondicionado móvil	NE	-
2F2	Agentes espumantes	NE	-
2F3	Productos contra incendios	NE	-

Código del IPCC	Nombre de la categoría	Estatus	Gases
2F4	Aerosoles	NE	-
2F5	Solventes	NE	-
2F6	Otras aplicaciones (sírvase especificar)	NE	-
2G	Manufactura y utilización de otros productos	NE	-
2G1	Equipos eléctricos	NO	-
2G1a	Manufactura de equipos eléctricos	NO	-
2G1b	Uso de equipos eléctricos	NE	-
2G1c	Eliminación de equipos eléctricos	NE	-
2G2	SF_6 y PFC del uso de otros productos	NO	-
2G2a	Aplicaciones militares	NO	-
2G2b	Aceleradores	NO	-
2G2c	Otros (sírvase especificar): Aislante térmico	NO	-
2G3	N_2O del uso de productos	NO	-
2G3a	Aplicaciones médicas	NO	-
2G3b	Propulsor para productos presurizados y aerosoles	NO	-
2G3c	Otros (sírvase especificar)	NO	-
2G4	Otros (sírvase especificar)	NO	-
2H	Otros	NO	-
2H1	Industria de la pulpa y del papel	NO	-
2H2	Industria de la alimentación y la bebida	NO	-
2H3	Otros	NO	-
3	AGRICULTURA, SILVICULTURA Y OTROS USOS DE LA TIERRA	E	CO_2, CH_4, N_2O
3A	Ganado	E	CH_4 y N_2O
3A1	Fermentación entérica	E	CH_4
3A1a	Ganado	E	CH_4
3A1ai	Vacas lecheras	E	CH_4
3A1aii	Otro ganado	NE	-
3A1b	Búfalos	NO	-
3A1c	Ovejas	E	CH_4
3A1d	Cabras	E	CH_4
3A1e	Camellos	NO	-
3A1f	Caballos	E	CH_4
3A1g	Mulas y asnos	E	CH_4
3A1h	Cerdos	E	CH_4
3A1j	Otros (Ave carne/huevo y Guajolotes)	E	CH_4
3A2	Manejo de excretas	E	CH_4 y N_2O
3A2a	Ganado	E	CH_4 y N_2O
3A2ai	Vacas lecheras	E	CH_4 y N_2O
3A2aii	Otro ganado	NE	-
3A2b	Búfalos	NO	-
3A2c	Ovejas	E	CH_4 y N_2O

Código del IPCC	Nombre de la categoría	Estatus	Gases
3A2d	Cabras	E	CH_4 y N_2O
3A2e	Camellos	NO	-
3A2f	Caballos	E	CH_4 y N_2O
3A2g	Mulas y asnos	E	CH_4 y N_2O
3A2h	Cerdos	E	CH_4 y N_2O
3A2i	Aves de corral	E	CH_4 y N_2O
3A2j	Otros (sírvase especificar)	E	CH_4 y N_2O
3B	Tierra	E	CO_2
3B1	Tierras forestales	E	CO_2
3B1a	Tierras forestales que permanecen como tales	E	CO_2
3B1b	Tierras convertidas en tierras forestales	E	CO_2
3B1bi	Tierras de cultivo convertidas en tierras forestales	E	CO_2
3B1bii	Praderas convertidas en tierras forestales	E	CO_2
3B1biii	Humedales convertidos en tierras forestales	E	CO_2
3B1biv	Asentamientos convertidos en tierras forestales	NE	-
3B1bv	Otras tierras convertidas en tierras forestales	E	CO_2
3B2	Tierras de cultivo	NO	-
3B2a	Tierras de cultivo que permanecen como tales	E	CO2
3B2b	Tierras convertidas en tierras de cultivo	E	CO_2
3B2bi	Tierras forestales convertidas en tierras de cultivo	E	CO_2
3B2bii	Praderas convertidas en tierras de cultivo	E	CO_2
3B2biii	Humedales convertidos en tierras de cultivo	E	CO_2
3B2biv	Asentamientos convertidos en tierras de cultivo	NO	-
3B2bv	Otras tierras convertidas en tierras de cultivo	NE	-
3B3	Praderas	E	CO_2
3B3a	Praderas que permanecen como tales	E	CO_2
3B3b	Tierras convertidas en praderas	E	CO_2
3B3bi	Tierras forestales convertidas en praderas	E	CO_2
3B3bii	Tierras de cultivo convertidas en praderas	E	CO_2
3B3biii	Humedales convertidos en praderas	E	CO_2
3B3biv	Asentamientos convertidos en praderas	E	CO_2
3B3bv	Otras tierras convertidas en praderas	E	CO_2
3B4	Humedales	E	CO_2
3B4a	Humedales que permanecen como tales	NE	-
3B4ai	Bonales que permanecen como tales	NE	-
3B4aii	Tierras inundadas que permanecen como tales	NE	-
3B4b	Tierras convertidas en humedales	E	CO_2
3B4bi	Tierras convertidas para la extracción de turba	NE	-
3B4biii	Tierras convertidas en tierras inundadas	NE	-
3B4biii	Tierras convertidas en otros humedales	E	CO_2
3B5	Asentamientos	E	CO_2

Código del IPCC	Nombre de la categoría	Estatus	Gases
3B5a	Asentamientos que permanecen como tales	NE	-
3B5b	Tierras convertidas en asentamientos	E	CO_2
3B5bi	Tierras forestales convertidas en asentamientos	E	CO_2
3B5bii	Tierras de cultivo convertidas en asentamientos	NE	-
3B5biii	Praderas convertidas en asentamientos	E	CO_2
3B5biv	Humedales convertidos en asentamientos	NO	-
3B5bv	Otras tierras convertidas en asentamientos	NO	-
3B6	Otras tierras	E	CO_2
3B6a	Otra tierra que permanece como tal	NE	-
3B6b	Tierras convertidas en otras tierras	E	CO_2
3B6bi	Tierras forestales convertidas en otras tierras	E	CO_2
3B6bii	Tierras de cultivo convertidas en otras tierras	NE	-
3B6biii	Pastizales convertidos en otras tierras	E	CO_2
3B6biv	Humedales convertidos en otras tierras	NO	-
3B6bv	Asentamientos convertidos en otras tierras	NO	-
3C	Fuentes agregadas y fuentes de emisión no CO_2 en la tierra	E	CH_4 y N_2O
3C1	Emisiones de la quema de biomasa	E	CH_4 y N_2O
3C1a	Quemado de biomasa en tierras forestales	E	CH_4 y N_2O
3C1b	Quemado de biomasa en tierras de cultivo	E	CH_4 y N_2O
3C1c	Quemado de biomasa en pastizales	E	CH_4 y N_2O
3C1d	Quemado de biomasa en todas las otras tierras	NE	-
3C2	Encalado	NO	-
3C3	Aplicación de urea	E	CO_2
3C4	Emisiones directas de N2O de los suelos gestionados	E	N_2O
3C5	Emisiones indirectas de N2O de los suelos gestionados	E	N_2O
3C6	Emisiones indirectas de N2O resultantes de la gestión del estiércol	E	N_2O
3C7	Cultivo del arroz	E	CH_4
3C8	Otros (sírvase especificar)	NO	-
3D	Otros	E	CO_2
3D1	Productos de madera recolectada	E	CO_2
3D2	Otros (sírvase especificar)	NO	-
4	DESECHOS	E	CH_4, CO_2, N_2O
4A	Eliminación de desechos sólidos	E	CH_4
4A1	Sitios de eliminación de desechos gestionados	E	CH_4
4A2	Sitios de eliminación de desechos no gestionados	E	CH_4
4A3	Sitios de eliminación de desechos no categorizados	E	CH_4
4B	Tratamiento biológico de los desechos sólidos	NE	-
4C	Incineración y quema abierta de desechos	E	CO_2, CH_4, N_2O
4C1	Incineración de desechos	NO	-
4C2	Quema abierta de desechos	E	CO_2, CH_4, N_2O
4D	Tratamiento y eliminación de aguas residuales	E	CH_4, N_2O

Código del IPCC	Nombre de la categoría	Estatus	Gases
4D1	Tratamiento y eliminación de aguas residuales domésticas	E	CH_4, N_2O
4D2	Tratamiento y eliminación de aguas residuales industriales	E	CH_4, N_2O
4E	Otros (sírvase especificar)	NO	-
5	OTROS	NO	-
5A	Emisiones indirectas de N_2O de la deposición atmosférica de nitrógeno en NOx y NH_3	NO	-
5B	Otros (sírvase especificar)	NO	-

Notas: E (Estimada), NE (No estimada), NO (No ocurre). Fuente: Elaboración propia.

Anexo IV: Compuestos, unidades y acrónimos

i. Gases y compuestos

Compuesto	Descripción
C	Carbono
CFC	Clorofluorocarbonos
CH_4	Metano
CN	Carbono negro
CO	Monóxido de carbono
CO_2	Dióxido de carbono
CO_2e	Dióxido de carbono equivalente
COVDM	Compuestos orgánicos volátiles diferentes del metano
HCFC	Hidroclorofluorocarbonos
HFC	Hidrofluorocarbonos
NF_3	Trifluoruro de nitrógeno
NH_3	Amoniaco
N_2O	Óxido nitroso
NO_x	Óxidos de nitrógeno
NO_3	Nitrato
PFC	Perfluorocarbonos
$PM_{2.5}$	Material Particulado de 2.5 micrómetros o menos
SF_6	Hexafluoruro de azufre

ii. Unidades

Símbolo o abreviatura	Significado
bpe	Barriles de petróleo equivalente
°C	Grado centígrado
G	Gramo
Gg	Gigagramo = 10^9 gramos
h	Hora
ha	Hectárea
hab.	Habitante
J	Joule
kg	Kilogramo
km	Kilómetro
km^2	Kilómetro cuadrado
l	Litro

Símbolo o abreviatura	Significado
m	Metro
m^2	Metro cuadrado
m^3	Metro cúbico
m^3/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^{15} joules
$PM_{2.5}$	Material Particulado de 2.5 micrómetros o menos
TJ	Terajoule = 10^{12} joules
ton, t	Tonelada (1,000 ton = 1Gg)
TEUS	Unidad de medida, equivalente a 20 pies
W	Watt
Wh	Watt hora

iii. Acrónimos

ARD	Aguas Residuales Domésticas
ARI	Aguas Residuales Industriales
ASA	Aeropuertos y Servicios Auxiliares
ASOUT	Agricultura, Ganadería, Silvicultura y Otros Usos de la Tierra
COA	Cédulas de Operación Anual
CONAFOR	Comisión Nacional Forestal
CONAGUA	Comisión Nacional del Agua
CRE	Comisión Reguladora de Energía
DBO	Demanda Bioquímica de Oxígeno
DENUE	Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas
DQO	Demanda Química de Oxígeno
ENCEVI	Encuesta Nacional sobre Consumo de Energéticos en Viviendas Particulares
FCVC	Forzador Climático de Vida Corta
FE	Factor de Emisión
GEI	Gases de Efecto Invernadero
GIZ	Sociedad Alemana para la Cooperación Internacional
GN	Gas Natural
IEEGYCEI	Inventario Estatal de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero
IMP	Instituto Mexicano del Petróleo
INECC	Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático

INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
INEGYCEI	Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero
INIFAP	Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias
IPCC	Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático
PCN	Poder calorífico neto
PEMEX	Petróleos Mexicanos
PIUP	Procesos Industriales y Uso de Productos
PTAR	Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales
PTARI	Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Industriales
SADER	Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural
SAO	Sustancias que Agotan la Capa de Ozono
SCT	Secretaría de Comunicaciones y Transporte
SDF	Sitios de Disposición Final
SEDARPE	Secretaría de Desarrollo Agropecuario, Rural y Pesca del Estado de Quintana Roo
SEMA	Secretaría de Ecología y Medio Ambiente del estado de Quintana Roo
SEFIPLAN	Secretaría de Finanzas y Planeación del estado de Quintana Roo
SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
SENER	Secretaría de Energía
SIAP	Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera
SICT	Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes
SIE	Sistema de información Energética
TMCA	Tasa Media de Crecimiento Anual
USCUSS	Uso de Suelo, Cambio de Uso de Suelo y Silvicultura

IX Referencias

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. Recuperado de: 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

Ángeles R. M. R. (2017). Retiran toneladas de sargazo en playas de Quintana Roo, Noticieros televisa [página electrónica], 10 de mayo de 2017. Recuperado de: https://noticieros.televisa.com/ultimas-noticias/retiran-sargazo-playas-quintana-roo/

ASA (2024).). *Consumo de turbosina y gas avión.* México: Dirección de Combustibles Aeropuertos y Servicios Auxiliares. Solicitud de información.

Ay Robertos, F.A.; Brinckmann, W. E.; Ayllón Trujillo, M.T (2010). Disposición final de residuos sólidos en los municipios de Benito Juárez e Isla Mujeres en Quintana Roo. Ingeniería, 14(3), 197-207. Universidad Autónoma de Yucatán, Mérida, México. Recuperado de: https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46715742008

Bracho, Ricardo, 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. www.nrel.gov/docs/fy21osti/81142.pdf

CARB (2016). *Speciation Profiles Used in ARB Modeling.* California Air Resources Board (CARB). California´s black carbon emission inventory, April, 2016.

Christian, R.J. et al. (2010). Trace gas and particle emissions from domestic and industrial biofuel use and garbage burning in central Mexico, en Atmos. Chem. Phys., 10, 565–584, 2010. Recuperado de: https://acp.copernicus.org/articles/10/565/2010/

CMM (2015). *Hacia una Estrategia Nacional de Eficiencia Energética para las Edificaciones de Hoteles y Restaurantes.* [En línea] Disponible en: https://www.gob.mx/sectur/acciones-y-programas/ordenamiento-turistico-sustentable

CNH (2023). *Sistema de Información de Hidrocarburos.* Comisión Nacional de Hidrocarburos. [En línea] Recuperado de: https://sih.hidrocarburos.gob.mx/

CONAFOR (2017). *Iniciativa de Reducción de Emisiones (IRE) de México. Comisión Nacional Forestal*. México. [En línea] Recuperado de: https://www.gob.mx/conafor/documentos/iniciativa-de-reduccion-de-emisiones

CONAFOR (2020). *Guía de uso de los productos del sistema Satelital de Monitoreo Forestal: enfoque pared a pared. Documento técnico*. Jalisco, México. [En línea] Recuperado de:

https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/587193/Gui_a_de_uso_de_los_productos_del_sistema_SAMOF_v1.pdf

CONAPO (2023). Bases de datos de la Conciliación Demográfica 1950 a 2019 y Proyecciones de la población de México 2020 a 2070. México: Consejo Nacional de Población. Recuperado de: https://www.gob.mx/conapo/documentos/bases-de-datos-de-la-conciliacion-demografica-1950-a-2019-y-proyecciones-de-la-poblacion-de-mexico-2020-a-2070

CONAGUA (2009-2022) Inventario de Plantas Municipales de Potabilización y de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación 2009 a 2022. México: Comisión Nacional del Agua. Recuperado de: https://www.gob.mx/conagua/documentos/inventario-de-plantas-municipales-de-potabilizacion-y-de-tratamiento-de-aguas-residuales-en-operacion

CONUEE (2019). Consumo de electricidad de edificios no residenciales en México: la importancia del sector de servicios. Cuadernos de la CONUEE. México: Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía, Número 3, Nuevo Ciclo, Abril 2019. Recuperado de: https://www.conuee.gob.mx/transparencia/boletines/Cuadernos/cuaderno3nvociclo_2.pdf

CRE (2022). *Volumen de consumo de combustibles para la generación de energía eléctrica por entidad federativa.* México: Comisión Reguladora de Energía.

CRE (2024). *Ventas de combustibles a nivel estatal.* México: Comisión Reguladora de Energía CRE, Plataforma Nacional de Transparencia (PNT). México. [En línea] Recuperado de: https://www.plataformadetransparencia.org.mx/Inicio

DIANCO (sf). Dianco en cifras. [página electrónica]. Recuperado de: http://diancomexico.com/dianco/nosotros

EEA (2019). Air pollutant emission inventory guidebook. European Environment Agency. Recuperado de: https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2019

EIA (2018) Commercial Buildings Energy Consumption Survey (CBECS) 2018. US Energy Information Administration. U.S. Energy Information Administration. Recuperado de: https://www.eia.gov/consumption/commercial/data/2018/index.php?view=characteristics

EPA (2014). Emission Factors for Greenhouse Gas Inventories. USA: Environmental Protection Agency. [En línea] Recuperado de: https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-07/documents/emission-factors_2014.pdf

EPA-SCS Engineers (2009) Manual del Usuario Modelo Mexicano de Biogás. USA: Environmental Protection Agency. [En línea] Recuperado de: https://www.globalmethane.org/documents/models/pdfs/manual_del_usuario_modelo_mexicano_de_biogas_v2_2009.pdf

EPA (2024). *MOVES$_{2014a}$: Latest Version of Motor Vehicle Emission Simulator (MOVES).* Environmental Protection Agency, EU. [En línea] Recuperado de: https://19january2017snapshot.epa.gov/moves/moves2014a-latest-version-motor-vehicle-emission-simulator-moves_.html

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 2022. Indicadores específicos de México. Recuperado de: FAOSTAT

GAFSACOMM (2024). *Consumo de turbosina y gas avión del aeropuerto internacional de Tulum Felipe Carrillo Puerto.* México: Grupo Aeroportuario, Ferroviario, de Servicios Auxiliares y Conexos Olmeca - Maya - Mexica. Solicitud de información.

GIZ (2014). *Consumption & emission inventory of fluorinated greenhouse gases (CFC, HCFC and HFC) in Mexico*, Eschborn: Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH.

Hernández (2019). La amenaza de los tiraderos clandestinos de sargazo, Pie de página, [página electrónica], 9 de junio de 2019. Recuperado de: https://piedepagina.mx/la-amenaza-de-lo-tiraderos-clandestinos-de-sargazo/

IFADATA (2022). International Fertilizer Industry Association [Database] Disponible en: IFADATA (fertilizer.org)

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. [En línea]. Recuperado de: 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)

INECC-SEMARNAT (2018). *Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero 1990-2015.* México: Instituto Nacional de Ecología Cambio Climático.

INECC-SEMARNAT (2022). Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero 1990-2019. México: Instituto Nacional de Ecología Cambio Climático

INEGI (2001). *Conjunto de datos vectoriales de la carta de Uso del suelo y vegetación.* Escala 1:250 000. Serie II. Continuo Nacional. México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Recuperado de: https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825007021

INEGI (2005). *Conjunto de datos vectoriales de la carta de Uso del suelo y vegetación.* Escala 1:250 000. Serie III. Continuo Nacional. México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Recuperado de https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825007022

INEGI (2009). *Conjunto de datos vectoriales de la carta de Uso del suelo y vegetación.* Escala 1:250 000. Serie IV. Conjunto Nacional. México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Recuperado de: https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825007023

INEGI (2011). *Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Demarcaciones Territoriales de la Ciudad de México 2011.* [En línea]. México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Recuperado de: https://www.inegi.org.mx/programas/cngmd/2011/

INEGI (2013). *Conjunto de datos vectoriales de la carta de Uso del suelo y vegetación.* Escala 1:250 000. Serie V. Conjunto Nacional. México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Recuperado de: https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825007024

INEGI (2013). *Censo de Población y Vivienda 2010.* [Base de datos]. México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Recuperado de: https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2010/

INEGI (2013). *Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Demarcaciones Territoriales de la Ciudad de México 2013.* [En línea]. México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Recuperado de: https://www.inegi.org.mx/programas/cngmd/2013/

INEGI (2015). *Encuesta Intercensal 2015.* [Base de datos]. México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Recuperado de: https://www.inegi.org.mx/programas/intercensal/2015/

INEGI (2015). *Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Demarcaciones Territoriales de la Ciudad de México 2015.* [En línea]. México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Recuperado de: https://www.inegi.org.mx/programas/cngmd/2015/

INEGI (2017). *Conjunto de datos vectoriales de la carta de Uso del suelo y vegetación.* Escala 1:250 000. Serie VI. Conjunto Nacional. México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Recuperado de: https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463598459

INEGI (2017). *Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Demarcaciones Territoriales de la Ciudad de México 2017.* [En línea]. México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Recuperado de: https://www.inegi.org.mx/programas/cngmd/2017/

INEGI (2019). *Encuesta Nacional sobre Consumo de Energéticos en Viviendas Particulares* (ENCEVI) 2018. México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Recuperado en 2022, de https://www.inegi.org.mx/programas/encevi/2018/

INEGI (2019). *Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Demarcaciones Territoriales de la Ciudad de México 2019.* [En línea]. México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Recuperado de: https://www.inegi.org.mx/programas/cngmd/2019/

INEGI (2021). *Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Demarcaciones Territoriales de la Ciudad de México 2021.* [En línea]. México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Recuperado de: https://www.inegi.org.mx/programas/cngmd/2021/

INEGI (2021a). *Censo de Población y Vivienda 2020.* [Base de datos]. México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Recuperado de: https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/

INEGI (2021b). *Conjunto de datos vectoriales de uso del suelo y vegetación.* Escala 1:250 000. Serie VII. Conjunto Nacional. México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Recuperado de: https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463842781

INEGI (2024). *Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Demarcaciones Territoriales de la Ciudad de México 2023.* [En línea]. México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Recuperado de: https://www.inegi.org.mx/programas/cngmd/2023/

INEGI (2024). *Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE).* [En línea]. México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Consultado en septiembre de 2024. Recuperado de: https://www.inegi.org.mx/app/mapa/denue/default.aspx

INEGI (2023a). *Banco de Información Económica (BIE), Producto Interno Bruto por Entidad Federativa.* [En línea]. México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Recuperado de: https://inegi.org.mx/app/indicadores/?tm=0&t=10000215

INEGI (2023b) *Censo agropecuario 2022*. [En línea]. México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Recuperado de: https://www.inegi.org.mx/programas/ca/2022/

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)

IPCC (2000) Orientación del IPCC sobre las buenas prácticas y la gestión de la incertidumbre en los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Recuperado de: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/spanish/gpgaum_es.html

IPCC (2003). *Good Practice Guidance for Land Use,Land-Use Change and Forestry*. Edited by Jim Penman, Michael Gytarsky, Taka Hiraishi, Thelma Krug, Dina Kruger, Riitta Pipatti, Leandro Buendia, Kyoko Miwa, Todd Ngara, Kiyoto Tanabe and Fabian Wagner

IPCC (2006a). Volumen 1. Orientación general y generación de informes. *Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero,* Japón: 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). Volumen 2. Energía. *Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero,* Japón: 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). Volumen 3. Procesos industriales y uso de productos. *Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero,* Japón: 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). Volumen 4. Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra. *Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero,* Japón: 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). Volumen 5. Desechos. *Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero,* Japón: 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 Buendia, 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].

IPN-SEDUMA-GIZ (2009). Diagnostico básico para la gestión integral de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial 2009-2011

JICA (2014). Estudio de Manejo de Saneamiento Ambiental en la Costa del Estado de Quintana Roo en los Estados Unidos Mexicanos. Agencia Japonesa de Cooperación Ambiental.

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.

Morales-Morales, E.J. et al. (2021), Urea (NBPT) una alternativa en la fertilización nitrogenada de cultivos anuales. *Rev. Mex. Cienc. Agríc* [online]. 2019, vol.10, n.8 [citado 2024-11-08], pp.1875-1886. Disponible en: https://doi.org/10.29312/remexca.v10i8.1732.

Múgica-Álvarez (2016). Determinación de factores de emisión de bióxido de carbono (co2), partículas en suspensión de 2.5 y 10 micras (PM2.5 y PM10) y contaminantes de vida corta, metano (CH4) y carbono negro por prácticas de quema agrícola, UAM-SEMARNAT-INECC. Recuperado de: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/290687/Factores_de_Emision_de_Quema_Agr_cola_CGMCC_2016.pdf

Noyola, A., Paredes, M. G., Güereca, L. P., Molina, L. T. and Zavala, M. (2018). Methane correction factors for estimating emissions from aerobic wastewater treatment facilities based on field data in Mexico and on literature review. Science of the Total Environment, 639(2018),84-91.

Ottmar et al. (2007). An overview of the Fuel Characteristic Classification System — Quantifying, classifying, and creating fuelbeds for resource planning, en Canadian Journal of Forest Research, 18 December 2007, Recuperado de: https://doi.org/10.1139/X07-077

PEMEX (2023). *Base de Datos Institucional (BDI).* Petróleos Mexicanos. [En línea] Recuperado de: https://ebdi.pemex.com/bdi/bdiController.do

PEMEX (2024). *Informe de Sostenibilidad 2022.* Petróleos Mexicanos. [En línea] Recuperado de: https://www.pemex.com/etica_y_transparencia/transparencia/informes/Documents/informe_sostenibilidad_2022_esp.pdf

PEMEX (2024a). *Sistema de Información Energética SIE.* México: Petróleos Mexicanos. [En línea] Recuperado de: https://sie.energia.gob.mx/

PEMEX Refinación (2024). PEMEX-Refinación*:* Plataforma Nacional de Transparencia PNT. México. [En línea] Recuperado de: https://www.plataformadetransparencia.org.mx/Inicio

SEMAR (2019a). Suman más de 80 mil toneladas de sargazo del esfuerzo coordinado entre SE, 2022. Sistema de Información Energética (SIE). [En línea] Recuperado de: https://sie.energia.gob.mx/ [Último acceso: Mayo 2022].

SEMAR (2019b). Comunicado de prensa número 083/19, [página electrónica], 24 de octubre de 2019, México: Secretaría de Marina. Recuperado de: https://www.gob.mx/semar/prensa/suman-mas-de-80-mil-toneladas-de-sargazo-del-esfuerzo-coordinado-entre-instituciones-de-los-tres-ordenes-de-gobierno-y-la-sociedad-civil

SEMAR (2021). Marina informa acciones en el marco de la estrategia para atención al sargazo 2021. Comunicado de prensa número 103/21, [página electrónica], 13 de noviembre de 2021, México: Secretaría de Marina. Recuperado de: https://www.gob.mx/semar/prensa/marina-informa-acciones-en-el-marco-de-la-estrategia-para-atencion-al-sargazo-2021?idiom=es#:~:text=%2D%20La%20Secretar%C3%ADa%20de%20Marina%2DArmada,afectados%20en%20el%20estado%20de

SICT (2023). Estadística básica 2023. [En línea] México: Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transporte. Recuperado de: https://www.sct.gob.mx/transporte-y-medicina-preventiva/autotransporte-federal/estadistica/2022/

SICT (2024). Quintana Roo. Datos viales. [En línea] México: Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transporte. Recuperado de: https://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGST/Datos_Viales_2023/30_VER_DV2023.pdf

SECTUR (2023). *Compendio Estadístico del Turismo en México 2022*. México: Secretaría de Turismo. Recuperado de: https://datatur.sectur.gob.mx/SitePages/CompendioEstadistico.aspx

SECTUR (2024). *Compendio Estadístico del Turismo en México 2023*. México: Secretaría de Turismo. Recuperado de: https://datatur.sectur.gob.mx/SitePages/CompendioEstadistico.aspx

SECTUR (2023). *Resultados de la Actividad Turística Diciembre 2023*. México: Secretaría de Turismo. Recuperado de: https://datatur.sectur.gob.mx/RAT/RAT-2023-12(ES).pdf

SEDEMA (2024). *Cédulas de Operación Anual estatales (COA) 2019 a 2023*, Secretaría de Ecología y Medio Ambiente del Estado de Quintana Roo.

SEDUMA (2009). Diagnostico básico para la gestión integral de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial 2009-2011. Secretaría de Desarrollo Urbano y Medio Ambiente de Quintana Roo.

SEFIPLAN (2024). Padrón Vehicular del estado de Quintana Roo 2023. Secretaría de Finanzas y Planeación del estado de Quintana Roo.

SEMARNAT (2012). *Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de Residuos 2012.* México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Recuperado de: https://biblioteca.semarnat.gob.mx/Documentos/Ciga/libros2009/CD001408.pdf

SEMARNAT (2019). Hoja De Ruta Para implementar la Enmienda De Kigali en México, Ciudad de México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

SEMARNAT (2020). *Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de Residuos 2020.* 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 (2024). *Cédulas de Operación Anual federales (COA) 2014 a 2023*, México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

SENER-SEMARNAT-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 (2024). *Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional (PRODESEN) 2024-2038*. México: Secretaría de Energía.

SENER (2024a). *Sistema de Información Energética SIE.* México: Secretaría de Energía. [En línea] Recuperado de: https://sie.energia.gob.mx/

SENER (2024b). *Balance Nacional de Energía 2023.* México: Secretaría de Energía. [En línea] Recuperado de: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/947752/BALANCE_NACIONAL_DE_ENERG_A_PRELIMINAR_2023.pdf

SIAP (2019). Sistema de Información Agropecuaria y Pesquera. Datos abiertos. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER). Disponible en: https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/datos-abiertos-35224

SMN (2022). Climatología. Resúmenes Mensuales de Lluvia y Temperatura. Comisión Nacional del Agua. Servicio Meteorológico Nacional. Disponible en: https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/temperaturas-y-lluvias/resumenes-mensuales-de-temperaturas-y-lluvias

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 PumpsTechnical Options Committee*. Nairobi: The United Nations Environment Programme (UNEP).

Valdez-Vazquez I., J.A. Acevedo-Benítez, C. Hernández-Santiago, 2010. —Distribution and potential of bioenergy resources from agricultural activities in Mexicoll, Renewable and Sustainable Energy Reviews, núm. 14, pp. 2147–2153.

WRI-C40-ICLEI (2014). *Protocolo Global para Inventarios de Emisión de Gases de Efecto Invernadero a Escala Comunitaria. Estándar de contabilidad y de reporte para las ciudades.* World Resources Institute, Grupo de Liderazgo Climático C40 y Gobiernos Locales por la Sustentabilidad. Recuperado de: https://ghgprotocol.org/sites/default/files/2022-12/GHGP_GPC%20%28Spanish%29.pdf

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

Rubén Darío 36, Rincón del Bosque, Polanco V sección,
Miguel Hidalgo, 11580, México, CDMX. Col. Bosques de las Lomas
C.P. 05120 Ciudad de México
T: (+55) 9129.3929
www.centromariomolina.org
Twitter: @CentroMMolina
Facebook.com/CentroMarioMolina