



INVENTARIO MUNICIPAL GASES DE EFECTO INVERNADERO

2023 TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS



Financiado por
la Unión Europea



GLOBAL COVENANT
of MAYORS for
CLIMATE & ENERGY
LATIN AMERICA



AMIMP



TUXTLA
GUTIÉRREZ

Ayuntamiento | 2021-2024



ICI Lam
Instituto Ciudadano
de Planeación Municipal



**TUXTLA
GUTIÉRREZ**
Ayuntamiento | 2021-2024

Mtro. Carlos Orsoe Morales Vázquez

Presidente Municipal Constitucional de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas

Lic. Karla Burguete Torrestiana

Secretaria General



AUTORES:

Ing. Alejandro Mendoza Castañeda

Director General

Mtro. Enrique Abdala Mojica Castillo

Coordinador de Medio Ambiente y Energía

Arq. Febe Jaqueline Corzo García

Coordinación de Medio Ambiente y Energía

Ing. Diego Humberto Arevalo Cruz

Coordinación de Medio Ambiente y Energía

AGRADECIMIENTO

El proceso de Capacitación y Acompañamiento en materia de Cambio Climático para la elaboración del presente instrumento fue posible gracias al financiamiento de la Unión Europea a través del **Programa del Pacto Global de Alcaldes por el Clima y la Energía** (GCoM) en Américas.



Financiado por
la Unión Europea



Hélina Cardoso (hcardoso@globalcovenantofmayors.eu)

Eugenia García Velarde (egvelarde@globalcovenantofmayors.eu)

Luis Carlos Lara Damken (laradamken@gmail.com).

Presidente de AMIMP

info@pactodealcaldes-la.org

<http://pactodealcaldes-la.eu>

Facebook: @GCoMLAC

Twitter: @GCoMLAC

YouTube: Pacto Global de Alcaldes

Instagram: @gcom-la

LinkedIn: Pacto Global de Alcaldes por el Clima y la Energía – América Latina y Caribe

El desarrollo del Inventario de Gases de Efecto Invernadero de Tuxtla recibió el respaldo del Pacto Global de Alcaldes por el Clima y la Energía, financiado por el Servicio de Instrumentos de Política Exterior de la Comisión Europea.

Su contenido es responsabilidad exclusiva del Municipio de Tuxtla y no necesariamente refleja la opinión del Pacto Global de Alcaldes por el Clima y la Energía ni de la Unión Europea.

La realización del *Inventario Municipal de Gases de Efecto Invernadero de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas 2023* fue posible gracias al apoyo recibido por parte de las siguientes instituciones gubernamentales que proporcionaron información para la elaboración del presente inventario:

- Comisión Nacional de Energía (CFE).
- Petróleos Mexicanos (PEMEX).
- Secretaría de Energía del Gobierno de México.
- Secretaría de Protección Civil del H. Ayuntamiento de Tuxtla Gutiérrez.

PRÓLOGO

A finales del siglo XX e inicios del siglo XXI el cambio climático emerge como el desafío más apremiante que enfrenta la humanidad. Los gases y compuestos de efecto invernadero (GEI), liberados en gran proporción por las actividades antropogénicas, están continuamente y de manera alarmante alterando el equilibrio ecosistémico de nuestro planeta, dando lugar a fenómenos como el aumento de las temperaturas globales, el aumento del nivel del mar y fenómenos hidrometeorológicos cada vez más agravados con grandes impactos a los ecosistemas, ciudades y comunidades a nivel mundial.

En este contexto las ciudades se han erigido como verdaderos puntos focales tanto de impactos ambientales y socio económicos como de acciones, pues desempeñan un papel crucial en la adopción de medidas de mitigación y adaptación ante el cambio climático que puedan contribuir al alcance de un futuro más sostenible.

El municipio de Tuxtla Gutiérrez, situado en el estado de Chiapas, no es ajeno a estos desafíos. En busca de comprender y abordar las implicaciones del cambio climático a nivel local, se presenta el Inventario de Gases de Efecto Invernadero, del municipio de Tuxtla Gutiérrez. Este inventario no sólo cuantifica las emisiones de GEI, sino que también tiene la finalidad de proporcionar una base sólida para la formulación de estrategias de mitigación y adaptación que sean coherentes con los compromisos internacionales y los objetivos nacionales y locales en materia climática.

El Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) se erige como un referente científico fundamental en esta lucha contra el cambio climático. Sus informes periódicos consolidan las evidencias de la influencia humana en el calentamiento global y ofrecen directrices para la toma de decisiones a nivel gubernamental y local. Estas directrices permiten a los municipios, como Tuxtla Gutiérrez, orientar sus acciones hacia la

mitigación de las emisiones de GEI, la promoción de la resiliencia y la adopción de medidas concretas para salvaguardar a las generaciones presentes y futuras.

A través de la evaluación de las emisiones de GEI, el municipio de Tuxtla Gutiérrez contará con bases sólidas para actuar directamente a la consecución de los objetivos globales, alineados con los instrumentos de planeación locales, al tiempo que promueve la justicia climática y fomenta un desarrollo sostenible e inclusivo.

La elaboración del presente documento se encuentra enmarcada dentro de los compromisos adquiridos con la adherencia al Pacto Global de Alcaldes por el Clima y la Energía (GCoM, por sus siglas en inglés) pues se implementa a través de alianzas para combatir el cambio climático y generar Inventario de Gases de Efecto Invernadero del municipio.

El trabajo colaborativo llevado a cabo con esta finalidad es el que permite concretar como producto final este inventario, En este contexto, el inventario de gases de efecto invernadero se erige como un instrumento de acción local con implicaciones globales. Su desarrollo, implementación y resultados serán un testimonio del compromiso de Tuxtla Gutiérrez por enfrentar los desafíos del cambio climático de manera efectiva, alineada con la ciencia, la cooperación internacional y la construcción de un futuro más resiliente y sustentable para todas y todos.

CONTENIDO

AGRADECIMIENTO.....	3
PRÓLOGO.....	5
CONTENIDO.....	7
SIGLAS Y ACRÓNIMOS.....	8
GASES DE EFECTO INVERNADERO	9
MARCO LEGAL.....	11
INVENTARIO DE GASES DE EFECTO INVERNADERO DE TUXTLA GUTIÉRREZ	14
METODOLOGÍA	15
CONSUMO ELÉCTRICO	17
Aspectos metodológicos.....	17
Resultados	17
PETROLÍFEROS	18
Aspectos metodológicos.....	18
Resultados	19
SECTOR RESIDUOS	20
Aspectos metodológicos.....	20
Resultados	23
OTRAS FUENTES	24
Aspectos metodológicos.....	24
Resultados	26
CONCLUSIONES.....	29
REFERENCIAS.....	31

SIGLAS Y ACRÓNIMOS

COP Conferencia de las Partes (por sus siglas en inglés)

CFE Comisión Federal de Energía

PEMEX Petróleos Mexicanos

CMNUCC Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático

CRE Comisión Reguladora de Energía

INECC Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático

GCoM Pacto Global de Alcaldes

GEI Gases de Efecto Invernadero

GLP Gas licuado de petróleo

ICIAM Instituto Ciudadano de Planeación Municipal para el Desarrollo Sustentable de Tuxtla Gutiérrez

IPCC Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático

NDC Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (por sus siglas en inglés)

PROMACC Programa Municipal de Acción ante el Cambio Climático

SEMARNAT Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales

SENER Secretaría de Energía

UN Naciones Unidas

CRE Comisión Reguladora de Energía

FE factor de emisión

Sistema Eléctrico Nacional

CO₂ Dióxido de carbono

CH₄ Metano.

N₂O Óxido nitroso.

HFC Hidrofluorocarbonos.

PFC Perfluorocarbonos.

SF₆ Hexafluoruro de azufre.

O₃ Ozono

GASES DE EFECTO INVERNADERO

Los gases que capturan el calor en la atmósfera se les denomina “de efecto invernadero”, puesto que conducen al aumento de la temperatura de la superficie de la tierra, de manera semejante en que las paredes de vidrio elevan la temperatura interior de los invernaderos (INECC, 2019).

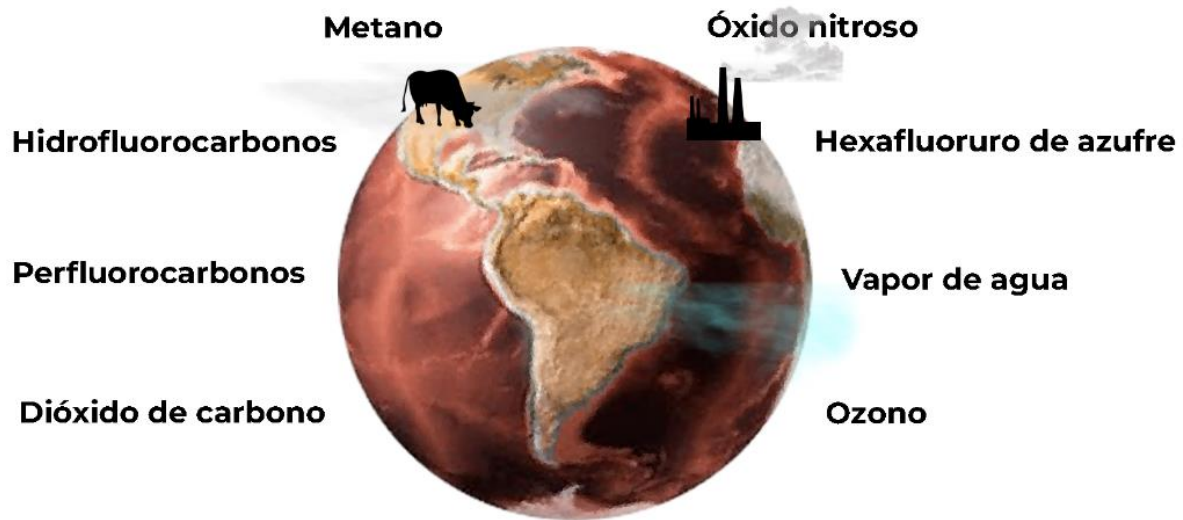
El Efecto Invernadero es un fenómeno que ha existido desde que la Tierra tiene atmósfera, puesto que es de suma importancia para lograr que el planeta tenga las condiciones para que exista la vida en él. Sin embargo, en los últimos años la temperatura global del planeta se ha incrementado, atribuida principalmente a la quema de combustibles fósiles. La quema de estos combustibles emite gases contaminantes los cuales aumentan las concentraciones de los gases propios de la atmósfera, ocasionando un proceso de calentamiento (Caballero *et al.*, 2007).

El *Anexo A del Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático* (Naciones Unidas, 1998) estableció a los siguientes GEI:

- Dióxido de carbono (CO₂).
- Metano (CH₄).
- Óxido nitroso (N₂O).
- Hidrofluorocarbonos (HFC).
- Perfluorocarbonos (PFC).
- Hexafluoruro de azufre (SF₆).

Sin embargo, el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) considera al vapor de agua y al ozono (O₃) como GEI puesto que contribuyen con el efecto de retroefecto, es decir, mediante una serie de

mecanismos pueden potenciar o atenuar el efecto de los demás agentes (IPCC, 2007).



La mayoría de los GEI se producen de manera natural, pero debido al crecimiento industrial y el aumento de las actividades humanas estos han aumentado su concentración en la atmósfera. La quema de combustibles fósiles, la deforestación de bosques y selvas, y en general la pérdida de vegetación contribuye al incremento de las emisiones de estos gases y con ello la alteración de la composición de la atmósfera.

MARCO LEGAL

La regulación de las emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero (GEI), se desarrollan desde perspectivas de protección a la salud humana y del medio ambiente. Es por ello que, la cuidado de la atmósfera es indispensable para el bienestar de la población, siendo de suma importancia al formar parte de los derechos fundamentales.

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) fue creada con el objetivo de lograr la estabilización de las concentraciones de GEI en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropógenas peligrosas en el sistema climático, así como el establecimiento de plazos para permitir que los ecosistemas se adapten naturalmente, asegurar que la producción de alimentos no se vea amenazada y permitir que el desarrollo económico sea de manera sostenible.

A partir de la ratificación de los países en esta Convención, los países desarrollados se consideran como la fuente de la mayoría de las emisiones pasadas y presentes, por lo tanto, se espera que estos sean los líderes en la reducción de emisiones en sus territorios. En contraste, los países en vías de desarrollo deberán ser subvencionados para la adopción de acciones, sin perjudicar su desarrollo, así como, la transferencia de tecnología proveniente de países industrializados.

Las naciones miembros de la CMNUCC se le conocen como “las partes” y estas sesionan cada año en la conferencia llamada *Conference of the Parties* (COP, por sus siglas en inglés) considerada como la máxima reunión de los órganos de negociación del régimen internacional de cambio climático. En este contexto, para el año 2015 en la COP 21 celebrada en París, Francia, se establecieron objetivos a largo plazo como una guía para todas las naciones en un tratado vinculante conocido como “Acuerdo de París”.

Este tratado internacional establece que se deben reducir sustancialmente las emisiones de GEI para limitar el aumento de la temperatura global por debajo de los 2° C y esforzarse a limitar este aumento a 1.5° C. Así también, se incluyen compromisos denominados Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (NDC, por sus siglas en inglés) que serán la consecución de los objetivos a largo plazo y el seno para encarnar los esfuerzos de cada país para reducir las emisiones nacionales y adaptarse a los efectos del cambio climático (Naciones Unidas, 2015).

A nivel nacional, la *Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos* (CPEUM, 1917) establece y reconoce los derechos humanos que gozan todas las personas, así como las garantías para respetarlos. El quinto párrafo del artículo 4° constitucional establece que toda persona tiene derecho a un medio ambiente sano para su desarrollo y bienestar; el artículo 25° promueve el desarrollo sustentable de la economía y la protección del ambiente; y el artículo 27° establece responsabilidades a los tres niveles de gobierno para el desarrollo y conservación de los recursos naturales en consecución de lograr el desarrollo sustentable del país.

De estos mandatos constitucionales, derivan leyes y reglamentos que regulan la protección del medio ambiente, como la *Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente* en donde a través de sus artículos se establecen atribuciones, procedimientos, medidas de protección, mecanismos de participación ciudadana y sanciones. Particularmente, del artículo 109 bis al artículo 117 se establecen las disposiciones legales para prevenir y controlar la contaminación atmosférica.

Derivada de esta Ley, surge el *Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Prevención y Control de la Contaminación de la Atmósfera*, el cual instrumenta las disposiciones sobre

la contaminación generada por vehículos automotores, así también, establece amplias metas para reducir esta contaminación.

En el marco jurídico nacional se encuentra la *Ley General de Cambio Climático*, la cual establece disposiciones para enfrentar los efectos adversos del cambio climático y regular las acciones para la mitigación y adaptación del país. Este instrumento tiene por objeto garantizar el derecho a un medio ambiente sano, regular las emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero, regular las acciones para la mitigación-adaptación al cambio climático, reducir la vulnerabilidad de la población y ecosistemas, establecer las bases para que México contribuya al cumplimiento del Acuerdo de París, entre otros.

Para el estado de Chiapas, se publicó en el 2010 la *Ley para la Adaptación y Mitigación ante el Cambio Climático en el Estado de Chiapas*, la cual engloba en sus objetivos generales la construcción de un panorama que favorezca la adaptación y mitigación a través de acciones y mecanismos que permitan desarrollar medidas para reducir la vulnerabilidad al cambio climático. Así mismo, en sus objetivos específicos se establece las bases para contribuir como estado al cumplimiento de las obligaciones nacionales y el fortalecimiento de capacidades en materia de cambio climático.

A nivel municipal, el *Reglamento de Protección Ambiental para el Municipio de Tuxtla Gutiérrez* (Secretaría General de Gobierno, 2020) establece medidas de mitigación y adaptación para hacer frente al cambio climático, así como, la facultad y obligación del municipio para formular, conducir y evaluar la política municipal en materia de cambio climático, en concordancia con la política nacional y estatal.

INVENTARIO DE GASES DE EFECTO INVERNADERO DE TUXTLA GUTIÉRREZ

La ciudad de Tuxtla Gutiérrez es la capital del Estado de Chiapas y principal asentamiento de la región metropolitana del mismo nombre. Derivado de su proceso de crecimiento, el establecimiento de asentamientos humanos han promovido cambios de uso de suelo en la zona, así como incrementos en la demanda de servicios y consumo de recursos.

Las ciudades son uno de los principales factores que más contribuyen al cambio climático, puesto que estas en conjunto consumen el 78% de la energía mundial y producen más del 60% de las emisiones de GEI (UN, 2023).

Para el cálculo de las emisiones, se estableció como año base al 2022 con fines de contar con información actualizada, en concordancia con las actualizaciones de inventarios a nivel nacional. Así mismo, se consideró como referencia lo reportado en el *Inventario de Gases de Efecto Invernadero del Programa Municipal de Acción Climática 2015* (PROMACC) para comprender la dinámica de las emisiones (Cecropia, 2015).

Se utilizaron datos de fuentes oficiales, gestionados por el equipo de acompañamiento del Pacto Global de Alcaldes (GCom, por sus siglas en inglés), conforme a sus lineamientos y estándares recomendados. En el presente inventario se calcularon las emisiones de los principales GEI que son el CO₂ (dióxido de carbono), CH₄ (metano) y N₂O (óxido nitroso). En consecuencia, para realizar las comparaciones es necesario la homologación de las unidades de medida, por lo tanto, se empleó el factor de potencial de calentamiento global a 100 años de los gases para reportar en unidades de CO₂ e (equivalente).

METODOLOGÍA

La metodología empleada para el cálculo de las emisiones fue el de “factores de emisión”, sugerido por la *Guía Explicativa del Marco Común de Reporte del Pacto Global de Alcaldes*, basado en las Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios de gases de efecto invernadero.

Los **factores de emisión** de gases y compuestos de efecto invernadero se refiere a la cantidad de emisiones de GEI liberadas por unidad de actividad o producción, el cual varía por cada año. Estos son publicados por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, que a su vez los define como la relación entre la cantidad de gases emitidos a la atmósfera y una unidad de actividad. (SEMARNAT, 2015).

Para determinar la emisión directa de GEI se sujetará la operación a la siguiente fórmula:

$$\text{Emisión GEI} = (\text{actividad}) * (\text{poder calorífico neto}) * (\text{factor de emisión})$$

Dónde “**actividad**” se refiere al consumo total por año de cada tipo de sector de acuerdo a las actividades del municipio sobre la cual se basa el cálculo de emisiones, que deberá sujetarse a las unidades de la actividad. Los sectores son establecidos por el IPCC en 4 categorías, las cuales son “Energía”, “Procesos industriales y uso de productos”, “Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra” y “Desechos”. Los consumos se solicitaron a diversas dependencias, de modo que, para este inventario se contó con los datos de los siguientes sectores:

Actividad	Unidad de medida
Consumo Eléctrico	Kilowatt por hora (KWh)
Petrolíferos	Barriles de petróleo (Bl)

Leña	Megajoules (MJ)
Carbón	Megajoules (MJ)
Residuos Sólidos Urbanos (RSU)	Toneladas (T)
Aguas residuales	Metros cúbicos (m ³)
Incendios	Hectáreas (h)

El **poder calorífico neto** se emplea únicamente en combustibles, ya que “es el calor producido por la combustión de una cantidad unitaria de un combustible sólido bajo volumen constante, dentro de una bomba calorimétrica de oxígeno, en condiciones específicas tales que toda el agua de los productos permanezca como agua líquida” ().

CONSUMO ELÉCTRICO

Aspectos metodológicos

De acuerdo a la Comisión Reguladora de Energía [CRE] (2022), el factor de emisión (FE) del Sistema Eléctrico Nacional correspondiente al año 2022 para el cálculo de emisiones indirectas de gases de efecto invernadero por consumo de electricidad es: 0.435 t CO₂e / MWh.

Los datos correspondientes a consumo fueron gestionados por el grupo de acompañamiento y asesoría del Pacto Global de Alcaldes, mismos que facilitaron el acceso a los consumos anuales por municipio de acuerdo a las bases de datos de la Comisión Federal de Electricidad (CFE).

Los datos de consumo eléctrico se clasifican de acuerdo a su sector de origen, en este caso

Resultados

Los resultados de las emisiones de GEI para el año 2022 referentes al consumo de electricidad en el municipio de Tuxtla Gutiérrez fueron de 291,302.03 toneladas de CO₂e (ver Tabla 1).

Tabla 1. Consumos y emisiones por tipo de tarifa.

Tarifa	Consumo MWh	Emisiones t CO₂e
Residencial	344,945.643	150,051.35
Comercial	309,353.365	134,568.71
Agropecuaria	391.9928	170.52
Institucional	14,968.83658	6,511.44
Total	669,659.84	291,302.03

PETROLÍFEROS

Aspectos metodológicos

En lo correspondiente a los factores de emisión empleados, estos fueron establecidos por el IPCC para los gases CO₂ (dióxido de carbono), CH₄ (metano) y N₂O (óxido nitroso).

Tabla 2. Factores de emisión para gasolinas.

Gas	Factor de emisión
CO ₂	0.0000693 t / MJ
CH ₄	0.000025 kg / MJ
N ₂ O	0.000008 kg / MJ

Tabla 3. Factores de emisión para diesel.

Gas	Factor de emisión
CO ₂	0.0000741 t / MJ
CH ₄	0.0000039 kg / MJ
N ₂ O	0.0000039 kg / MJ

Tabla 4. Factores de emisión para gas LP.

Gas	Factor de emisión
CO ₂	0.0000631 t / MJ
CH ₄	0.000062 kg / MJ
N ₂ O	0.0000002 kg / MJ

En lo correspondiente al poder calorífico neto, estos están establecidos por la Secretaría de Energía (SENER) en su *Balance Nacional de Energía 2022*.

Tabla 5. Poder calorífico neto.

Combustible	PCN
Gasolinas	5,613 MJ / bl
Diesel	6,065 MJ / bl
Gas LP	4,152.89 MJ / bl

Los consumos de cada combustible reportados fueron facilitados por la Comisión Reguladora de Energía (CRE) a través de su portal web de consulta, los cuales tuvieron que ser adaptados a nivel municipal toda vez que están reportados para las Superintendencias estatales, por lo tanto, para cumplir con los límites del inventario se aplicó la siguiente fórmula para acotar los datos a la escala municipal, tal como lo recomienda el Marco Común de Reporte del Pacto Global de Alcaldes (GCoM):

Datos de la actividad municipio = (*Población* municipio / *Población* estatal) * *Datos de actividad a nivel* estatal

Resultados

En el municipio por el consumo de gasolinas y diesel se emitieron para el año 2022 la cantidad de 257,882.19 toneladas de CO₂e, mientras que para el consumo de gas LP se emitieron 75,154.49 toneladas de CO₂e.

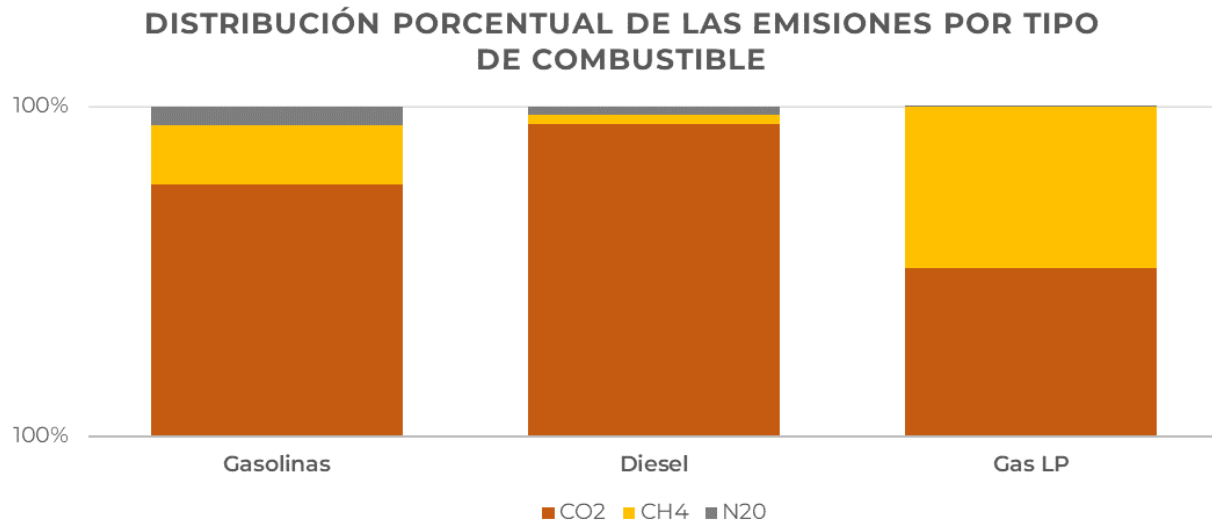


Imagen. Distribución porcentual de las emisiones por tipo de combustible. *Fuente:* elaboración propia ICIPLAM (2023).


SECTOR RESIDUOS

Aspectos metodológicos


Disposición de residuos sólidos. La generación per cápita de residuos y la generación total fueron recuperados del estudio de la *Caracterización y Generación de los Residuos Sólidos de la Ciudad de Tuxtla Gutiérrez* realizado en el 2020 por la Secretaría de Servicios Municipales del H. Ayuntamiento de Tuxtla Gutiérrez. A partir de ello, fue posible recuperar los datos de cantidad de residuos que se disponen, si existe o no algún tipo de tratamiento, el tipo de sitio de disposición final y su composición clasificados por subproductos.

De acuerdo a la metodología sugerida por la plataforma del GCoM, se deben estimar las emisiones que ocurren físicamente en las instalaciones (biogás).

Para ello se utilizó el Modelo Mexicano del Biogás, un modelo adaptado específicamente para el país, en donde se puede estimar las emisiones de biogás en sitios controlados, en función del año de apertura, año de clausura, índices de disposición anual, etc.



Modelo Mexicano de Biogás v.2
Fecha: Marzo 2009
Desarrollado por SCS Engineers, para la Agencia de Protección al Ambiente de EEUU



PROYECCIONES DE LA GENERACION Y RECUPERACION DE BIOGAS DE RELLENOS SANITARIOS		
PAGINA DE ALIMENTACION		
1	Nombre del Sitio:	San Juan Tucutzano
2	Ciudad:	Tuxtla Gutiérrez
3	Estado:	Chiapas
4	Región:	Sureste 1
5	¿Existen datos de caracterización de residuos específicos al relleno sanitario en cuestión?	Si
6	Año de apertura del sitio:	2006
7	Disposición anual del año más reciente:	347,088 Mg
8	Año de disposición (arriba):	2021

Imagen. Captura de pantalla de la hoja de cálculo Modelo Mexicano del Biogás.

10	Incremento anual estimado de la disposición:	2.0%
11	Profundidad promedio del relleno sanitario:	9 m
12	Prácticas de diseño y manejo del relleno sanitario:	3
13a	¿Ha habido algún incendio en el relleno sanitario?	No
13b	Si la respuesta de 13a es "Si", indique el área del impacto en % del total:	0%
13c	Si la respuesta de 13a es "Si", indique la severidad del impacto del incendio:	1
14	Año de arranque del sistema de captura (actual/estimado):	2006
15	Porcentaje del área con residuos con sistema de captura:	85%
16	Porcentaje del área con residuos con cubierta final:	10%
17	Porcentaje del área con residuos con cubierta intermedia:	20%
18	Porcentaje del área con residuos con cubierta diaria:	70%
19	Porcentaje del área con residuos sin cobertura:	0%
20	Porcentaje del área de residuos con recubrimiento inferior de arcilla/geomembrana:	100%

Imagen. Captura de pantalla de la hoja de cálculo Modelo Mexicano del Biogás.

Así mismo, el Modelo Mexicano del Biogás re-clasifica a los residuos sólidos quedando de la siguiente manera:

Subproducto	Porcentaje de composición
Comida	27.8%
Papel y cartón	17.8%
Poda	20.8%
Madera	0.55%
Caucho, piel, huesos y paja	0.8%
Textiles	0.76%
Papel higiénico	5.8%
Otros orgánicos	N/A
Pañales	0.8%
Metales	2.4%
Construcción y demolición	0.4%
Vidrio y cerámica	6.9%
Plásticos	5.2%
Otros inorgánicos	9.5%
Total	100%

Tratamiento de aguas residuales. Para la determinación de las emisiones de GEI provenientes de las aguas residuales, se aplicó la metodología recomendada por el IPCC, sugerida por la Plataforma del GCoM.

En el proceso de tratamiento y disposición de aguas se generan emisiones de CH₄ y N₂O, por lo tanto, para calcular el volumen de estos gases emitidos es necesario conocer el tipo de tratamiento o disposición, así como la proporción de aguas residuales que recibe tratamiento y el volumen tratado por las plantas de tratamiento, por lo tanto, se consultó la información disponible en

el Inventario Nacional de Plantas Municipales de Potabilización y de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación en su edición 2021, publicado por la Comisión Nacional del Agua.

Para la estimación de las emisiones de CH₄, la ecuación definida para el cálculo es el siguiente:

Resultados

En lo correspondiente a residuos sólidos, de acuerdo al Modelo Mexicano del Biogás, en el relleno sanitario de Tuxtla Gutiérrez se generan 2,243.91 m³/h de biogás,

Las emisiones generadas por los residuos sólidos suman 72,985.92 toneladas de CO₂e; y las emisiones provenientes de las aguas residuales, representan 76,717.91 toneladas de CO₂e.

OTRAS FUENTES

Aspectos metodológicos

Leña y carbón. Los datos de consumo fueron recuperados del *Balance Nacional de Energía 2022*, de lo reportado por la SENER (2023) en el consumo de energía en los sectores residencial, comercial y público, por lo tanto, se tuvo que acotar de acuerdo a la siguiente fórmula, tal como lo recomienda el Marco Común de Reporte del Pacto Global de Alcaldes (GCoM):

Datos de la actividad municipio = (Población municipio / Población estatal o nacional) * Datos de actividad a nivel estatal o nacional

Obteniendo los siguientes datos:

Tabla. Consumos energéticos.

Combustible	Consumo energético municipal
Leña	1,169,805,259.13528 MJ
Carbón	400,178,872.868944 MJ

Así mismo, lo correspondiente a los poderes caloríficos netos se retomaron del *Balance Nacional de Energía 2022* (SENER, 2023):

Tabla. Poder calorífico neto.

Combustible	PCN
Leña	14,486 MJ / t
Carbón	19,431.95 MJ / t

Los factores de emisión fueron retomados del *Acuerdo que establece las particularidades técnicas y las fórmulas para la aplicación de metodologías*

para el cálculo de emisiones de gases o compuestos de efecto invernadero, de la SEMARNAT (2015).

Tabla. Factores de emisión para Leña.

Gas	Factor de emisión
CO ₂	0.000112 t / MJ
CH ₄	0.00000003 t / MJ
N ₂ O	0.000000004 t / MJ

Tabla. Factores de emisión para Carbón.

Gas	Factor de emisión
CO ₂	0.0000961 t / MJ
CH ₄	0.000000001 t / MJ
N ₂ O	0.0000000015 t / MJ

Incendios. Para la estimación de los GEI emitidos, se solicitó a la Secretaría de Protección Civil Municipal el reporte estadístico de la superficie (en hectáreas) afectada por incendios en Tuxtla Gutiérrez para el año 2022. Los datos reportados son los siguientes:

Tipo de incendio	Superficie (ha)
Forestales	20.5
Pastizal	290.514

Los factores de emisión fueron recuperados de SEMARNAT (2019) en su documento *Fuentes de Área, Fuentes Misceláneas*, el cual establece los FE para Incendios Forestales, así como los Factores de Eficiencia y Cargas de

Combustible para cada tipo de vegetación y temporada del año (seco y húmedo).

Resultados

El consumo de leña en Tuxtla Gutiérrez emitió la cantidad de 133,240.82 toneladas de CO₂e, los cuales se distribuyen porcentualmente en los siguientes gases:

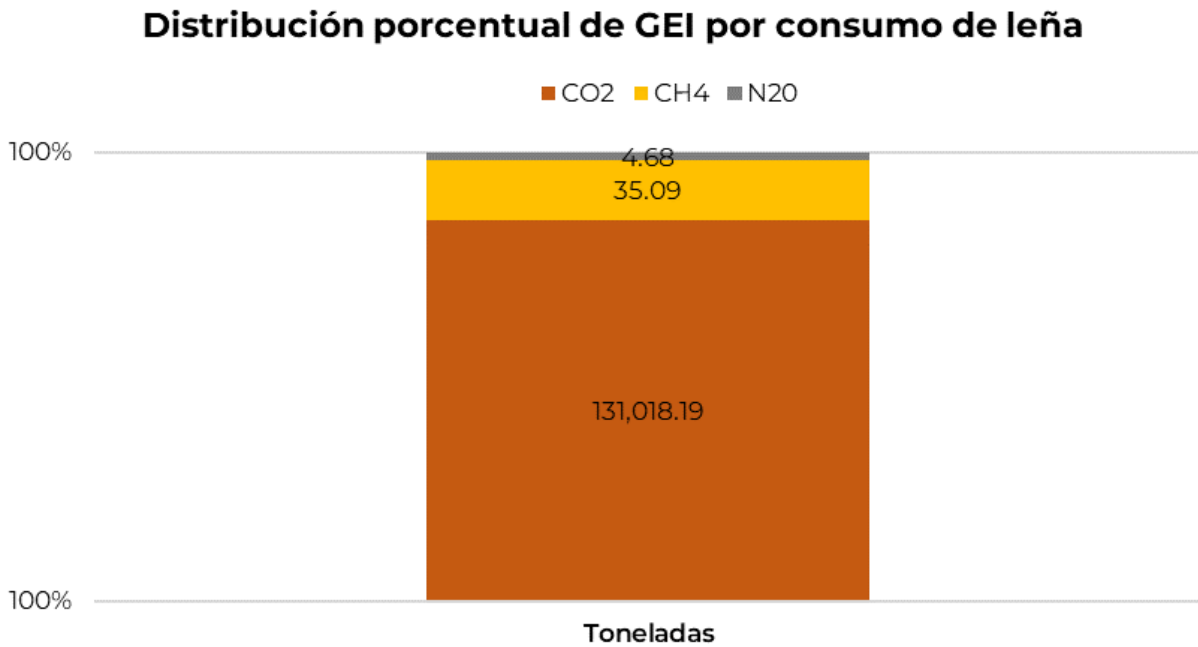


Imagen. Distribución porcentual de GEI por Consumo de leña. *Fuente:* Elaboración propia ICIPLAM (2023).

El consumo de carbón emitió 38,627.47 toneladas de CO₂e, distribuido en los siguientes gases:

Distribución porcentual de GEI por consumo de CARBÓN

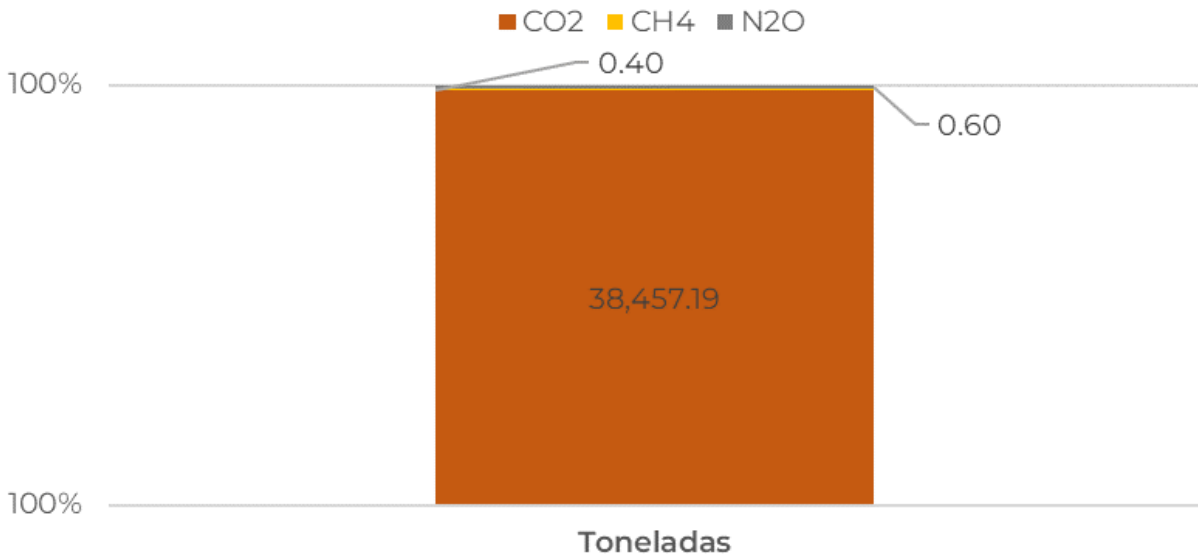


Imagen. Distribución porcentual de GEI por Consumo de carbón. Fuente: Elaboración propia ICIPAM (2023).

Los incendios de 327.92 ha., en el municipio emitieron 1,730.59 toneladas de CO₂e, los cuales se pueden dividir en hectáreas de pastizales (397.42 ha incendiadas) y hectáreas forestales (20.5 ha incendiadas).

Distribución porcentual de GEI por INCENDIOS

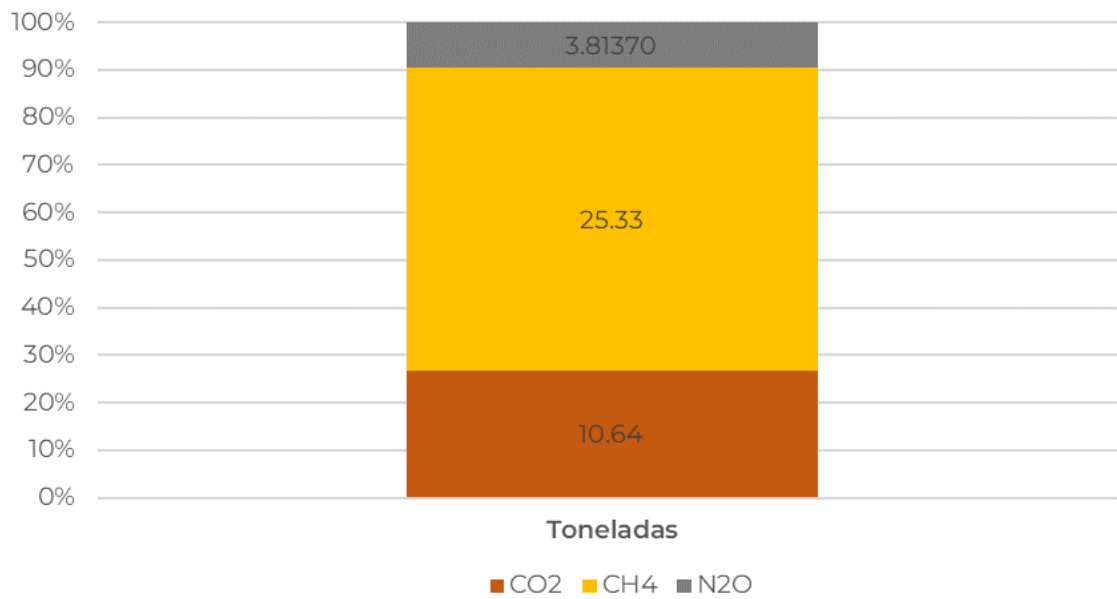


Imagen. Distribución porcentual de GEI por Incendios. *Fuente:* Elaboración propia ICIPLAM (2023).

CONCLUSIONES

El presente inventario fue elaborado considerando sectores señalados por las Directrices IPCC, así como, con los sectores de interés por los procesos de la ciudad.

La ciudad de Tuxtla Gutiérrez emitió la cantidad de 947,641.428 toneladas de CO₂e, los cuales se distribuyen en los siguientes sectores:

Emisiones de CO₂e por sector (toneladas)

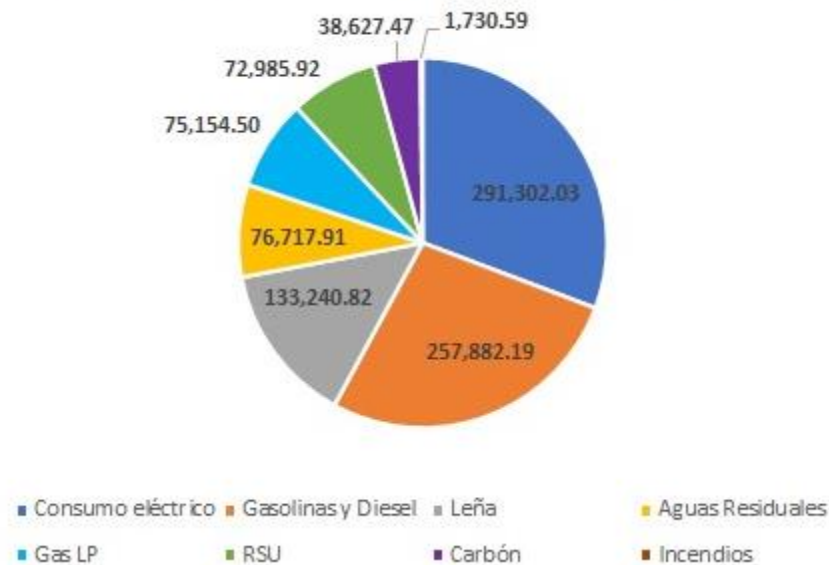


Imagen. Gráfica de Emisiones de CO₂e por sector, en toneladas. *Fuente:* Elaboración propia ICIPLAM (2023)

La información aquí contenida permitirá una mejor toma de decisiones en los distintos niveles de gobierno para la formulación de estrategias y lineamientos para la mitigación de las emisiones reportadas, que provocan el cambio climático.

Conocer estas emisiones permitirá entender el comportamiento del municipio y establecer proyecciones que podrán facilitar la evaluación a largo plazo de las medidas establecidas, así como, fortalecer las estrategias nacionales

enfocadas en el grado de cumplimiento de los compromisos signados en el marco del Acuerdo de París y las NDC propias del mismo tratado.

REFERENCIAS

Cecropia Soluciones Locales a Retos Globales A.C. (2015). *Programa Municipal Ante el Cambio Climático de Tuxtla Gutiérrez*. Cecropia.org
<https://www.cecropia.org/humana/tuxtla/data/proyectos/promacc/PROMACC.pdf>

Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos [CPEUM]. Art. 4, 25 y 27. 5 de febrero de 1917 (México). Recuperado de:
<https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/CPEUM.pdf>

Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [IPCC] (2007). *Informe de Síntesis del Cuarto Informe de Evaluación*. Recuperado de:
https://archive.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/syr/es/contents.html

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (18 de mayo de 2018). Gases y compuestos de efecto invernadero. CambioClimatico.gob.mx.
<https://cambioclimatico.gob.mx/estadosymunicipios/Emisiones.html>

Ley General de Cambio Climático. Nueva Ley publicada en el Diario Oficial de la Federación el 6 de junio de 2012. Recuperado de:
<https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGCC.pdf>

Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (1988). Recuperado de:
<https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGEEPA.pdf>

Ley para la Adaptación y Mitigación ante el Cambio Climático en el Estado de Chiapas. Diciembre de 2010. Recuperado de:

https://maracc.chiapas.gob.mx/pdf/leyes/ley_cambio_climatico_chiapas.pdf

Naciones Unidas (2015). Acuerdo de París. Recuperado de: https://unfccc.int/sites/default/files/spanish_paris_agreement.pdf

Naciones Unidas (1992). Convención Marco de las Naciones Unidas Sobre el Cambio Climático. Recuperado de: <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf>

Naciones Unidas (2023). *Las ciudades y la contaminación contribuyen al cambio climático.* Recuperado de: <https://www.un.org/es/climatechange/climate-solutions/cities-pollution>

Naciones Unidas (1998). Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas Sobre el Cambio Climático. Recuperado de: <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpspan.pdf>

Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Prevención y Control de la Contaminación de la Atmósfera. Nuevo Reglamento publicado en el Diario Oficial de la Federación el 25 de noviembre de 1988. Recuperado de: https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/regley/Reg_LGEEPA_MPCC_A_311014.pdf

Reglamento de Protección Ambiental para el Municipio de Tuxtla Gutiérrez. Periódico Oficial del Estado de Chiapas No. 093. Pub. No. 0341-C-2020. miércoles, 25 de marzo de 2020. Recuperado de:

<https://www.tuxtla.gob.mx/admin/php/descargar.php?obj=MTQ5Nzl=&post=MTk=>

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT] (2015). *ACUERDO que establece las particularidades técnicas y las fórmulas para la aplicación de metodologías para el cálculo de emisiones de gases o compuestos de efecto invernadero*. Recuperado de: https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5406149&fecha=03/09/2015#gsc.tab=0

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT] (2019). *Fuentes de Área, Fuentes Misceláneas*. Recuperado de: <https://dsiappsdev.semarnat.gob.mx/datos/aire/inem/7..Miscelaneas.pdf>

Secretaría de Energía [SENER], (2023). *Balance Nacional de Energía 2022*. Recuperado de: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/841526/BNE_2022.pdf

Caballero, M., Lozano, S., y Ortega, B., (2007). Efecto invernadero, calentamiento global y cambio climático: una perspectiva desde las ciencias de la tierra. *Revista Digital Universitaria UNAM*. Vol.8 No.10. Recuperado de: https://www.revista.unam.mx/vol.8/num10/art78/oct_art78.pdf