



CONAHCYT
CONSEJO NACIONAL DE HUMANIDADES
CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS



METODOLOGÍA DEL INVENTARIO MUNICIPAL DE EMISIONES DE COMPUESTOS Y GASES DE EFECTO INVERNADERO (IMECyGEI)

MINERAL DE LA REFORMA, ESTADO DE HIDALGO

“Manual de la metodología de análisis de emisiones de CyGEI-Mixto”

Mineral de la Reforma, Hgo., Mayo 2023

TABLA DE CONTENIDO

METODOLOGÍA DEL INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA Y CAMBIO CLIMÁTICO	5
SISTEMA NACIONAL DE INDICADORES DE LA CALIDAD DEL AIRE (SINAICA)	5
ESTÁNDARES DE CALIDAD DEL AIRE	6
CONTAMINANTES CONSIDERADOS	7
METODOLOGÍA SNIFFER 4V-2D	14
<i>Emisiones CyGEI - PDMCA v1.0.</i>	14
<i>Equipo.</i>	14
<i>Método automático.</i>	15
<i>Especificaciones técnicas.</i>	16
<i>Uso de equipo y plataforma.</i>	17
<i>Protocolo de muestreo y diagnóstico.</i>	18
GENERALIDADES PARA LA ELABORACIÓN DEL INVENTARIO MUNICIPAL DE EMISIONES DE GASES Y COMPUESTOS DE EFECTO INVERNADERO (IMECYGEI)	21
INVENTARIO MUNICIPAL DE EMISIONES DE GASES Y COMPUESTOS DE EFECTO INVERNADERO (IMECYGEI)	33
CÁLCULOS ESPECÍFICOS DE LA CATEGORIZACIÓN DEL IMECYGEI.....	40
APARTADO 1. ENERGÍA:	40
APARTADO 2. PROCESOS INDUSTRIALES Y USO DE PRODUCTOS	61
APARTADO 3. AGRICULTURA, SILVICULTURA Y OTROS USOS DE LA TIERRA	73
APARTADO 4. RESIDUOS	88
BIBLIOGRAFÍA	98

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Calificativo de calidad de aire: color e intervalos de concentración por contaminante, Índice Aire y Salud.....	6
Tabla 2. <i>Valores límite para las concentraciones ambientales de contaminantes del aire establecidos en las Normas Oficiales Mexicanas</i>	7
Tabla 3. Índice de Calidad del Aire utilizada por el Software4DMapper	16
Tabla 4. Incidencia sobre la salud de cada contaminante.....	17
Tabla 5. Resultados de los contaminantes con valor medido	20
Tabla 6. Matriz de Correlación conversiones de Unidades	33
Tabla 7.- Potencial de Calentamiento de Compuestos y Gases del Efecto Invernadero	34
Tabla 8. Equivalencias para el cálculo de toneladas totales por UTA	36
Tabla 10. Valores de la constante de descomposición (k_j) por categoría de residuos j y porcentaje de RSU por categoría	91
Tabla 11. Totales de CH ₄ en kg y toneladas por categoría.....	92

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Distribución porcentual de las emisiones anuales de CO ₂ (toneladas) por el procesamiento de alimentos, bebidas y tabaco, Mineral de la Reforma 2023	44
---	----

Gráfico 2. Distribución porcentual de las emisiones anuales de CO ₂ (toneladas) por la industria manufacturera y de la construcción (incluyendo subapartados), Mineral de la Reforma 2023	48
Gráfico 3. Distribución porcentual de las emisiones anuales de CO ₂ (toneladas) por el sector de transporte, Mineral de la Reforma 2023.....	52
Gráfico 4. Distribución porcentual de las emisiones anuales de CO ₂ (toneladas) por otros sectores de energía, Mineral de la Reforma 2023	56
Gráfico 5. Distribución porcentual de las emisiones anuales de CO ₂ (toneladas) por otras fuentes, Mineral de la Reforma 2023.....	60
Gráfico 6. Distribución porcentual de las emisiones anuales de CO ₂ (toneladas) por industria de los minerales, Mineral de la Reforma 2023	63
Gráfico 7. Distribución porcentual de las emisiones anuales de CO ₂ (toneladas) por uso de productos no energéticos de combustibles y de solventes, Mineral de la Reforma 2023	67
Gráfico 8. Distribución porcentual de las emisiones anuales de CO ₂ (toneladas) por uso de productos sustitutos de las sustancias que agotan la capa de ozono, Mineral de la Reforma 2023 ..	70
Gráfico 9. Distribución porcentual de las emisiones anuales de CO ₂ (toneladas) por el sector de manufactura y utilización de otros productos, Mineral de la Reforma 2023	71
Gráfico 10. Distribución porcentual de las emisiones anuales de CO ₂ (toneladas) por el sector de otros en procesos industriales y usos de productos, Mineral de la Reforma 2023	73
Gráfico 11. Distribución porcentual de las emisiones anuales de CO ₂ (toneladas) por fermentación entérica de actividades ganaderas, Mineral de la Reforma 2023	76
Gráfico 12. Distribución porcentual de las emisiones anuales de CO ₂ (toneladas) por gestión de estiércol de actividades ganaderas, Mineral de la Reforma 2023	79
Gráfico 13. Distribución porcentual de las emisiones anuales de CO ₂ (toneladas) por usos de la tierra, Mineral de la Reforma 2023	86
Gráfico 14. Distribución porcentual de las absorciones anuales de CO ₂ (toneladas) por usos de la tierra, Mineral de la Reforma 2023	86
Gráfico 15. Distribución porcentual de total de CyGEI (CH ₄ y N ₂ O) anuales (toneladas) del apartado 4.A Sitios gestionados de eliminación de residuos (rellenos sanitarios) en Mineral de la Reforma, 2023.....	93
Gráfico 16. Distribución porcentual del total de CyGEI (CO ₂ , CH ₄ y N ₂ O) anuales (toneladas) del apartado 4.A Sitios gestionados de eliminación de residuos (rellenos sanitarios) en Mineral de la Reforma, 2023.....	97

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1. Captura geoespacial de Sniffer 4v-2D.....	15
Imagen 2. Sniffer montado en dron Matrice 300.....	15
Imagen 3. Sniffer montado en vehículo.	15
Imagen 4. Mapeo final de contaminantes en plataforma Sniffer4DMapper, Tula de Allende – PTAR Atotonilco de Tula.	19
Imagen 5. Cementera Cruz Azul, Tula de Allende, Hidalgo.....	23
Imagen 6. Contenedor químico con advertencia de sustancias peligrosas	31
Imagen 7. Sector ganadero en el municipio de Mineral de la Reforma, Hidalgo.....	31
Imagen 8. Boulevard Las Palomas – El Portezuelo, Mineral de la Reforma, Hidalgo	36
Imagen 9. Mapeo final de contaminantes en plataforma Sniffer4D- Mapper Mineral de la Reforma	37

Imagen 12. Mapeo de contaminantes en vialidades con la plataforma Sniffer4D-Mapper Mineral de la Reforma	37
---	----

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.a. Definiciones de los tipos de combustibles utilizadas en las Directrices del IPCC de 2006.....	24
--	----

ÍNDICE DE MAPAS

Mapa 1. Ejemplo de señalización de rutas mapeadas.....	18
---	----

METODOLOGÍA DEL INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA Y CAMBIO CLIMÁTICO

De acuerdo con el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) (2023), ante el crecimiento poblacional dentro de las ciudades, el deterioro de la calidad del aire puede ser perceptible cuando disminuye la visibilidad del paisaje o cuando los habitantes presentan irritación en ojos o garganta. No obstante, independientemente de lo que se puede inferir a simple vista, es prudente evaluar cuantitativamente la calidad del aire, mediante mediciones de la concentración de contaminantes y criterios como; las partículas suspendidas (PM10 y PM2.5), el ozono (O3), el dióxido de azufre (SO2), el dióxido de nitrógeno (NO2) y el monóxido de carbono (CO).

Dependiente del INECC, se encuentra el Sistema Nacional de Información de la Calidad del Aire (SINAICA), una serie de programas informáticos desarrollados para la recopilación, transmisión y publicación de datos e información referente a la calidad del aire, obtenida directamente de estaciones de monitoreo localizadas en diversos estados de la República (Ibídem). Idealmente, los distintos Sistemas de Monitoreo de Calidad del Aire (SMCA), disponen de la infraestructura adecuada para la medición de los componentes del aire. El conjunto de estaciones que miden la calidad del aire en una región determinada, se denomina red de muestreo.

De acuerdo con el INECC (2023), el SINAICA recopila los SMCA que son manejados por distintos órdenes y dependencias de gobierno, estatales y municipales, así como por universidades o institutos dedicados a la investigación; dicha información se puede consultar como datos crudos de la calidad del aire y de variables meteorológicas en tiempo real; de igual manera, se pueden visualizar y descargar datos históricos validados de indicadores de calidad del aire.

Sistema Nacional de Indicadores de la Calidad del Aire (SINAICA)

El objetivo de los indicadores de la calidad del aire es evaluar el nivel de contaminación atmosférica e informar a la población cuál es la calidad del aire que respira. En las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) referentes a la calidad del aire y publicadas por la Secretaría de Salud, están establecidos los límites máximos permisibles de la concentración de los

diferentes contaminantes del aire; por lo que, los datos recopilados de las redes de monitoreo no deben rebasar los valores indicados en las NOM.

A partir de los datos validados reportados al SINAICA, anteriormente recopilados por los SMCA, es posible evaluar el cumplimiento de los límites de las NOM, clasificar los días como buenos/regulares/malos, realizar estadísticas descriptivas, percentiles y estudios de comportamientos temporales. La generación continua de información permite calcular máximos y mínimos diarios, así como promedios de 8 y de 24 horas.

Estándares de calidad del aire

Tabla 1. Calificativo de calidad de aire: color e intervalos de concentración por contaminante, Índice Aire y Salud

Color	Calificativos de calidad del aire	PM10 µg/m ³	PM25 µg/m ³	O3 1hora ppm	O3 8horas ppm	SO2 ppm	NO2 ppm	CO ppm
Verde	Buena	[0,50]	[0,25]	[0,0.051]	[0,0.051]	[0,0.008]	[0,0.107]	[0,8.75]
Amarillo	Aceptable	[50,75]	[25,45]	[0.051,0.092]	[0.051,0.070]	[0.008,0.110]	[0.107,0.210]	[8.75,11.00]
Naranja	Mala	[75,155]	[45,79]	[0.095,0.135]	[0.070,0.092]	[0.110,0.165]	[0.210,0.250]	[13.30,15.50]
Rojos	Muy mala	(155,235]	(79,147]	(0.135,0.175]	(0.092,0.114]	(0.165,0.220]	(0.230,0.250]	(13.30,15.50]
Morado	Ext. Mala	>235	>147	>0.175	>0.114	>0.220	>0.250	>15.50

Fuente: INECC (2020a, pág. 56).

Los estándares de calidad del aire nos permiten identificar; cuáles son los estimados adecuados de exposición de una persona, es decir; si se encuentra en una zona donde las actividades económicas son principalmente en la industrialización, la calidad de aire que la población este respirando será Mala – Muy mala, los estándares de calidad buscan identificar cuáles son las principales fuentes de emisiones de los Compuestos y Gases de Efecto Invernadero (CyGEI), a fin de realizar un listado de las enfermedades en relación a los contaminantes.

Contaminantes considerados

Tabla 2. Valores límite para las concentraciones ambientales de contaminantes del aire establecidos en las Normas Oficiales Mexicanas

Contaminante		NOM	
O3	Concentración como promedio horario menor o igual a 0.095 ppm.	La concentración del promedio móvil de 8 horas debe ser menor o igual a 0.070 ppm.	NOM-020-SSA1-2014
CO	Su concentración como contaminante atmosférico no debe rebasar el valor permisible de 30,000µg/m ³ ó 26.0ppm en concentración de 1 hora.	No debe rebasar el valor permisible de 10,000µg/m ³ ó 9.0ppm de los promedios móviles de 8 horas.	NOM-021-SSA1-2021
SO2	0.075 ppm (196.5 µg/m ³), es el valor límite de 1 hora.	0.04 ppm (104.8 µg/m ³), valor límite del promedio de 24 horas.	NOM-022-SSA1-2019
NO2	No debe rebasar el límite máximo de 0.106 ppm o 200µg/m ³ en una hora.	En concentración anual, los valores límite de NO2 en el aire son de 0.021 ppm o 40µg/m ³ .	NOM-023-SSA1-2021
PM10	75 µg/m ³ es el límite como promedio de 24 horas.	El límite del promedio anual de concentraciones de PM10 es; 40 µg/m ³ .	NOM-025-SSA1-2014
PM2.5	45 µg/m ³ es el límite como promedio de 24 horas.	El límite del promedio anual de concentraciones de PM2.5 es; 12 µg/m ³	NOM-025-SSA1-2014
Plomo (Pb)	No debe rebasar el valor permisible de 1.5 µg/m ³ en un periodo de 3 meses, promedio aritmético.		NOM-026-SSA1-1993

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del INECC, 2023.

- CO

El monóxido de carbono, es un gas sin color ni olor, que se forma y se libera al ambiente debido a la combustión incompleta de materia orgánica, lo que hace considerarlo uno de los mayores contaminantes de la atmósfera terrestre (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, s.f). Casi el 80% de las emisiones de este gas, son producto de los vehículos automotores de combustión interna y de los distintos procesos industriales que utilizan compuestos de carbono.

Cuando el CO presente en el aire penetra al cuerpo humano, se une a las enzimas del grupo Hem de la hemoglobina, esto ocasiona un desplazamiento del oxígeno, lo que hace que se forme en la sangre un complejo denominado carboxihemoglobina (COHb), el cual dificulta el transporte de oxígeno en las células y tejidos, desencadenando una hipoxia celular generalizada (Téllez, Rodríguez y Fajardo, 2006).

Existe evidencia de la relación entre población expuesta en forma crónica a niveles medios y bajos de CO en el aire respirable, con afectaciones en el cerebro y corazón (órganos de alto consumo de oxígeno). En presencia de concentraciones de CO en el aire inferiores a 25 ppm y niveles inferiores al 10% de COHb en la sangre, se han documentado efectos nocivos cardiovasculares y neuropsicológicos como arritmias, hipertensión arterial, isquemia, déficit de atención, déficit de concentración, alteraciones del movimiento tipo parkinsonismo, etc. (Ibídem).

- CO₂ mg/m³

El dióxido de carbono (CO₂), es un compuesto químico conformado por un átomo de carbono unido con enlaces covalentes dobles a dos átomos de oxígeno. En condiciones de temperatura y presión estándar, el CO₂, es un gas incoloro.

El CO₂ atmosférico es la principal fuente de carbono para el flujo de energía dentro de los ecosistemas. Plantas, algas y bacterias fotosintetizadoras, usan la energía solar para sintetizar carbohidratos a partir de CO₂ y agua, dando como residuo del proceso O₂ liberado al ambiente.

Es producto de la respiración de todos los organismos aerobios, también se produce por la descomposición de materia orgánica, en procesos de fermentación industriales o artesanales y por la combustión de madera y combustibles fósiles. Además, es un gas de efecto invernadero, producto de procesos desde la Revolución Industrial. La quema de hidrocarburos ha aumentado exponencialmente su concentración en la atmósfera, de igual manera, el desbalance de liberación de CO₂ al ambiente es la principal causa de la acidificación de los océanos.

- VOCs ppm:

Compuestos orgánicos volátiles (COVs), también llamados VOC (por sus siglas en inglés), son compuestos orgánicos constituidos fundamentalmente por carbono, que se convierten fácilmente en vapor o gas. Los heteroátomos más comunes que forman parte de los COVs, suelen ser oxígeno, flúor, cobre, nitrógeno, bromo o azufre.

Dentro de los COVs, están agrupados los hidrocarburos alifáticos y aromáticos (clorados o no) y otros compuestos como aldehídos, cetonas, éteres, ácidos y alcoholes (Sánchez y Alcántara, 2009).

Por causas antropogénicas, los COVs son liberados al ambiente por la quema de combustibles, como gasolina, madera, carbón o gas natural. Comúnmente, los COVs se usan en disolventes, pinturas, pegamentos y otras sustancias en aerosol.

- $O_3+NO_2\mu g/m^3$:

O_3

Ozono: molécula compuesta por tres átomos de oxígeno unidos químicamente. Es un poderoso oxidante que reacciona rápidamente con otros compuestos químicos, bajo condiciones normales, el ozono se convierte en oxígeno diatómico aproximadamente en 30 minutos.

Es un componente natural de la atmósfera que se encuentra en bajas concentraciones. El 90% del ozono se encuentra en la estratósfera, donde forma una capa que limita el ingreso de la radiación ultravioleta proveniente del sol, resultando indispensable para la vida en la tierra. Sin embargo, en la superficie, el ozono en altas concentraciones es un contaminante del aire que provoca efectos nocivos para la salud humana y la biodiversidad.

Por otro lado, gran parte del ozono en la troposfera, se produce cuando los óxidos de nitrógeno (NO_x), el monóxido de carbono (CO) y los COVs reaccionan en la atmósfera en presencia de luz solar. Las emisiones vehiculares, las emisiones industriales y los solventes químicos son las principales fuentes antropogénicas de emisión de ozono como contaminante del aire (Secretaría de Medio Ambiente de la Ciudad de México, 2016).

- NO_x

Los óxidos de nitrógeno (NO_x), son una familia de compuestos a la que pertenecen distintos gases, tales como: óxido nítrico (NO), dióxido de nitrógeno (NO₂), trióxido de dinitrógeno (N₂O₃), tetraóxido de dinitrógeno (N₂O₄) y pentaóxido de dinitrógeno (N₂O₅). Son emitidos por fuentes naturales, como incendios forestales, la actividad microbiana en suelos, tormentas eléctricas, etc (Fernández, 2015). No obstante, la mayor parte de estos contaminantes, son liberados al ambiente por la actividad humana, principalmente por la combustión de los motores diésel. Perteneciente a este grupo; el óxido nitroso (N₂O), es un Gas Efecto Invernadero (GEI) que fluye en la atmósfera como parte del ciclo biogeoquímico del nitrógeno, sin embargo, actualmente por causa de la actividad humana, las emisiones de este gas aumentan cada vez más, siendo un importante precursor del Cambio Climático actual (Ibídem).

En la troposfera, los NO_x experimentan reacciones químicas constantemente, dependiendo de la concentración de los mismos y de la intensidad de la radiación solar, así como de la temperatura. Durante el día, ocurre lo que se conoce como “ciclo de los óxidos de nitrógeno”, en el que la luz solar forma ozono troposférico a través de fotólisis. De noche, el NO₂ forma ácido nítrico, a través de procesos oxidativos; el ácido nítrico se une al agua en forma de vapor que hay en la atmósfera.

Son sustancias irritantes y corrosivas que además de intervenir en el Cambio Climático, afectan a la vegetación y contribuyen a la eutrofización de océanos y cuerpos de agua. También son compuestos irritantes y corrosivos que afectan la salud humana, principalmente a través de su inhalación por medio del aire respirable. La constante exposición a estos contaminantes provoca desde irritaciones oculares y dermatitis, hasta complicaciones más serias, como enfermedades respiratorias (asma, bronquitis, cáncer de pulmón, etc.) y enfermedades cardiovasculares (cardiomegalia o colapso circulatorio). (Fernández, 2015).

- NO₂

El dióxido de nitrógeno es un líquido a temperatura ambiente que a los 21°C se transforma en un gas pardo de olor desagradable, no inflamable y es un contaminante del aire común en zonas urbanas, se forma como subproducto de los procesos de combustión a altas temperaturas, como en los vehículos motorizados y plantas de generación energética, así

como en procesos como la soldadura, la galvanoplastia, detonación de dinamita, etc. De los óxidos de nitrógeno, el NO₂ es de los más importantes toxicológicamente.

La reacción del NO₂ con sustancias químicas producidas por la luz solar, ocasiona la formación de ácido nítrico, el principal constituyente de la lluvia ácida (Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades, 2016). Debido a su forzamiento radiativo ($0.17 \pm 0.03 \text{ Wm}^2$) y a su contribución en la depleción de ozono troposférico, el NO₂ es el tercer GEI en importancia, detrás del CO₂ y del CH₄.

- NH₃

El amoníaco atmosférico es el compuesto alcalino más abundante en la atmósfera, formado por un átomo de nitrógeno y tres de hidrógeno. Los ecosistemas urbanos son ambientes ricos en amoníaco y promueven la formación de aerosoles inorgánicos secundarios al reaccionar con compuestos como el ácido nítrico o el ácido sulfúrico y pueden llegar a conformar hasta el 50% del total de la materia particulada (PM_{2.5}) (Behera et al., 2013, citado en Herrera, 2022), lo que se asocia a muerte prematura en humanos (Giannakis et al., 2019, citado en Herrera, 2022) y a la disminución en la salud de los ecosistemas naturales.

- SO₂

El dióxido de azufre es un gas incoloro, irritante y con un olor penetrante. De acuerdo con el Instituto para la Salud Geoambiental (2022), este gas es perfectamente distinguible en concentraciones de 3 ppm, compuesto por un átomo de azufre y dos de oxígeno y cuya densidad es del doble que la del aire, no inflamable y muy soluble en agua (en contacto con ella se convierte en ácido sulfúrico).

El SO₂ sufre procesos de oxidación en la atmósfera, formando así sulfatos que forman parte del material particulado PM₁₀, asimismo, en ambientes húmedos forma ácidos en forma de aerosoles que constituyen buena parte del material particulado PM_{2.5} (Ibídem). Los volcanes son ejemplo de fuentes naturales de emisión de SO₂; sin embargo, la combustión de productos derivados del petróleo, así como la quema de carbón y la utilización de calefacciones, son la principal fuente de emisión a la atmósfera.

Está documentado que la contaminación del aire por SO₂ tiene efectos en la salud humana, tales como; dificultad para respirar, inflamación de las vías respiratorias, problemas

de asma, bronquitis crónica, edema pulmonar, irritación ocular, paro cardíaco, colapso circulatorio y hasta alteraciones mentales. (Instituto para la Salud Geoambiental, 2022).

- PM

El material particulado, según el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) (s.fb), se refiere a las partículas en suspensión que se encuentran en el aire; puede formarse por procesos naturales o por fuentes antropogénicas. Dentro de los procesos naturales de formación de material particulado se encuentra la polinización de las plantas, los incendios forestales, las erupciones volcánicas, la erosión eólica, etc.; por su parte, dentro de las actividades antropogénicas la quema de combustibles fósiles, el hollín, la industria minera y de construcción, el transporte terrestre, la aplicación de pesticidas y fertilizantes en campos agrícolas (entre algunas actividades), son las principales actividades para su formación (ibídem).

Mientras que PM seguido de un número, se refiere a todas las partículas de un diámetro aerodinámico máximo que pueden quedar suspendidas en el aire. Cada clasificación incluye a las partículas cuyo tamaño sea inferior a la medida establecida.

- ● PM1.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- Partículas de $<1\mu\text{m}$. Polvo ultra fino, partículas producto de procesos de combustión, bacterias y virus.
- ● PM2.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- Partículas de $<2.5\mu\text{m}$. Polen, esporas y otras partículas orgánicas.
- ● PM10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- Partículas de $<10\mu\text{m}$. Polvo grueso y otras partículas orgánicas.

- CxHy/Flammable Gases %

Hidrocarburos (HC o CxHy); son un grupo de compuestos químicos, formados exclusivamente por carbono e hidrógeno.

En la naturaleza los podemos encontrar como gas natural, petróleo o carbón. La fabricación de productos hidrocarbonados y el uso y eliminación de plásticos, solventes, pinturas, combustibles, etc., producen emisiones de compuestos de HC, así como las combustiones incompletas, como incendios forestales u otros tipos de incendios provocados

por actividad humana. El metano (CH_4), butano (C_4H_{10}) y benceno (C_6H_6); son ejemplos de hidrocarburos, al igual que componentes cancerígenos como el benzopireno, que se libera al ambiente a través de los escapes de los automóviles, de la madera quemada, cigarrillos, parrillas de leña o carbón, etc. (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2022).

El grupo de compuestos orgánicos volátiles BTEX (benceno, tolueno, etilbenceno y xileno), son potencialmente peligrosos para el medio ambiente y la salud humana (Moolla, 2015). Está demostrado en varios estudios que el benceno afecta a los sistemas nervioso, linfático, hematopoyético, hepático, renal y es cancerígeno para el hombre (García, 2017).

- HCHO

El Formaldehído es un gas incoloro de olor sofocante, muy soluble en agua, en la cual polimeriza rápidamente. A bajas concentraciones, este gas provoca irritación ocular, además de irritación del tracto respiratorio y dermatitis; por otro lado, en altas concentraciones, provoca irritaciones severas en el tracto respiratorio, incluso llegando a provocar la muerte; debido a ello, este gas es considerado cancerígeno de categoría 3, clasificado como tóxico por inhalación en contacto con la piel y por ingestión, provocando quemaduras y la posibilidad de efectos irreversibles (Instituto Sindical de Trabajo, Ambiente y Salud, 2019)

- CH_4

El Metano es compuesto por cuatro átomos de hidrógeno unidos mediante enlaces covalentes a un átomo de carbono. A temperaturas y presiones ordinarias, el metano es un gas incoloro con persistencia elevada en la atmósfera.

Entre las fuentes naturales de emisión de metano destacan; la descomposición de la materia orgánica y los pantanos, sin embargo, estos focos de emisión son responsables de un porcentaje mínimo, a comparación de las cantidades de metano que emiten las fuentes antropogénicas como; vertederos de basura, la fermentación entérica, el estiércol del ganado, la extracción y uso del petróleo y del gas natural, la minería del carbón y las aguas residuales.

Metodología Sniffer 4v-2D

Emissiones CyGEI - PDMCA v1.0.

Prototipo de mediciones de calidad del aire VI.0.

Considerando que la contaminación del aire se ha convertido en uno de los principales problemas de México y del mundo; hoy en día se sabe que está directamente relacionado a problemas de salud y disturbios ambientales. En las grandes ciudades y las zonas industriales del territorio nacional se han identificado algunas de las fuentes emisoras principales en el país. La variedad de las fuentes emisoras, la dinámica y características físico químicas de los contaminantes en la atmósfera, los efectos sobre la salud y los ecosistemas, vuelven muy difícil la evaluación y norma de los mismos. Tener programas, sistemas y modelos adecuados de medición de la calidad del aire se vuelve clave para tener un control y una herramienta con la cual se pueda incidir y mitigar.

La Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA) (Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, 2015), establece que los datos de calidad del aire que se generan en el país, tanto en las redes de monitoreo urbanas como en las estaciones fijas deben tener una administración integral de los datos de calidad del aire que se generan en el país, sin importar si son de gobierno o de iniciativa privada.

Equipo

El equipo utilizado en las pruebas de campo es el sensor Sniffer 4d v2 en su versión terrestre montada en un vehículo y su versión aérea montada en un drone Mavic 3 o Matrice 300. De igual forma se utiliza el software Sniffer4DMapper V2.3.07.20.

Imagen 1. Captura geoespacial de Sniffer 4v-2D.



Fuente: Imagen tomada del acervo fotográfico del Laboratorio de Análisis territorial Ambiente y Ciencia de Datos.

Imagen 3. Sniffer montado en vehículo.



Fuente: Imagen tomada del acervo fotográfico del Laboratorio de Análisis territorial Ambiente y Ciencia de Datos.

Imagen 2. Sniffer montado en dron Matrice 300.



Fuente: Imagen tomada del acervo fotográfico del Laboratorio de Análisis territorial Ambiente y Ciencia de Datos.

Método automático

El equipo Sniffer se clasifica, de acuerdo al Manual 1 de “Principios de Medición de la Calidad del Aire” (SINAICA, s.f), como automático. Este permite llevar a cabo mediciones de forma continua para concentraciones horarias y menores. El espectro de contaminantes que se pueden determinar va desde los contaminantes criterio (PM10-PM2.5, CO, SO2, NO2, O3, CO2) y algunos compuestos orgánicos volátiles. Este método tiene como ventaja que

una vez cargada la muestra al sistema nos da las lecturas de las concentraciones de manera automática y en tiempo real. Los equipos disponibles se clasifican en: analizadores automáticos y monitores de partículas. Siendo el Sniffer una combinación de ambos determinando concentraciones de gases y a su vez midiendo la concentración de materia particulada (PM).

Especificaciones técnicas

Para consultar las especificaciones del equipo y el informe de calibración ver los siguientes PDF:



Calibración Sniffer
2022.pdf



Sniffer4D_V2_Compo
nents-Specs.pdf

Tabla 3. Índice de Calidad del Aire utilizada por el Software4DMapper

ICA–U.S, estándar.	SO2 µg/m3	NO2 µg/m3	PM 10 µg/m3	CO mg/m3	O3 µg/m3	PM 2.5 µg/m3	Color de referencia.
0	0	0	0	0	0	0	Verde
50	100	108	54	5	116	12	Amarillo
100	214	205	154	11	150	35	Naranja
150	529	739	254	15	182	55	Rojo
200	869	1333	354	19	225	150	Violeta
300	1726	2556	424	38	429	250	Granate

Color de referencia.
Verde (Bueno)
Amarillo (Medio)
Naranja (Afecta a grupos vulnerables)
Rojo (Malo)
Violeta (Insalubre)
Granate (Peligroso)

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4. Incidencia sobre la salud de cada contaminante

Contaminante.	Efectos sobre la salud.
Monóxido de Carbono (CO)	Formación de carboxihemoglobina provoca apnea.
Materia Particulada (PM)	Síntomas respiratorios aumentados, como irritación en las vías respiratorias, tos o dificultad para respirar.
Dióxido de Azufre (SO ₂)	Irritación de piel y membranas mucosas de los ojos, la nariz, la garganta y los pulmones.
Ozono (O ₃)	Irritación de vías respiratorias y epitelios oculares.
Nitrógeno (N ₂)	Disminución del desarrollo de la función pulmonar.

Fuente: Elaboración propia con base

Uso de equipo y plataforma

- *Sniffer*

El Sniffer4D V2 no cuenta con un botón de encendido en su versión individual, debe conectarse directamente a una fuente por medio de un cable tipo C y USB el cual está incluido dentro de la maleta del mismo. En su versión montada en un vehículo incluye una fuente externa y un cable que va conectado directamente al arnés. Debe verificarse que los botones LED que tiene en la parte superior se encuentren encendidos y debe de esperarse un aproximado de 40 segundos antes de comenzar la operación. Una vez encendido el equipo, puede conectarse el cable tipo C de telemetría en el puerto denominado “Telem.”, que se encuentra a un costado del Sniffer, mientras que la conexión USB va directamente en un puerto de una computadora que tenga el software S4D mapper. Para conectarse de forma inalámbrica debe verificarse el LED “4g” que de igual forma se encuentra en la parte superior, se encuentre parpadeando continuamente; en caso contrario debe verificarse si cuenta con un plan de datos de internet activo.

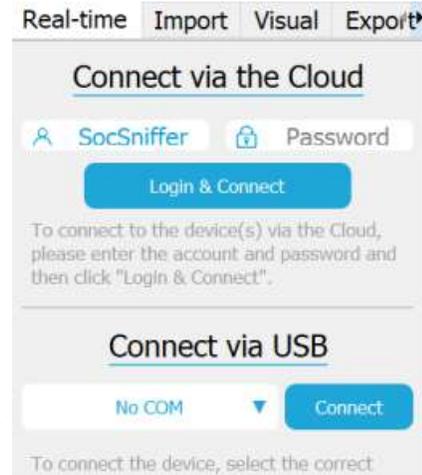
- *Conexión al software*

Conexión inalámbrica.

Debe pedirse el nombre de usuario y la contraseña para poder enlazar el dispositivo.

Conexión alámbrica.

Debe verificarse que el cable telemétrico esté conectado y que aparezca el dispositivo disponible "COM3".



Protocolo de muestreo y diagnóstico

- *Selección de sitio y ruta a evaluar*

Para el trazado de ruta en el sitio de interés, puede utilizarse Google Earth Pro, Google maps o algún software disponible de mapeo, tal como se muestra a continuación:

Mapa 1. Ejemplo de señalización de rutas mapeadas



Fuente: Elaboración propia.
Las líneas rojas representan las rutas de medición móvil en este estudio.

- *Creación de carpeta y bitácora de control*

Debe crearse una carpeta específica la cuál contendrá el archivo ejecutable en el software Sniffer 4D V2 y la bitácora de muestreo que se muestra en el archivo llamado:



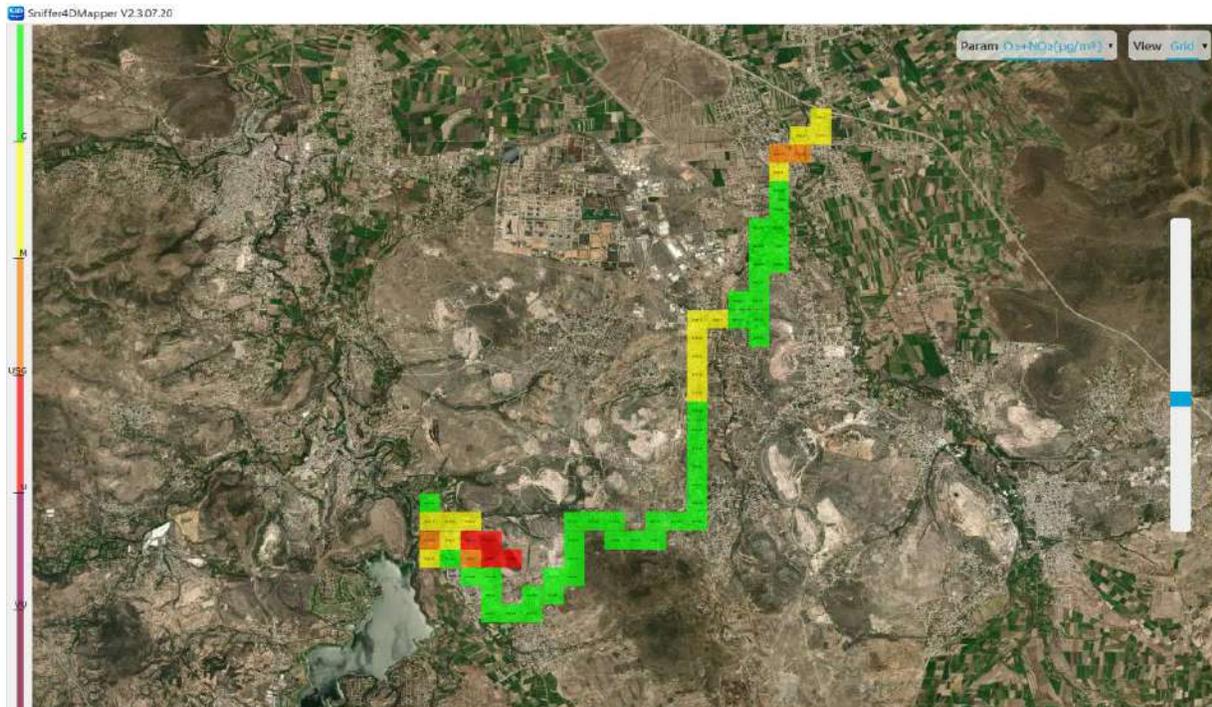
Bitácora de
muestreo..docx

- *Finalización de las misiones*

Al finalizar la misión debe generarse el reporte en PDF de cada contaminante, al igual que el Excel que contenga la base de datos y guardarlo en la carpeta creada específica del sitio de muestreo.

- *Evaluación de cada misión*

Imagen 4. Mapeo final de contaminantes en plataforma Sniffer4DMapper, Tula de Allende – PTAR Atotonilco de Tula.



Fuente: Elaboración propia.

- *Resumen de base de datos*

Tabla 5. Resultados de los contaminantes con valor medido

Contaminantes	SO2 µg/m ³	CO mg/m ³	O3+NO2 µg/m ³	PM1.0 µg/m ³	PM2.5 µg/m ³	PM10 µg/m ³	CxHy/Fla- mmable Gases %	CO2 mg/m ³
Valor medido	3.0365 7708	0.3978 7704	104.1005 18	30.29648 78	40.486 6506	42.84945 51	0.0319469 2	888.60 1111

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados ejecutables en el software Sniffer 4D V2.

- *Reporte de cada contaminante*

Para ver los reportes de cada contaminante, revisar los archivos:

SO2	CO	O3+NO2	PM1.0
 Tula de Allende - PTAR Atotonilco de Tl	 Tula de Allende - PTAR Atotonilco de Tl	 Tula de Allende - PTAR Atotonilco de Tl	 Tula de Allende - PTAR Atotonilco de Tl

PM2.5	PM10	CxHy	CO2
 Tula de Allende - PTAR Atotonilco de Tl	 Tula de Allende - PTAR Atotonilco de Tl	 Tula de Allende - PTAR Atotonilco de Tl	 Tula de Allende - PTAR Atotonilco de Tl

GENERALIDADES PARA LA ELABORACIÓN DEL INVENTARIO MUNICIPAL DE EMISIONES DE COMPUESTOS Y GASES DE EFECTO INVERNADERO (IMECyGEI)

Un inventario de emisiones de gases de efecto invernadero es una herramienta mediante la cual se reportan las emisiones generadas en un límite geográfico y tiempo específicos, su correcta elaboración es de vital importancia para identificar y caracterizar las principales fuentes emisoras y así enfocar políticas públicas hacia una mitigación de la contaminación atmosférica y del cambio climático (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, 2020).

Los datos son estimaciones realizadas por el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) y forman parte del Inventario Nacional de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero. El Inventario, presentado en marzo de 2018, incluye las emisiones de bióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC), hexafluoruro de azufre (SF₆) y carbono negro en el periodo 1990-2015.

Las estimaciones se realizaron de acuerdo con las Directrices del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés: Intergovernmental Panel on Climate Change) de 2006, para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero: IPCC, 2006, Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. En el caso del sector «Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra», el Inventario considera la estimación de la absorción de CO₂ como parte del proceso fotosintético de la cubierta vegetal y los cuerpos de agua (Sector 3B Tierra) (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2006)¹.

- Emisiones netas: Suma de las emisiones de los sectores, incluidas las absorciones de CO₂ (valores negativos) que resultan de las permanencia y conversiones de tierras

¹ Para mayor información se recomienda visitar el sitio del IPCC: <https://www.ipcc.ch/spanish/> así como las guías metodológicas 2006, disponibles en la siguiente dirección electrónica: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/index.html> y el refinamiento de las mismas realizado en 2019 disponible en la siguiente dirección electrónica: <https://www.ipcces.or.jp/public/2019rf/index.html>

forestales, pastizales, humedales, tierras de cultivo, asentamientos y otras tierras (consideradas en el sector 3B Tierra de la clasificación del IPCC).

- Emisiones totales: Suma de las emisiones de los sectores, sin considerar las absorciones de CO₂ (valores negativos) que derivan de permanencias y conversiones de tierras forestales, pastizales, humedales, tierras de cultivo, asentamientos y otras tierras.

Para realizar el análisis de las unidades económicas y la filtración de estas de acuerdo a las categorías que nos marca el Inventario Municipal de Emisiones de Compuestos y Gases de Efecto Invernadero (IMECYGEI), se consideró la información proporcionada por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), tomando como referencia el Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE) con la actualización al mes de noviembre del 2022 (INEGI, 2023).

Dicho inventario se encuentra categorizado de la siguiente manera:

1. Energía
2. Procesos industriales y usos de productos
3. Agricultura, silvicultura, y otros usos de la tierra
4. Residuos.

Estas categorías cuentan con una sub categorización por fuente y sub fuente de emisión, es decir que se desprenden demás actividades específicas que nos permite identificar cuál de ellas es la que representa mayor grado de emisiones de Gases Efecto Invernadero (GEI) en nuestro municipio de análisis.

En la primera categoría se resumen las actividades en relación a combustibles (gas, petróleo, gas natural), construcción (relación entre las industrias que procesan materiales como textiles y cueros, madera, alimentos, etc.).

Imagen 5. Cementera Cruz Azul, Tula de Allende, Hidalgo



Fuente: Acervo fotográfico del Laboratorio de Análisis Territorial, Ambiente y Ciencia de Datos, 2023

Definiciones de los Combustibles

De acuerdo con Garg, Kazunari y Pulles (2006), se requieren términos y definiciones comunes de los combustibles con el fin de que los países describan y analicen las emisiones procedentes de las actividades de quema del combustible de manera homogénea; por ello, se presenta una lista de los tipos de combustibles basada (principalmente) en las definiciones de la Agencia Internacional de Energía (AIE), que fueron utilizadas en las *Directrices del IPCC de 2006*, de los mismos autores.

Cuadro 1.a. Definiciones de los tipos de combustibles utilizadas en las Directrices del IPCC de 2006

<i>Descripción en español</i>		<i>Comentarios</i>
LÍQUIDOS (Petróleo crudo y productos petrolíferos)		
Petróleo crudo		El petróleo crudo es un aceite mineral que consta de una mezcla de hidrocarburos de origen natural, de un color que va del amarillo al negro, y de una densidad y viscosidad variables. También incluye el condensado de petróleo (líquidos separadores) que se recuperan a partir de los hidrocarburos gaseosos en las plantas de separación del condensado.
Orimulsión		Sustancia del tipo alquitrán que se produce naturalmente en Venezuela. Se puede quemar directamente o refinar para lograr productos petrolíferos ligeros.
Gas natural licuado (GNL)		Constituyen el GNL los hidrocarburos líquidos o licuados producidos por la fabricación, purificación y estabilización del gas natural. Son partes del gas natural recuperadas como líquido en los separadores, las instalaciones de campo o las plantas de procesamiento del gas. El GNL incluye, sin carácter taxativo, etano, propano, butano, pentano, gasolina natural y condensado. También puede incluir pequeñas cantidades de no hidrocarburos.
Gasolina	Gasolina para motores	Se trata de un hidrocarburo ligero para usar en los motores de combustión interna como los automotores, con exclusión de las aeronaves. La gasolina para motores se destila entre los 35 °C y los 215 °C y se utiliza como combustible para los motores de encendido por chispa basados en tierra. La gasolina para motores incluye aditivos, oxigenados y mejoradores de los octanos, incluidos los compuestos de plomo tales como el TEP (plomo tetraetilo) y el TMP (plomo tetrametilo).
	Gasolina para aviación	La gasolina para la aviación es gasolina para motores preparada especialmente para los motores de pistones de la aviación, con una cantidad de octanos acorde al motor, un punto de congelación de -60 °C y un rango de destilación que normalmente oscila dentro de los límites de 30 °C y 180 °C.
	Gasolina para motor a reacción	Incluye todos los hidrocarburos ligeros para usar en los grupos motores de las turbinas de aviación. Se destilan entre los 100 °C y los 250 °C. Se obtiene mezclando querosenos con gasolina o nafta de forma tal que el contenido aromático no supere el 25 por ciento en volumen, y la presión de vapor quede entre los 13,7 kPa y los 20,6 kPa. Se puede incluir aditivos para mejorar la estabilidad y combustibilidad del combustible.
Queroseno para motor a reacción		Destilado medio utilizado para grupos motores de las turbinas de aviación. Posee las mismas características de destilación y punto de inflamación del queroseno (entre 150 °C y 300 °C, pero en general no supera los 250 °C). Además, posee especificaciones particulares (tales como el punto de congelación) que establece la Asociación de Transporte Aéreo Internacional (IATA, del inglés, <i>International Air Transport Association</i>).
Otro queroseno		El queroseno comprende el destilado de petróleo refinado intermedio cuya volatilidad se encuentra entre la gasolina y el gas/diesel oil. Es una destilación media de petróleo entre los 150 °C y los 300 °C.
Esquisto bituminoso		Aceite mineral extraído del esquisto bituminoso.

Fuente: Garg, Kazunari y Pulles (2006, págs. 13-17).

Cuadro 2.b. Definiciones de los tipos de combustibles utilizadas en las Directrices del IPCC de 2006

<i>Descripción en español</i>	<i>Comentarios</i>
LÍQUIDOS (Petróleo crudo y productos petrolíferos)	
Gas/Diesel Oil	Incluye los gasóleos pesados. Los gasóleos se obtienen de la mínima fracción de la destilación atmosférica del petróleo crudo, mientras que los gasóleos pesados se obtienen por redestilación en vacío del residual de la destilación atmosférica. El gas/diesel oil se destila entre los 180 °C y los 380 °C. Se encuentran disponibles diversas leyes según las aplicaciones: diesel oil para chispa de compresión diesel (automóviles, camiones, marítimo, etc.), aceite ligero para calefacción para aplicaciones industriales y comerciales, y otro gasóleo incluidos los gasóleos pesados que se destilan a una temperatura entre 380 °C y 540 °C y se utilizan como sustancias petroquímicas para la alimentación a procesos.
Fuelóleo residual	Este encabezado define los aceites que conforman el residuo de la destilación. Comprende todos los fuelóleos residuales, incluidos los que se obtienen a partir de las mezclas. Su viscosidad cinemática se encuentra por encima de los 0,1cm ² (10 cSt) a 80 °C. El punto de inflamación siempre está por encima de los 50 °C y la densidad siempre es superior a 0,90 kg/l.
Gases licuados de petróleo	Constituyen la fracción de hidrocarburos ligeros de la serie de parafina, derivada de los procesos de refinería, las plantas de estabilización del petróleo crudo y las plantas de procesamiento del gas natural que comprende propano (C ₃ H ₈) y butano (C ₄ H ₁₀) o una combinación de ambos. Normalmente se licuan a presión para el transporte y almacenamiento.
Etano	Hidrocarburo de cadena lineal naturalmente gaseoso (C ₂ H ₆). Es un gas parafínico incoloro que se extrae del gas natural y de los caudales de gas de refinería.
Nafta	Sustancia para la alimentación a procesos destinada a la industria petroquímica (p. ej., la manufactura de etileno o la producción de compuestos aromáticos) o para la producción de gasolina mediante reformación o isomerización dentro de la refinería. La nafta incluye materia comprendida en el rango de destilación de 30 °C a 210 °C o parte de este rango.
Alquitrán	Hidrocarburo sólido, semi-sólido o viscoso con una estructura coloidal, de color marrón a negro, que se obtiene como residuo de la destilación del petróleo crudo, por destilación al vacío de óleos residuales de la destilación atmosférica. Muchas veces se hace referencia al alquitrán como asfalto y se lo utiliza principalmente para el tratamiento de superficie de rutas y como material impermeabilizante de techos. Esta categoría incluye el alquitrán fluidizado y reducido.
Lubricantes	Hidrocarburos producidos a partir de destilado o residuo; se los utiliza principalmente para reducir la fricción entre las superficies de los rodamientos. Esta categoría incluye todos los tipos terminados de aceites lubricantes, desde el aceite para huso hasta el aceite para el cilindro, y los utilizados en las grasas, incluidos los aceites para motor y todos los tipos de soporte de aceite lubricante.

Fuente: Garg, Kazunari y Pulles (2006, págs. 13-17).

Cuadro 3.c. Definiciones de los tipos de combustibles utilizadas en las Directrices del IPCC de 2006

<i>Descripción en español</i>		<i>Comentarios</i>
LÍQUIDOS (Petróleo crudo y productos petrolíferos)		
Coque de petróleo		Se lo define como residuo sólido negro, que se obtiene principalmente por escisión y carbonización de las sustancias para la alimentación a procesos derivadas del petróleo, residuos de vacío, alquitrán y brea de los procesos tales como la coquización retardada o la coquización fluida. Consta principalmente de carbono (de 90 a 95 por ciento) y tiene un bajo contenido de ceniza. Se lo utiliza como sustancia para la alimentación a procesos de los hornos de coque para la industria del acero, para fines de calefacción, para la fabricación de electrodos y para la producción de sustancias químicas. Las dos calidades más importantes son el «coque verde» y el «coque calcinado». Esta categoría también incluye el «coque catalizador» depositado en el catalizador durante los procesos de refinación: no es recuperable y suele quemarse como combustible de refinería.
Sustancia para alimentación a procesos de refinerías		Producto o combinación de productos derivados del petróleo crudo y destinados a un posterior procesamiento que no sea la mezcla en la industria de la refinería. Se transforma en uno o más componentes y/o productos terminados. Esta definición cubre los productos terminados importados para entrada en refinería y los devueltos de la industria petroquímica a la industria de refinación.
Otro petróleo	Gas de refinería	Se define como un gas no condensable obtenido durante la destilación del petróleo crudo o el tratamiento de los productos del petróleo (p. ej., la escisión) en refinerías. Consta principalmente de hidrógeno, metano, etano y olefinas. Incluye también los gases que se devuelven de la industria petroquímica.
	Ceras	Hidrocarburos alifáticos saturados (de la fórmula general C_nH_{2n+2}). Estas ceras son los residuos que se extraen al desparafinar los aceites lubricantes; presentan una estructura cristalina con un número de carbonos mayor que 12. Sus principales características son: incoloras, inodoras y translúcidas, con un punto de fusión superior a los 45 °C.
	Espíritu blanco y SBP	El espíritu blanco y el SBP son destilados refinados intermedios cuya destilación se encuentra en la gama de la nafta y el queroseno. Se subdividen del siguiente modo: i) Esencia de petróleo (SBP): Aceites livianos que se destilan entre los 30 °C y los 200 °C, con una diferencia de temperatura comprendida entre el 5 y el 90 por ciento del volumen de los puntos de destilación, incluidas las pérdidas, de no más de 60 °C. En otras palabras, el SBP es un aceite liviano de un corte más angosto que la gasolina para motores. Existen 7 u 8 leyes de esencia de petróleo, según la posición del corte en el rango de destilación antes definido. ii) Espíritu blanco: esencia de petróleo con un punto de inflamación superior a los 30 °C. El rango de destilación del espíritu blanco es de 135 °C a 200 °C.
	Otros productos del petróleo	Productos del petróleo no incluidos en la clasificación precedente; por ejemplo: alquitrán, azufre y grasa. Esta categoría incluye también los compuestos aromáticos (p. ej., BTX o benceno, tolueno y xileno) y las olefinas (p. ej., propileno) producidos dentro de las refinerías.

Fuente: Garg, Kazunari y Pulles (2006, págs. 13-17).

Cuadro 4.d. Definiciones de los tipos de combustibles utilizadas en las Directrices del IPCC de 2006

<i>Descripción en español</i>		<i>Comentarios</i>
SÓLIDOS (Carbón y productos del carbón)		
Antracita		Carbón de alto rango utilizado para aplicaciones industriales y residenciales. Generalmente tiene menos del 10 por ciento de materia volátil y un alto contenido de carbono (alrededor de 90 por ciento de carbono fijo). Su valor calórico bruto es mayor que 23 865 kJ/kg (5 700 kcal/kg) en una base sin ceniza pero húmeda.
Carbón de coque		Carbón bituminoso cuya calidad permite producir un coque adecuado para una carga de alto horno. Su valor calórico bruto es mayor que 23 865 kJ/kg (5 700 kcal/kg) en una base sin ceniza pero húmeda.
Otro carbón bituminoso		Se lo utiliza para la generación de vapor e incluye todo el carbón bituminoso no incluido en la categoría carbón de coque. Se caracteriza por tener más materia volátil que la antracita (más del 10 por ciento) y menor contenido de carbono (menos del 90 por ciento de carbono fijo). Su valor calórico bruto es mayor que 23 865 kJ/kg (5 700 kcal/kg) en una base sin ceniza pero húmeda.
Carbón subbituminoso		Carbón no aglomerante con un valor calórico bruto comprendido entre los 17 435 kJ/kg (4 165 kcal/kg) y los 23 865 kJ/kg (5 700 kcal/kg) que contiene más del 31 por ciento de materia volátil sobre una base libre de materia mineral seca.
Lignito		El lignito/carbón de lignito es un carbón no aglomerante con un valor calórico bruto inferior a 17 435 kJ/kg (4 165 kcal/kg), y mayor que el 31 por ciento de materia volátil sobre una base libre de materia mineral seca.
Esquisto bituminoso y arena impregnada de alquitrán		Esquisto bituminoso: roca inorgánica no porosa que contiene diversas cantidades de materia orgánica sólida que da hidrocarburos, junto con una variedad de productos sólidos, cuando se la somete a la pirólisis (tratamiento que consiste en calentar la roca a alta temperatura). Arena impregnada de alquitrán (o rocas carbonatadas porosas): arena mezclada naturalmente con una forma viscosa de petróleo crudo pesado, a veces denominada alquitrán. Debido a su elevada viscosidad, no es posible recuperar este aceite por métodos convencionales de recuperación.
Briquetas de carbón de lignito		Las briquetas de carbón de lignito (BKB) son combustibles de composición fabricados a partir del lignito/carbón de lignito, que se obtienen por briquetado a alta presión. Las cifras incluyen los finos secos y el polvo del lignito.
Combustible evidente		Combustible de composición fabricado con finos de hulla, con el agregado de un aglutinante. Por lo tanto, la cantidad de combustible evidente producido puede ser un poco mayor que la cantidad real de carbón consumido en el proceso de transformación.
Coque	Coque para horno de coque y Coque de lignito	El coque para horno de coque es el producto sólido que se obtiene por carbonización del carbón, principalmente del carbón de coque, a alta temperatura. Tiene un nivel bajo de materia volátil y contenido de humedad. Se incluye también el semi coque, producto sólido que se obtiene de la carbonización del carbón a baja temperatura, coque de lignito, semi coque hecho con lignito/carbón de lignito, cisco de coque y coque de fundición. Se lo conoce también como coque metalúrgico.
	Coque de gas	Producto derivado de la hulla, usado para la producción del gas ciudad en las fábricas de gas. Se lo utiliza para calefacción.

Fuente: Garg, Kazunari y Pulles (2006, págs. 13-17).

Cuadro 5.e. Definiciones de los tipos de combustibles utilizadas en las Directrices del IPCC de 2006

<i>Descripción en español</i>		<i>Comentarios</i>
SÓLIDOS (Carbón y productos del carbón)		
Alquitrán de hulla		El resultado de la destilación destructiva de la hulla bituminosa. Derivado líquido de la destilación del carbón para fabricar coque en el proceso de horno de coque. Puede destilarse aún más hasta obtener diferentes productos orgánicos (p. ej., benceno, tolueno, naftaleno) que normalmente se declaran como sustancia para la alimentación a procesos de la industria petroquímica.
Gases derivados	Gas de fábricas de gas	Cubre todos los tipos de gases producidos en plantas privadas o de servicios públicos, cuyo objetivo principal es la manufactura, el transporte y la distribución del gas. Comprende el gas producido por carbonización (incluido el gas producido por hornos de coque y transferido al gas de las fábricas de gas), por gasificación total con o sin enriquecimiento con productos del petróleo (GLP, fuelóleo residual, etc.) y por reformado y mezcla simple de gases y/o aire. Excluye el gas natural mezclado, que suele distribuirse por la red de distribución del gas natural.
	Gas de horno de coque	Se obtiene como producto derivado de la manufactura del coque de horno de coque para la producción de hierro y acero.
	Gas de alto horno	Se produce durante la quema del coque en los altos hornos, en la industria del hierro y del acero. Se recupera y se utiliza como combustible parcialmente dentro de la planta y parcialmente en otros procesos de la industria del acero, o en las centrales eléctricas equipadas para quemarlo.
	Gas de horno de oxígeno para aceros	Se obtiene como producto derivado de la producción de acero en un horno de oxígeno, y se recupera al dejar el horno. Este gas se conoce también como gas de convertidor, gas LD (iniciales de <i>Linz-Donawitz</i>) o gas BOS.
GAS (Gas natural)		
Gas natural		Debe incluir el gas natural mezclado (a veces también denominado «Gas ciudad» o gas para consumo humano), un gas de alto valor calórico obtenido como mezcla de gas natural con otros gases derivados de otros productos primarios y suele distribuirse por la red de distribución de gas natural (p. ej. metano de las capas de carbón). El gas natural mezclado debe incluir al gas natural sustituto, un gas de alto valor calórico, fabricado por conversión química de un combustible fósil de hidrocarburo, en el que las principales materias primas son: gas natural, carbón, petróleo y esquisto bituminoso.
OTROS COMBUSTIBLES FÓSILES		
Desechos municipales (fracción no perteneciente a la biomasa)		Incluye los desechos que producen los hogares, la industria, los hospitales y el sector terciario, que se incineran en instalaciones específicas y se utilizan a los fines energéticos. Solamente debe incluirse aquí la fracción del combustible que no es biodegradable.
Desechos industriales		Constan de los productos sólidos y líquidos (p. ej. los neumáticos) que se queman en forma directa, normalmente en plantas especializadas, para producir calor y/o energía no declarada como biomasa.
Óleos de desecho		Óleos usados (p. ej., lubricantes de desecho) que se queman para la producción de calor.

Fuente: Garg, Kazunari y Pulles (2006, págs. 13-17).

Cuadro 6.f. Definiciones de los tipos de combustibles utilizadas en las Directrices del IPCC de 2006

<i>Descripción en español</i>		<i>Comentarios</i>
TURBA		
Turba ²		Depósito combustible suave, poroso o comprimido y sedimentario de origen vegetal, que incluye un material de madera con alto contenido de agua (hasta 90 por ciento en estado bruto), fácil de cortar, que puede contener trozos más duros de color marrón claro a oscuro. No se incluye la turba utilizada para fines no energéticos.
BIOMASA		
Biocombustibles sólidos	Madera / Desechos de madera	Madera y desechos de madera que se queman directamente para obtener energía. Esta categoría también incluye la madera para producción de carbón vegetal, pero no la producción real de carbón vegetal (se trataría de un cómputo doble puesto que el carbón vegetal es un producto secundario).
	Lejía de sulfito (licor negro)	Licor agotado alcalino procedente de los autoclaves de la producción de sulfato o pulpa a la sosa durante la fabricación del papel, en el cual el contenido de energía proviene de la lignina eliminada de la pulpa de la madera. Este combustible en su forma concentrada suele ser 65-70 por ciento sólido.
	Otra biomasa sólida primaria	Incluye la materia vegetal utilizada directamente como combustible aún no incluida en la madera/los desechos de madera ni en la lejía de sulfito. Se incluyen los desechos vegetales, materia/desechos animales, y otra biomasa sólida. Esta categoría incluye las entradas no madera a la producción del carbón vegetal (p. ej., la corteza del coco) pero deben excluirse todas las demás sustancias para alimentación a procesos para la producción de biocombustibles.
	Carbón vegetal	El carbón vegetal que se quema como energía cubre el residuo sólido de la destilación destructiva y la pirólisis de la madera y de otras materias vegetales.
Biocombustibles líquidos	Biogasolina	Debe contener solamente la parte del combustible que se relaciona con las cantidades de biocombustible y no con el volumen total de líquidos en el cual se mezclan los biocombustibles. Esta categoría incluye el bioetanol (etanol producido a partir de la biomasa y/o de la fracción biodegradable de los desechos), biometanol (metanol producido a partir de la biomasa y/o de la fracción biodegradable de los desechos), bioETBE (etil-ter-butil-éter producido a partir del bioetanol: la fracción volumétrica de bioETBE que se computa como biocombustible es del 47 por ciento) y el bioMTBE (metil-ter-butil-éter producido a partir del biometanol: la fracción volumétrica de bioMTBE que se computa como biocombustible es del 36 por ciento).

Fuente: Garg, Kazunari y Pulles (2006, págs. 13-17).

² Si bien estrictamente hablando la turba no es un combustible fósil, en los estudios del ciclo de vida se ha demostrado que sus características de emisión de gases de efecto invernadero son equiparables a las de los combustibles fósiles (Nilsson and Nilsson, 2004; Uppenberg *et al.*, 2001; Savolainen *et al.*, 1994). Por lo tanto, las emisiones de CO₂ de la quema de turba se incluyen en las emisiones nacionales como correspondientes a los combustibles fósiles.

Cuadro 7.g. Definiciones de los tipos de combustibles utilizadas en las Directrices del IPCC de 2006

<i>Descripción en español</i>		<i>Comentarios</i>
BIOMASA		
Biocombustibles líquidos	Biodiésel	Debe contener solamente la parte del combustible que se relaciona con las cantidades de biocombustible y no con el volumen total de líquidos en el cual se mezclan los biocombustibles. Esta categoría incluye el biodiésel (metil-éster producido a partir de aceite vegetal o animal, de calidad diésel), el biodimetiléter (dimetiléter producido a partir de la biomasa), fischer tropsh (fischer tropsh producido a partir de la biomasa), bioaceite prensado en frío (aceite producido a partir del aceite de semilla solamente por procesamiento mecánico) y todos los demás biocombustibles líquidos que se añaden, mezclan o utilizan directamente como diésel para el transporte.
	Otros biocombustibles líquidos	Otros biocombustibles líquidos no incluidos en la biogasolina ni en los biodiésel.
Biomasa gaseosa	Gas de vertedero	Se obtiene a partir de la fermentación anaeróbica de la biomasa y los desechos sólidos de los vertederos, y se quema para producir calor y/o energía.
	Gas de digestión de lodos cloacales	Se obtiene a partir de la fermentación anaeróbica de la biomasa y los desechos sólidos del lodo y del fango animal, y se quema para producir calor y/o energía.
	Otro biogás	Otro biogás no incluido en el gas de vertedero ni en el gas de digestión de lodos cloacales.
Otros combustibles no fósiles	Desechos municipales (fracción perteneciente a la biomasa)	Incluye los desechos que producen los hogares, la industria, los hospitales y el sector terciario, que se incineran en instalaciones específicas y se utilizan a los fines energéticos. Solamente debe incluirse aquí la fracción biodegradable del combustible.

Fuente: Garg, Kazunari y Pulles (2006, págs. 13-17).

Por otro lado, en la segunda categoría se realizó la filtración de datos de acuerdo a los procesos de productos como sustancias que agotan la capa de ozono, la industria de papel y el análisis del uso de equipos electrónicos.

Imagen 6. Contenedor químico con advertencia de sustancias peligrosas



Fuente: Acervo fotográfico del Laboratorio de Análisis Territorial, Ambiente y Ciencia de Datos, 2023.

Para la categoría tres de acuerdo al Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2023), se analizaron las estadísticas de producción agrícola y ganadera al año 2021, donde se contabilizó el número total correspondiente a cada grupo animal, como el caso del ganado bovino, caprino, ovinos. Para el análisis de dichas especies se realizó en conteo de cada grupo y se multiplicó por las cantidades de excretas producidas al día, dando como resultado la estimación de la producción de estiércol promedio municipal.

Imagen 7. Sector ganadero en el municipio de Mineral de la Reforma, Hidalgo



Fuente: Acervo fotográfico del Laboratorio de Análisis Territorial, Ambiente y Ciencia de Datos, 2023.

Finalmente, el análisis de uso y actividades en el territorio municipal fue mediante el uso de mediciones de hectáreas, de acuerdo al uso de suelo. La recuperación del uso de suelo se realizó a través del conjunto de datos vectoriales de Uso de Suelo y Vegetación del INEGI (2018). Los datos recopilados se transformaron a un conjunto de datos Excel para realizar las clasificaciones el uso de suelo, dichas clasificaciones dependieron de la actividad o descripción de sus características.

Además, el apartado se completó con base en las estimaciones realizadas por el subsector “Uso de Suelo y Cambio de Uso de Suelo y Silvicultura” (USCUSS) para la estimación de gases y efecto invernadero (SEMARNAT & INEEC, 2017).

INVENTARIO MUNICIPAL DE EMISIONES DE COMPUESTOS Y COMPUESTOS DE EFECTO INVERNADERO (IMECyGEI)

Mineral de la Reforma, Hgo.

Como se mencionaba en el apartado anterior, el inventario es una herramienta que nos permite identificar las principales fuentes de emisión de los compuestos y gases del efecto invernadero (GEI), en el caso del municipio de Mineral de la Reforma, con el objetivo de generar un análisis de las políticas públicas que se propondrán para mitigar y adaptar la contaminación atmosférica y el cambio climático. El inventario comprende el estudio de las fuentes generadoras de dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), hidrofluorocarbonos (HFC); siendo estos los principales contaminantes esparcidos en el aire.

Dentro del inventario se establece que, los compuestos anteriores deben ser convertidos de unidades de microgramos (μ), miligramos (mg) y partes por millón (ppm), a kilogramos (kg) y por último a toneladas (t). Estas mediciones nos permiten identificar cuáles serán las emisiones generadas por las distintas actividades económicas y establecer los estándares de calidad en el municipio.

Tabla 6. Matriz de Correlación conversiones de Unidades

Unidades de medición y equivalencia.					
Unidades	Microgramos (μ)	Miligramos (mg)	Partes por millón (ppm)	Kilogramos (kg)	Toneladas (t)
Equivalencia	1	1	1	1	1
Microgramos (μ)		1000	1	1e+9	1e+12
Miligramos (mg)	0.001		1	1e+6	1e+9
Partes por millón (ppm)	10 ⁻⁶	1		1,000	10,000
Kilogramos (kg)	1e-9	1e-6	0.001		1,000
Toneladas (t)	1e-12	1e-9	1,000	0.001	

Fuente: Elaboración propia.

La matriz de correlación que se muestra en la Tabla 6, comprende las conversiones correspondientes de cada una de las unidades de medición; así mismo, para obtener los resultados finales del inventario se realiza la conversión de cada compuesto para determinar las emisiones de GEI por su valor de potencial de calentamiento global (siendo una medida de los efectos relativos de calentamiento global que ejercen los distintos gases dentro del ambiente.) y estas se obtienen multiplicando la cantidad de emisiones de un gas de efecto invernadero por su valor de potencial de calentamiento global (PCG). El registro de este calentamiento se establece de acuerdo al informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático IPCC (por sus siglas en inglés), con actualización de 2019.

Tabla 7.-Potencial de Calentamiento de Compuestos y Gases del Efecto Invernadero

CyGEI	PCG
Dióxido de Carbono (CO ₂)	1
Metano (CH ₄)	28
Óxido Nitroso (N ₂ O)	265

Fuente: Elaboración propia con base del IPCC, 2003.

Una de las metodologías aplicadas para la elaboración del inventario, fue la metodología del Sniffer 4v-2D. Para hacer uso de la metodología se crearon líneas específicas para la delimitación de los distintos puntos territoriales para analizar:

1. Delimitación municipal: Comprende generar un polígono dentro del Sistema de Información Geográfica (SIG) y se determina el polígono con los límites territoriales establecidos a nivel Federal, Estatal, Municipal y Local, de acuerdo al Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2020).
2. Elección de Unidad de Análisis Territorial (UTA): De acuerdo al INECC (2022), se deben definir cuáles serán las UTA's mediante un monitoreo de las principales fuentes generadoras de emisiones de los Compuestos y Gases Invernadero (CyGEI), de tal manera que, se realizó el análisis de las unidades económicas de acuerdo al Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE) 2022 y se clasificaron dichas unidades. Una vez determinadas, se realiza la selección de una clasificación y se plantea su primera evaluación mediante el análisis de características socioambientales del sistema, para posteriormente realizar las mediciones.

3. Realizar el Monitoreo (muestreo): Se establece un cronograma de trabajo específico para cada UTA, a su vez, se determinan diversas rubricas generales y específicas para la generación de los reportes por distintas temporalidades (1 minuto, 30 minutos, 1 hora, 8 horas y 24 horas.); así mismo, el equipo de trabajo realiza una distribución de actividades, en las cuales se considera:
 - 3.1. El manejo del equipo Sniffer y equipo de cómputo.
 - 3.2. Muestreo con el medidor de partículas manual.
 - 3.3. Realizar la bitácora de emisiones.
 - 3.4. Generación de formatos específicos.
 - 3.5. Generación de control del monitoreo.

Con la delimitación de la UTA, se busca generar medidas estándar para cuantificar de esta manera las demás UTA's.

4. Analizar los primeros resultados: Una vez generado el reporte de emisiones que se realiza con el equipo Sniffer, se realiza el vaciado de datos en un documento Excel, para posteriormente realizar distintos procesamientos de la información, como a continuación se muestra el ejemplo:
 - 4.1. Emisión por semana

$$E_{PS} = [Emisión\ total\ de\ UTA\ por\ día * 7]$$

(referir al "7" hace alusión a los días de la semana)

- 4.2. Emisión por mes

$$E_{PM} = [emisiones\ totales\ por\ semana * 4]$$

(referir al "4" hace alusión a un promedio de semanas en un mes)

- 4.3. Emisión por año

$$E_{PA} = [emisiones\ totales\ por\ mes * 12]$$

(referir al "12" hace alusión a un total de meses al año)

Al contar con las emisiones totales se requiere el cálculo y conversión específico a toneladas por lo que el ultimo valor es cuantificado de la siguiente manera:

$$E_{TT} = \left[\frac{emisiones\ totales\ por\ año}{1000} \right]$$

(donde 1,000 hace alusión a la unidad de medida en Toneladas)

Contando con la unidad en toneladas, se requiere la respectiva equivalencia de los Potenciales de Calentamiento Global directo (PCG) donde el CO₂ cuenta con PCG de 1, el CH₄ de 28 y el O₃+NO₂ de 265 por lo que debe establecerse de la siguiente manera.

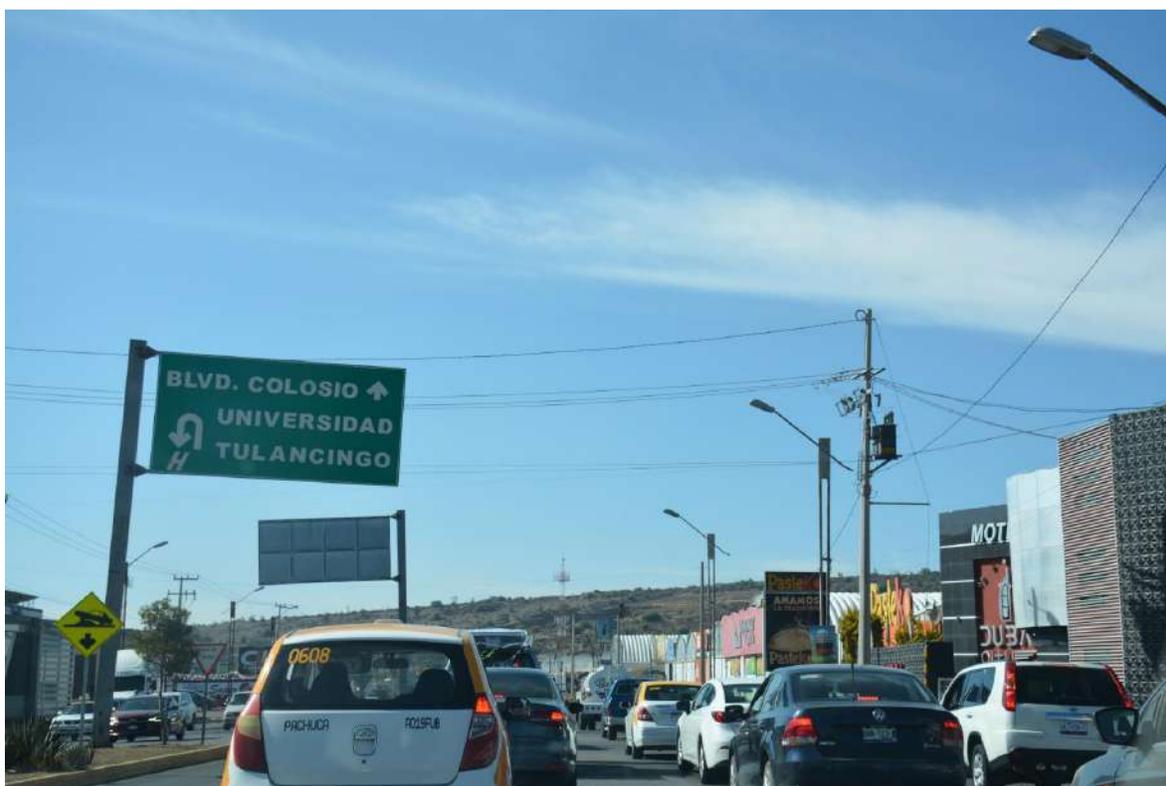
Tabla 8. Equivalencias para el cálculo de toneladas totales por UTA

	VOCs	SO2	CO	O3+NO2	PM1.0	PM2.5	PM10	CxHy	CO2
Emisión total de X por día									
emisiones por semana									
emisiones por mes									
emisiones por año									
Toneladas									
toneladas Totales por UTA	=↑	=↑	=↑	=↑*265	=↑	=↑	=↑	=↑*28	=↑*1

Fuente: Elaboración propia.

5. Evaluar resultados municipales: Una vez terminado el análisis municipal, se realiza el conteo inicial de todas las mediciones realizadas, por vialidades, UTA y puntos estratégicos agregados.

Imagen 8. Boulevard Las Palomas – El Portezuelo, Mineral de la Reforma, Hidalgo



Fuente: Acervo fotográfico del Laboratorio de Análisis Territorial, Ambiente y Ciencia de Datos, 2023.

Imagen 9. Mapeo final de contaminantes en plataforma Sniffer4D-Mapper Mineral de la Reforma



Fuente: Elaboración propia con base en los resultados de Sniffer 4v-2D.

Imagen 10. Mapeo de contaminantes en vialidades con la plataforma Sniffer4D-Mapper Mineral de la Reforma



Fuente: Elaboración propia con base en los resultados de Sniffer 4v-2D.

Se detectan los puntos con mayor concentración por cada tipo de CyGEI según el Sniffer, así mismo, se realiza un registro de todas las UTA's a fin de generar los estándares de evaluación de cada actividad económica, por otra parte, las emisiones se estandarizan de acuerdo a los parámetros de calidad del aire, como propósito de generar distintos buffers que analicen la población altamente expuesta a la generación de cada CyGEI.

6. Generación de Estrategias de mitigación y adaptación: Estarán encaminadas a dar solución a las problemáticas medioambientales, guiadas de la Estrategia Nacional de Cambio Climático, misma que establece tres ejes estratégicos:

- Reducir la vulnerabilidad y aumentar la resiliencia del sector social ante los efectos del cambio climático.
- Reducir la vulnerabilidad y aumentar la resiliencia de la infraestructura estratégica y sistemas productivos ante los efectos del cambio climático.
- Conservar y usar de forma sustentable los ecosistemas y mantener los servicios ambientales que proveen.

6.1. Así mismo, propone doce criterios para seleccionar las medidas de adaptación más adecuadas:

- Atención a poblaciones más vulnerables
- Transversalidad con políticas, programas o proyectos
- Fomento de la prevención
- Sustentabilidad en el aprovechamiento y uso de los recursos naturales
- Conservación de los ecosistemas y su biodiversidad
- Participación activa de la población objetivo y fortalecimiento de capacidades
- Fortalecimiento de capacidades para la adaptación
- Factibilidad
- Costo-efectividad o Costo-beneficio
- Coordinación entre actores y sectores
- Flexibilidad
- Monitoreo y evaluación del cumplimiento y efectividad de las acciones elegidas

- Para la elaboración del Inventario Municipal, se consideraron las cuatro principales categorías estipuladas por el IPCC a nivel internacional; no obstante, se agregaron algunas categorías y subcategorías dentro de los apartados generales. Con ello, se pretende cubrir el mayor número de unidades económicas y con ello, las emisiones de GEI para el municipio.

CÁLCULOS ESPECÍFICOS DE LA CATEGORIZACIÓN DEL IMECyGEI

Para la estandarización de la producción de GEI de las diferentes unidades en Mineral de la Reforma.

Apartado 1. Energía:

1.A. Actividades de quema de combustible

El siguiente apartado se realizó a través de la siguiente fórmula:

*Sub= Subapartado/Subcategorización

$$1.A = \sum Sub 1.A1 + 1.A2 + 1.A3 + 1.A4$$

1.A1. Industrias de la energía

El siguiente subapartado se realizó a través de la siguiente fórmula:

$$1.A1 = \sum Sub 1.A1a + 1.A1b + 1.A1c$$

1.A1a. Actividad principal producción de la electricidad y calor (1 unidad)

Estandarización de datos con Maquinaria Generac (Industrial Power), modelo SD600, motor 18.3DTA Perkins @ 1800 RPM, de 600 kW.

Una planta generadora que usa 334 galones de diésel (tamaño del tanque) y que dura 8 horas de energía, genera 3,363.38 Kg de CO₂ por el total de horas.

*La planta genera un total de 600 kW/h de forma continua (x'hora).

En la ciudad de Mineral de la Reforma se estandariza 1 maquina parecida.

Por lo tanto, por la unidad existente, se generaría un total de 3.363 toneladas de CO₂ en un día. Es así que, anualmente se estaría generando (por 52 semanas, en el estimado de que solo se usan cuando no hay luz) 174.90 toneladas de CO₂.

Nota: Es un generador estacionario con motor diésel, basada en un cálculo de consumo del tanque de 334 litros, funcionando 8 horas.

Factores de emisión e incertidumbre para diésel:

Cada litro de combustible diésel quemado es igual 2.65 kg de CO₂, en total, de los 3.8 litros que tiene un galón, es equivalente a 10.07 kg CO₂.

1 galón = 3.8 litros de diésel

Fuente:

Cime. (2011). *Generac – Motor a Diesel.* Cime.
<http://www.cimepowersystems.com.mx/plantas-de-luz/linea/industriales/motor-a-diesel-industriales/>

INECC. (2014). *Factores de emisión para los diferentes tipos de combustibles fósiles y alternativos que se consumen en México. Informe técnico*. INECC. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/110131/CGCCDBC_2014_FE_tipos_combustibles_fosiles.pdf

1.A1b. Refinación de petróleo

1.A1c. Manufactura de combustibles solidos y otras industrias de la energía

Resumen de los resultados: Apartado 1.A1

En el caso del apartado 1.A1, las unidades enfocadas a las industrias de la energía emiten el total de las toneladas de CO₂ anuales. Las actividades que se encuentran dentro de esta categorización incluyen aquellas enfocadas a la generación de electricidad a partir de combustibles fósiles; por ello, se consideró la estandarización a través del uso de plantas eléctricas con combustible de gasolina.

1.A2. Industrias manufactura y de la construcción

El siguiente subapartado se realizó a través de la siguiente fórmula:

$$1.A2 = \sum Sub 1.A2a + 1.A2b + 1.A2c + 1.A2d + 1.A2e + 1.A2e1 + 1.A2e2 + 1.A2e3 + 1.A2e4 + 1.A2e5 + 1.A2e6 + 1.A2f + 1.A2g + 1.A2h + 1.A2i + 1.A2j + 1.A2k + 1.A2l + 1.A2m$$

1.A2a. Hierro y acero

1.A2b. Metales no ferrosos

1.A2c. Sustancias químicas

1.A2d. Pulpa, papel e imprenta (22 unidades)

Por un kilogramo de papel producido se emiten 3.3 kg de CO₂ equivalente, considerando que el promedio de producción de una unidad económica pequeña (de 1 a 10 trabajadores) genera diariamente 48 kg de papel, si se multiplica por el CO₂ equivalente, se tiene una emisión total de 158.4 kg CO₂ al día por una unidad.

La ciudad de Mineral de la Reforma tiene 22 unidades económicas que emitirían al día 3,484.8 kg de CO₂ al día. Y anualmente estarían generando 1,271.95 toneladas de CO₂.

Nota: Ante la fabricación de 1 kg de papel reciclado contando desde la recogida de residuos, hasta la distribución de producto en establecimientos, se emiten aproximadamente de 1,8 kg de CO₂ equivalente.

Fuente:

Segui, P. (s.f.) *Impacto medioambiente del papel; consumo y problemas de fabricación.* <https://ovacen.com/impacto-medioambiental-papel/>

1.A2e Procesamiento de alimentos, bebidas y tabaco (65 unidades)

Nota: El siguiente subapartado se desglosó a través de una nueva subcategorización, ya que las unidades económicas tienen diferentes fuentes emisoras por el tipo de procesamiento de los alimentos producidos por cada subcategoría. De esta manera se analizaron las emisiones por el equipo usado: generación eléctrica, uso de combustible de gas de licuado de petróleo (LP) y quema de carbón.

*Los valores de la subcategorización se pasaron a la ecuación directa del subapartado

Para el total de 117 negocios o unidades económicas, las cuales se desglosan de la siguiente manera (más representativos):

- Bebidas, purificación y embotellado de agua: 46 unidades
- Botanas: 9 unidades
- Helados, paletas y hielo: 45 unidades (0 a 5 personas)

Se realizó una estandarización de unidades económicas con helados y paletas:

Se consideró que se tienen 4 refrigeradores por unidad económica (que trabajan 24 hrs. x 7 días a la semana), se calculan que gastan: 5.85 kW/h al día; si se tiene que hay una producción de 0.458 kg de CO₂ por 1 kW/h, entonces un refrigerador produce 2.6793 kg CO₂ al día. Esto se multiplica por los 4 refrigeradores por unidad económica, lo que sería igual a 10.7172 kg de CO₂ por unidad económica.

1.A2e1. Tortillerías (224 unidades)

Aproximadamente una tortillería produce 250 kg. de masa en un día, esto le hace consumir 40 litros de gas LP. Entonces se considera que 1 kilo de masa consume 160 miligramos de gas LP; o bien, 6.25 kg de masa es igual a 1 litro de gas LP.

Por otro lado, 1 litro de gas LP produce 1,665 gramos de CO₂, de esta manera se tiene una emisión de 66,600 gramos de CO₂ por los 40 litros de gas LP, esto daría un total de 66.6 kg CO₂ al día por cada unidad.

Anualmente se está generando 5,445.22 toneladas anuales por todas las unidades.

*1 litro de gas LP genera 454 gramos de CO₂, pero se necesitan 1,211 gramos de oxígeno, aunado a ello, entonces un litro de gas LP produce 1,665 gramos de CO₂.

Nota: \$13,092.00 pesos sería el costo mensual de gas LP para la producción mensual de tortillas. Para más información consultar el catálogo de *Evaluación de unidades territoriales de análisis*.

Fuente:

Reyes, L. (2021). *¿Cómo calcular el CO₂ a partir del consumo?: Diésel vs. Gasolina vs. GLP vs. GNC vs. electricidad*. Autonoción.com. <https://www.autonocion.com/calcular-el-co2-a-partir-del-consumo/#:~:text=El%20GLP%20contiene%20un%2082,por%20cada%20litro%20de%20GLP>

1.A2e2. Taquerías (158 unidades)

Cada unidad económica gasta como mínimo 20 kg de gas LP que equivalen a 37 litros de gas LP; considerando que el trabajo de una unidad es de 10 horas aproximadamente, se multiplica el total de litros gas LP por 1.665 kg de CO₂, lo que da como resultado la emisión de 61.605 kg de CO₂ al día por unidad económica.

1.A2e3. Pollerías – rosticerías (167 unidades)

Cada unidad económica tiene una producción de 60 pollos al día, por 2 horas de cocción se gastan 5 kg de gas LP, si se consideran 5 horas de trabajo da en un gasto total de 12.5 kg de gas LP al día.

Si se hace la conversión de equivalencia de los kilogramos de gas LP a CO₂ equivalente se tiene una emisión total de 67.8625 kg de CO₂ al día por unidad económica.

Esto quiere decir que por todas las unidades económicas se tiene una emisión total de 11.33 toneladas de CO₂ al día.

*1 kg de gas LP = 5.429 kg de CO₂

1.A2e4. Antojitos que utilizan carbón -GLP (140 unidades)

Cada unidad económica consume aproximadamente 5 kg de carbón vegetal, lo que sería igual a 18.35 kg de CO₂; considerando que también hay un consumo de gas LP, se le suma la emisión total de kg CO₂ equivalente de la unidad económica 1.A2e2 al día, es decir 61.605 kg de CO₂, lo que da una emisión total de 79.955 kg de CO₂ por unidad económica al día.

Esto quiere decir que, por todas las unidades económicas, hay una emisión de 11.19 toneladas de CO₂ al día.

*1 kg de carbón vegetal = 3.67 kg CO₂

1.A2e5. Cocinas económicas (restaurantes) (719 unidades)

Cada unidad económica trabaja aproximadamente de 8 am a 5 pm, con un mobiliario de 4 quemadores que en una hora gastan 2.11 kg de gas LP, se estima que cada quemador en promedio trabaja 4 horas, por lo que se multiplica el total de horas que están encendidos por los kilogramos de gas que se gasta en una hora, lo que da un total de 8.44 kg de gas LP consumidos por unidad económica.

Cuando se multiplican los litros totales consumidos por cada unidad por el CO₂ equivalente se obtiene una emisión total de 45.82076 kg de CO₂ al día.

$$*1 \text{ kg de gas LP} = 5.429 \text{ kg de CO}_2$$

1.A2e6. Panaderías (103 unidades)

Cada unidad económica trabaja aproximadamente desde las 4 am; del total de horas de trabajo, 9 horas se encuentra en funcionamiento un horno, este mobiliario en 5 horas de uso trabaja con 12 charolas y 3 gavetas.

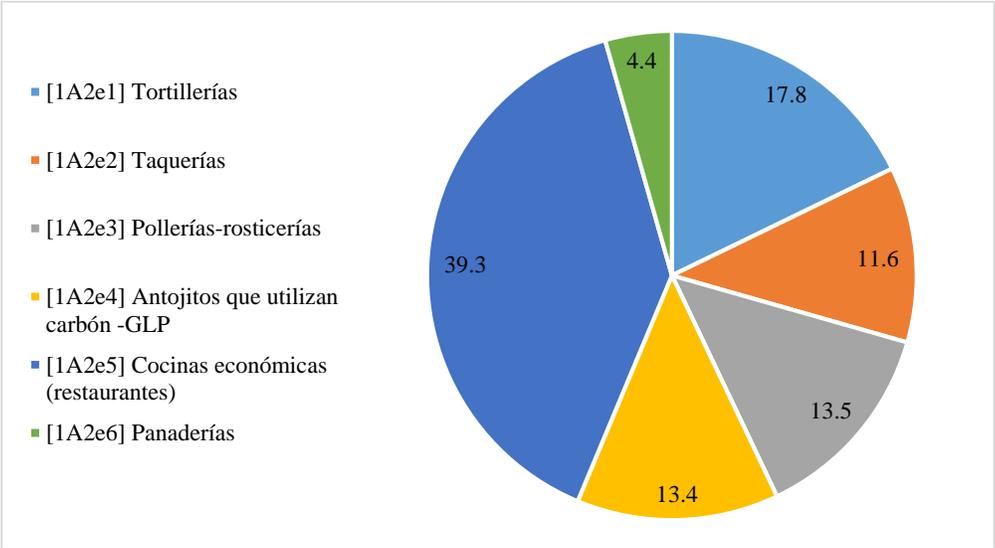
Un horno de estas características consume 12 mt³ de gas LP, si se multiplica por la equivalencia de kg de CO₂, se obtiene una emisión total de 35.796 kg de CO₂ al día por unidad económica.

Es decir, por todas las unidades se tiene una emisión total de 3,686.988 kg de CO₂ al día.

$$*1 \text{ mt}^3 \text{ gas LP} = 2.983 \text{ kg de CO}_2$$

Resumen de los resultados: Apartado 1.A2e

Gráfico 1. Distribución porcentual de las emisiones anuales de CO₂ (toneladas) por el procesamiento de alimentos, bebidas y tabaco, Mineral de la Reforma 2023



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del IMECyGEI, Mineral de la Reforma, 2023.

Con base en los resultados del Gráfico 1, se puede concluir que aquellas actividades que emiten las mayores cantidades de CO₂ son las cocinas económicas y/o restaurantes con el 39.3 por ciento del total de las emisiones, seguida de las unidades de tortillerías (17.8 por ciento) y pollerías y rosticerías (13.5 por ciento). A pesar de que todas estas unidades económicas se caracterizan por la preparación de alimentos, las primeras y principales emisoras son aquellas a las que más se concurren, ya sea como complemento de la actividad biológica básica o bien para la realización de la misma.

1.A2f. Minerales no metálicos

1.A2g. Equipo de transporte (8 unidades)

Se considera que un transporte de carga levanta 5 autos al día y consume 30 litros de gasolina (lo que le permite recorrer 100 kilómetros en la estandarización de los kilómetros que cubre un seguro). Al multiplicar los litros de gasolina por corrida, por el CO₂ equivalente, se tiene emisión de 70.5 Kg CO₂ por auto levantado; es decir, por las 5 corridas se tiene una emisión total 352.5 kg de CO₂ por cada transporte.

Se estima que cada unidad económica tiene aproximadamente 3 transportes de carga, por lo que cada unidad da una emisión total de 1,057.5 kg CO₂ al día.

Entonces por todas las unidades económicas, se tiene una emisión total de 8,460 kg de CO₂ al día.

*1 Lt de gasolina = 2.35 kg de CO₂

1.A2h. Maquinaria (38 unidades)

De acuerdo al análisis de datos (recopilados a través del trabajo de campo en diferentes unidades económicas), una unidad consume 10,000 kW/h al mes; por lo que al día se estima un consumo estándar de 333.33 kW/h, si se multiplica por el equivalente de CO₂, se obtiene que una unidad emite 300 kg de CO₂ al día.

Si se contemplan todas las unidades económicas, hay una emisión total de 11,400 kg de CO₂ al día.

*1 kW/h de maquinaria/electrónico con consumo alto = 0.9 kg de CO₂

1.A2i. Minería (con excepción de combustibles) y cantería (1 unidad)

1 quebradora produce 30 toneladas de arena/graba por hora, si trabajan 4 horas al día sería un total de 120 toneladas de arena/graba al día.

Cada unidad para la producción tiene un motor de entre 30 a 75 kW; dejando el consumo 75 kW, entonces su consumo diario sería de 300 kW (por las 4 horas de trabajo). Pensando que 1 kW produce 0.9 kg de CO₂ y si se multiplica por el total de kW que se gastan al día, daría un total de 270 kg de CO₂ por máquina y por unidad económica.

*1 kW/h = 0.9 kg de CO₂

1.A2j. Madera y productos de la madera (138 unidades)

Al año se procesan 17,000 toneladas de manera; al día, como valor mínimo se procesan 46.57 kg de madera; cada kilogramo de esta transformación genera un 1.7 kg de CO₂, si se multiplica el total de kilogramos producidos en un día por la generación de CO₂, se tiene un total de 79.169 kg de CO₂ producidos al día por cada unidad.

Entonces se tiene que hay una emisión de 19.92 toneladas de CO₂ al día por todas las unidades económicas.

*1 kg de madera = 1.7 kg de CO₂

1.A2k. Construcción (62 unidades)

Estandarización de unidades con bloqueras:

La producción de 1 kg de block (sin contemplar la producción de arena, cal o cemento) es igual a 0.82744 kg de CO₂ equivalente. Si un block estándar pesa en promedio 6.25 kg (40x10x20), el total de CO₂ equivalente por block sería de 0.821744 (Madrid, et.al, pág. 8).

1 bloquera fabrica 600 piezas en promedio en una jornada de 8 horas, si cada unidad económica tiene un promedio de 4 maquinarias, se tiene una producción promedio de 2,400 blocks por unidad, lo que sería igual a una emisión de 1,972.19 kg de CO₂ al día.

Fuente:

Madrid, M., García, Y., Cuadrado, J. & Blanco, M. J. (2022). Análisis de ciclo de vida en bloques de hormigón: comparación del impacto producido entre bloques tradicionales y con subproductos. En *Informes de la Construcción*, 74(566). <https://doi.org/10.3989/ic.88125>

1.A2l. Textiles y cueros (304 unidades)

Estandarización con producción de jeans:

De acuerdo con la estandarización de la ciudad de Pachuca de Soto, se obtuvo una producción promedio de 75 jeans al día por unidad económica. Si para la producción de un jean se tiene una emisión de 11.9 kg de CO₂, multiplicando por su producción total, se tiene una emisión final de 142.5 kg de CO₂ por una unidad económica al día.

Es decir, hay una emisión de 43.32 toneladas de CO₂ al día por todas las unidades económicas.

*Producción de 1 jean = 11.9 kg de CO₂

Fuente:

Gómez, C. M., Ivernón, A., Martínez, S., Moreno, K. A. & Solano, C. M. (2021). *Metodología para la transición de un proceso de confección de prendas de vestir tradicional a uno sostenible, mediante la adopción de textiles de fibras supra-recicladas. Caso: empresa*

de confección de jeans, Bogotá. [Trabajo final de grado]. Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia. <https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/59241>

1.A2m. Industria no especificada (102 unidades)

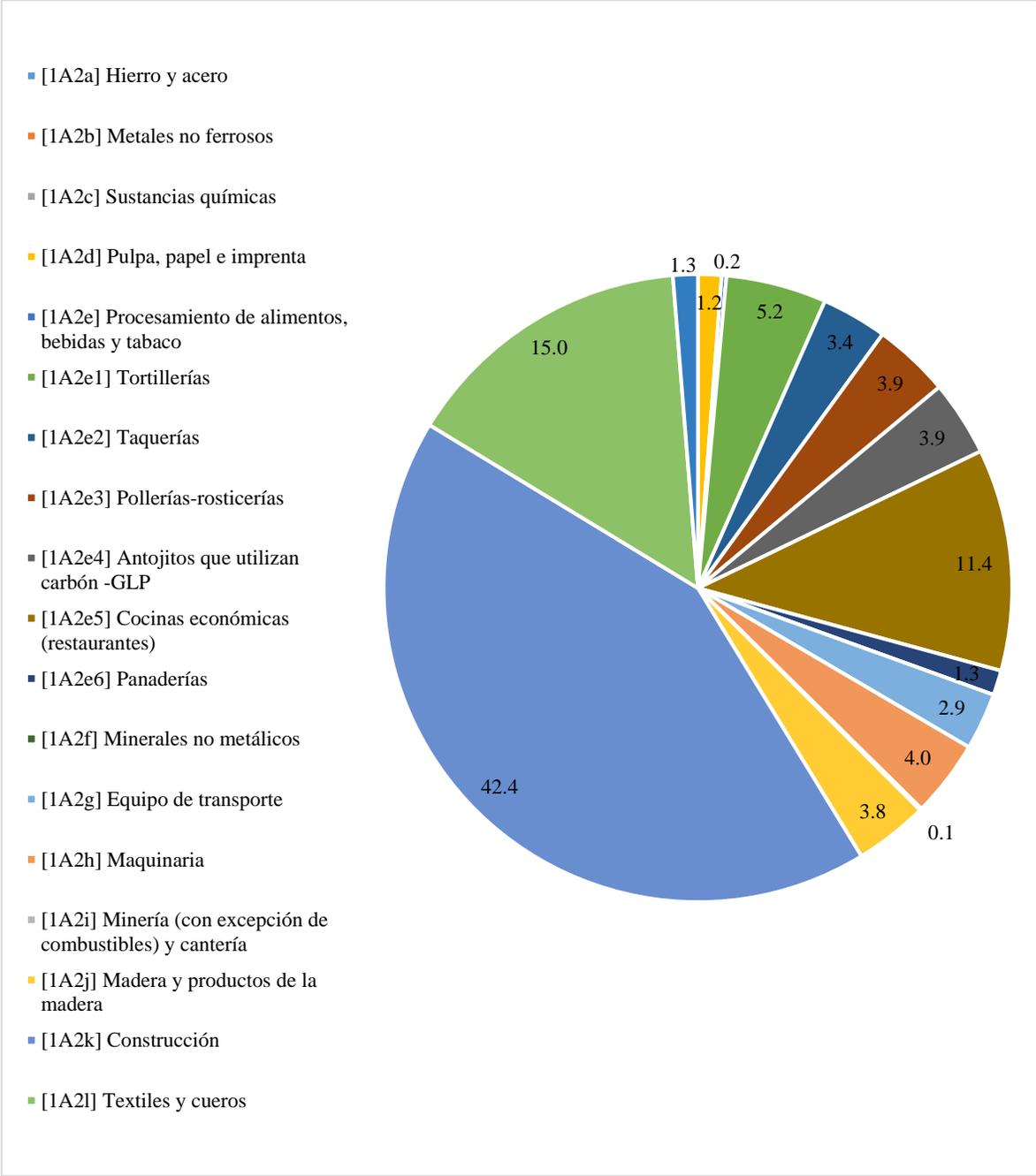
Estandarización con una industria de fabricación de productos variados:

Se tiene un gasto total de 40 kW/ mínimo por fabrica, por lo que la emisión por unidad económica sería de 36 kg de CO₂ al día. Es decir que la emisión de todas las unidades económicas sería de 3,672 kg de CO₂.

*1kW = 0.9 kg de CO₂

Resumen de los resultados: Apartado 1.A2

Gráfico 2. Distribución porcentual de las emisiones anuales de CO₂ (toneladas) por la industria manufacturera y de la construcción (incluyendo subapartados), Mineral de la Reforma 2023



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del IMECyGEI, Mineral de la Reforma, 2023.

Con base en los resultados del Gráfico 2, retomando todas las actividades de los apartados y subapartados de las industrias de manufactura y de la construcción, se obtuvo que la categoría de construcción es la de mayor fuente de emisiones de CO₂ (con el 42.4 por ciento del total general), seguida de la subcategoría de textiles y cueros (con el 15 por ciento). Ambas actividades se relacionan con procesos de elaboración de productos indispensables

como la vivienda y el vestido. Las actividades de construcción, categoría dentro de la cual se retoma también la fabricación de ladrillos, la preparación de terrenos, los trabajos de cimentaciones, entre algunos; es una de las actividades primordiales para garantizar un espacio habitacional y de seguridad.

1.A3. Transporte

El siguiente subapartado se realizó a través de la siguiente fórmula:

$$1.A3 = \sum Sub 1.A3a + 1.A3b + 1.A3c + 1.A3d + 1.A3e + 1.A3f + 1.A3g + 1.A3h + 1.A3h1 + 1.A3h2 + 1.A3i$$

1.A3a. Aviación civil

1.A3b. Autotransporte (5 unidades)

Se estima que cada transporte consume 30 litros de gasolina (lo que le permite recorrer 100 kilómetros), al multiplicar los litros de gasolina por corrida, por el CO₂ equivalente, se tiene emisión de 70.5 kg de CO₂, considerando 3 corridas (estándar) da una emisión por transporte de 211.5 kg de CO₂. Si se considera que cada unidad económica tiene como mínimo 2 transportes, la emisión total por una sería de 423 kg de CO₂ al día por unidad.

Es decir, por el total de unidades económicas se están emitiendo 2,115 kg CO₂ al día.

*1 Lt de gasolina = 2.35 kg de CO₂

1.A3c. Ferrocarriles

1.A3d. Navegación marítima y fluvial

1.A3e. Otro transporte (15 unidades)

Cada transporte da una emisión de 2.68 kg de CO₂ por litro de diésel, si cada autobús consume en promedio 10 Lt de diésel, recorriendo 50 km en un fin de semana, da un total de 26.80 kg de CO₂ por cada autobús. Si en promedio hay 5 autobuses por unidad económica, entonces hay una producción de 134 kg de CO₂ por cada una de ellas al día.

El total de emisiones al día por todas las unidades económicas serían 2.01 toneladas de CO₂.

*20 L de diésel por 100 km

*2.68 kg de CO₂ por litro de diésel

1.A3f. Aforo Vehicular por crucero (20 unidades)

Se realiza una estandarización de las emisiones totales de vehículo por día (kg de CO₂) que aplica en todos los municipios.

El primer paso fue la delimitación de las Unidades Territoriales de Análisis (UTA): cruceros y glorietas con alta afluencia vehicular (véase Tabla 8 del documento “Registro Municipal de Fuentes Móviles, Sistemas de Transporte y Vialidades”), para así calcular las emisiones que se concentran en dichos puntos (unidades).

Para la cuantificación de las emisiones, de acuerdo con la metodología *Sniffer 4v-2D*, se realizó el promedio de misiones por cada 30 minutos de diferentes días y horas, para llegar a valores estándar. Una vez teniendo el promedio general, se multiplicó por 16 horas, considerando una estandarización con las mayores concentraciones GEI de las unidades fijas del INECC en la ciudad de Pachuca de Soto (Jardín del Maestro y Museo del Rehilete).

De los valores obtenidos en la medición, se dividen sobre 1,000,000 (mg equivalentes), lo que da como resultado las emisiones totales de los vehículos por día en la unidad específica. Para el cálculo de las emisiones por semana, mes o año, se hace la multiplicación de los días en cuestión (7 días, promedio de 30 días o 365 días). Para la conversión a toneladas, solo se hace la división entre 1000.

Al final se multiplica por el Potencial de Calentamiento Global (PCG), por uno (CO₂), con lo que se obtuvo una emisión de 1696.128 kg CO₂ por cada unidad al día. El resultado se multiplica por el total de las UTA's ya definidas, teniendo como resultado las emisiones totales por todas las unidades.

Es decir, en el municipio de Mineral de la Reforma, hay un total de 42.403 toneladas de CO₂, por el total de unidades al día.

$$*1,000,000 \text{ mg/m}^3 \text{ CO}_2 = 1 \text{ kg CO}_2$$

$$*\text{PCG} = x 1$$

1.A3g. Transporte Privado (39,345 unidades)

Se realizó el conteo de los autos particulares registrados por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Posterior, se calculó la emisión de un vehículo de 4 cilindros (cuya capacidad de tanque es de 9.246 galones o 35 litros) con combustible de gasolina dando un total de 82.169 kg de CO₂. Una vez teniendo la emisión de una unidad (un vehículo), se realizó la emisión total de todas las unidades registradas (multiplicación de 82.169 por total de unidades) lo que dio un total de 3,232,935.31 kg de CO₂ por 15 días; teniendo en consideración la duración promedio de un tanque de gasolina, lo que da una emisión total al mes (por 2) de 6,465,878.61 kg de CO₂.

Para calcular las emisiones al día de todas las unidades se dividieron las emisiones por mes, entre 30 (días del mes), dando como resultado 215,529.287 kg de CO₂ al día por todas las unidades. Dividiendo entre el total de unidades registradas, se obtuvo una emisión de 5.478 kg de CO₂ al día por unidad.

Por el total de unidades registradas, se tiene una emisión de 556.38 toneladas de CO₂ al día.

*1 galón gasolina = 8.887 kg CO₂

*1 Lt de gasolina = 2.35 kg de CO₂

Nota:

Las emisiones de CO₂ se estandariza 5.478 kg; no obstante, las emisiones en este apartado metodológico se calculan de acuerdo al número de unidades.

Se calculó el promedio de kilómetros recorridos al año por un vehículo particular de acuerdo con SEMARNAT (15,000 kilómetros recorridos al año).

Para más especificaciones revisar el documento “Registro Municipal de Fuentes Móviles, Sistemas de Transporte y Vialidades”.

1.A3h. Transporte Público (10 unidades)

Para calcular las emisiones se contemplaron las unidades colectivas del municipio (combis) y 4 rutas de transporte (solo intermunicipales); posterior se obtuvo un promedio de 38.9 kilómetros recorridos por una unidad en una sola vuelta, considerando una generación de 2.35 kg de CO₂ por kilómetro, lo que da una emisión total de 91.415 kg de CO₂ por una ruta. En promedio una unidad colectiva cumple 10 recorridos al día, lo que es igual a 914.15 kg de CO₂ al día por cada unidad.

Considerando que se tienen registradas 10 unidades, se obtiene un total de 9,141.5 kg de CO₂ al día por el total de unidades. Anualmente se estaría emitiendo 3,336.65 toneladas de CO₂.

*2.35 kg de CO₂ por kilómetro recorrido

Nota:

La variación de las emisiones por día y por unidad dependerán de los vehículos registrados por en el municipio.

Para más especificaciones revisar el documento “Registro Municipal de Fuentes Móviles, Sistemas de Transporte y Vialidades”.

1.A3i. Vialidades por metros (Integrado por fórmula, pero no para cuantificación)

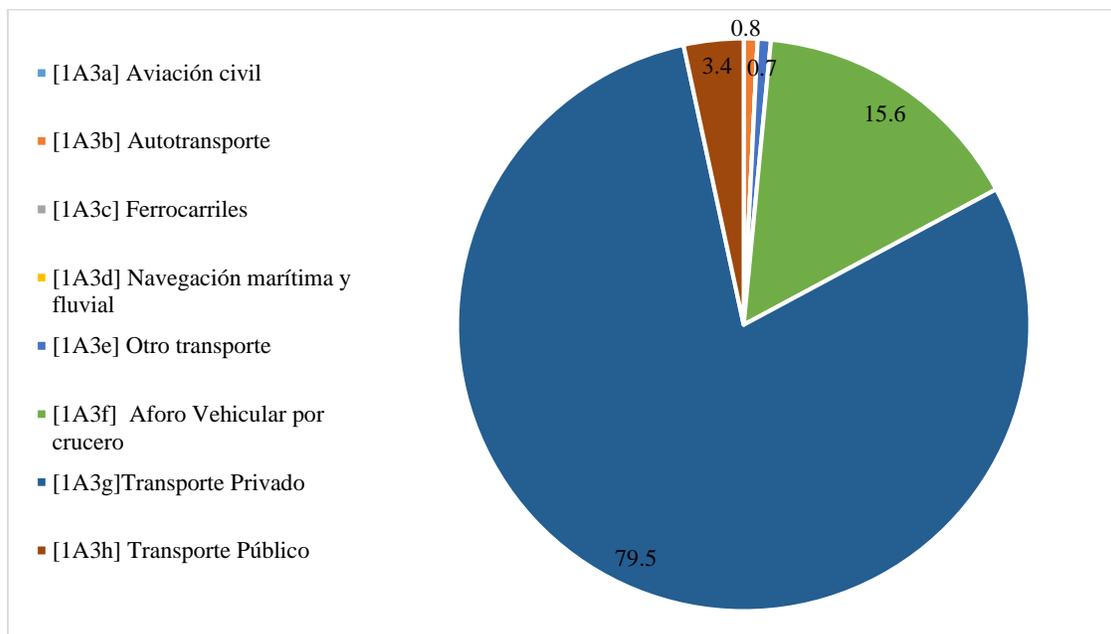
Nota:

Se integra a la fórmula, pero no se cuantifican en el análisis total del apartado de transporte, para evitar duplicación de datos.

Para más especificaciones revisar el documento “Registro Municipal de Fuentes Móviles, Sistemas de Transporte y Vialidades”.

Resumen de los resultados: Apartado 1.A3

Gráfico 3. Distribución porcentual de las emisiones anuales de CO₂ (toneladas) por el sector de transporte, Mineral de la Reforma 2023



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del IMECyGEI, Mineral de la Reforma, 2023.

De acuerdo con los datos del Gráfico 3, es el transporte privado el mayor sistema de emisiones de CO₂ en la ciudad de Mineral de la Reforma; pues del total, éste emite el 79.5 por ciento, seguido del aforo vehicular por crucero. Teniendo en cuenta que por el sistema de rendimiento del combustible hay emisiones altas al año, se vuelve prudente considerar que una de las medidas de mitigación vaya encaminada a la sustitución y reducción del uso de transporte privado por el uso del transporte público; incluyendo medidas para aumentar la capacidad de los últimos.

1.A4. Otros sectores

El siguiente subapartado se realizó a través de la siguiente fórmula:

$$1.A4 = \sum Sub 1.A4a + 1.A4b + 1.A4c + 1.A4d$$

1.A4a. Comercial-institucional (1,394 unidades)

Se tiene un consumo de 10,000 kW por unidad al mes, si se divide entre 30 días, sería igual a un consumo de 333.33 kW/h al día, si se multiplica por 0.458 kg CO₂ equivalente, se tendría una emisión de 152.65 kg de CO₂ al día por unidad.

Es decir, habría una emisión por todas las unidades económicas de 212.79 toneladas de CO₂ al día.

*1 kW/h = 0.458 kg CO₂

1.A4b. Residencial (49 unidades)

Se tiene un consumo de 4,000 kW por unidad al mes, si se divide entre los 30 días del mes, sería igual a 33.33 kW/h al día, si se multiplica por 0.458 kg de CO₂ equivalente, se tendría una emisión de 15.265 kg de CO₂ al día por unidad.

En resumen, hay una emisión de 747.98 kg de CO₂ al día por todas las unidades económicas.

$$*1 \text{ kW/h} = 0.458 \text{ kg CO}_2$$

1.A4c. Agropecuario/ silvicultura/ pesca/ piscifactorías (110 unidades)

Se tiene un consumo de 600 kW/h por unidad al mes, si se divide entre los 30 días del mes, sería igual a un consumo de 20 kW/h al día, si se multiplica por 0.458 kg de CO₂, se tendría una emisión de 9.16 kg de CO₂ al día por unidad.

Es decir, se tiene una emisión total por todas las unidades económicas de 1.0076 toneladas de CO₂.

$$*1 \text{ kW/h} = 0.458 \text{ kg CO}_2$$

1.A4d. Oxxo (43 unidades)

Se tiene un consumo de 40,000 kW/h por unidad al mes, si se divide entre los 30 días del mes, sería igual a un consumo de 1,333.33 kW/h al día, si se multiplica por 0.458 kg de CO₂, se tendría una emisión de 610.665 kg de CO₂ al día por unidad.

A partir de ello, se obtiene una emisión total de 26.258 toneladas CO₂ al día por todas las unidades económicas.

$$*1 \text{ kW/h} = 0.458 \text{ kg CO}_2$$

*Inf. = Infraestructura

Inf-1 Centros administrativos (219 unidades)

Se realizó una estandarización con el promedio de consumo de edificios administrativos:

Se tiene un consumo promedio de 150 kW/h (por metro cuadrado) por unidad anualmente, dividiendo entre los 365 días del mes, se tiene un promedio de 0.410958 kW/h por m² al día. Si aproximadamente son 1000 m² por unidad económica, sería igual 410.958 kW/h al día, multiplicando por el CO₂ equivalente (CO₂), da una emisión total de 188.219 kg de CO₂ al día por unidad económica.

Es decir, hay una emisión de 41.219 toneladas de CO₂ por todas las unidades económicas al día.

Nota:

Estos promedios pueden variar considerando el tamaño y actividades que se realicen en cada edificio.

*1 kW/h = 0.458 kg CO₂

Inf-2 Servicios de retiro (13 unidades)

Se realizó una estandarización con el promedio de consumo de asilos:

Se tiene un consumo promedio de 75 kW/h (por metro cuadrado) por unidad anualmente, dividiendo entre los 365 días del mes, se tiene un promedio de 0.20547 kW/h por m² al día. Si aproximadamente son 750 m² (solo construcción), sería igual 154.1025 kW/h al año. Multiplicando por el CO₂ equivalente (CO₂), da una emisión total de 70.579 kg de CO₂ al día por unidad económica.

Es decir, hay una emisión de 917.527 kg de CO₂ por todas las unidades económicas al día.

*1 kW/h = 0.458 kg CO₂

Inf-3 Servicios de información y divulgación (43 unidades)

Se realizó una estandarización con el promedio de consumo de agencias de publicidad:

Se tiene un consumo promedio de 15,000 kW/h por unidad anualmente, dividiendo entre los 365 días del año, se tiene un promedio de 41 kW/h al día, multiplicando por el CO₂ equivalente (CO₂), da una emisión total de 18.82 kg de CO₂ al día por unidad económica.

Es decir, hay una emisión de 809.26 kg de CO₂ por todas las unidades económicas al día.

Nota:

Estos promedios pueden variar considerando el tamaño, capacidad de empleados, equipos utilizados y actividades que se realicen en cada edificio.

*1 kW/h = 0.458 kg CO₂

Inf-4 Servicios financieros (183 unidades)

Se realizó una estandarización con el promedio de consumo de sucursales bancarias:

Se tiene un consumo promedio de 150,000 kW/h por unidad anualmente, dividiendo entre los 365 días del año, se tiene un promedio de 410.958 kW/h al día, multiplicando por el CO₂ equivalente (CO₂), da una emisión total de 188.219 kg de CO₂ al día por unidad económica.

Es decir, hay una emisión de 34.44 toneladas CO₂ por todas las unidades económicas al día.

Nota:

Estos promedios pueden variar considerando el tamaño, capacidad de empleados, equipos utilizados, actividades y la eficiencia de iluminación y climatización que se realicen en cada edificio.

Los principales consumidores de energía de la sucursal bancaria son: equipos electrónicos y de tecnología, sistemas de eliminación, sistemas de climatización.

*1 kW/h = 0.458 kg CO₂

Inf-5 Servicios educativos (203 unidades)

Se realizó una estandarización con el promedio de consumo de instituciones de nivel superior:

Se tiene un consumo promedio de 150 kW/h (por metro cuadrado) por unidad anualmente, entre 365 días, da un total 0.410958 kW/h por m² al día, multiplicando por el tamaño de la institución, aproximadamente 1,300 m² (solo construcción), sería igual 534.2454 kW/h al día, multiplicando por el CO₂ equivalente (CO₂), da una emisión total de 244.684 kg de CO₂ al día por unidad económica.

Es decir, hay una emisión de 49.67 toneladas de CO₂ por todas las unidades económicas al día.

Nota:

Estos promedios pueden variar considerando el tamaño, capacidad de empleados, equipos utilizados, actividades y la eficiencia de iluminación y climatización que se realicen en cada edificio.

*1 kW/h = 0.458 kg CO₂

Inf-6 Servicios de salud (743 unidades)

Se realizó la estandarización con un centro médico promedio.

Se tiene un consumo promedio de 218.5 kW/h (de acuerdo al clima de la zona geográfica) por metro cuadrado anualmente, es decir, se tiene un consumo de 0.598630 kW/h al día. Un edificio en promedio tiene 6,000 m², por lo que se tiene un consumo de 3,591.78 kW/h de consumo al día por unidad. Considerando el CO₂ equivalente, se tienen una emisión de 3,232.602 kg de CO₂ al día por cada unidad.

Es decir, hay una emisión de 2,402.82 toneladas de CO₂ por todas las unidades económicas al día.

*1 kW/h = 0.9 kg CO₂

Fuente:

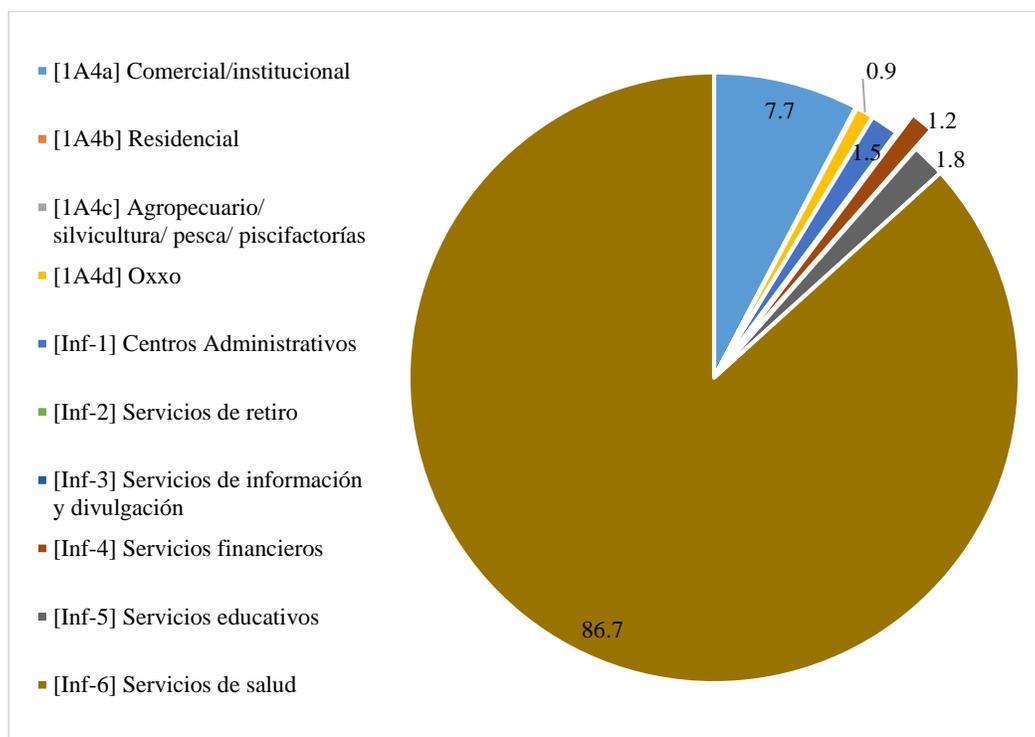
Secretaría de Energía & Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía. (2019). *Consumo de electricidad de edificios no residenciales en México: la importancia del sector de servicios.* SENER, CONUEE.
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/455552/cuaderno3nvociclo_2.pdf

Todos los apartados de *Inf* se realizaron con base en:

INEGI. (2023). Sistema de Consulta de Integración Territorial (SCITEL).
<https://www.inegi.org.mx/app/scitel/Default?ev=9>

Resumen de los resultados: Apartado 1.A4

Gráfico 4. Distribución porcentual de las emisiones anuales de CO₂ (toneladas) por otros sectores de energía, Mineral de la Reforma 2023



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del IMECyGEI, Mineral de la Reforma, 2023.

A partir de los resultados presentados en el Gráfico 4 se puede observar que aquellos edificios o infraestructuras dedicadas a los servicios de salud emiten el 86.7 por ciento del CO₂ total del subapartado. Las emisiones de gases de efecto invernadero por estas unidades es un tema recurrente en todas las partes del mundo; sin embargo, es un tema que se deja en un segundo plano, debido a que la situación es un asunto de doble importancia pues, por un lado, es un servicio básico para una buena calidad de vida, razón por la cual la utilización de equipo eléctrico como ordenadores, maquinaria especializada (ente ellos respiradores), sistemas de iluminación, son básicos para la atención oportuna y de calidad; aunque por otro lado, el funcionamiento de estos edificios representa un consumo doble de energía (Cotrina, 2021) y por lo tanto, una fuente recurrente e importante de CO₂.

La implementación de medidas de mitigación ante esta problemática se vuelve oportuna y sobre todo primordial, por lo que la instalación de paneles solares o espacios de conservación de flora en estos espacios, podrían representar las medidas más adecuadas.

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

El siguiente apartado se realizó a través de la siguiente fórmula:

*Sub= Subapartado/Subcategorización

$$1. B = \sum Sub 1. B1 + 1. B2 + 1. B3$$

1.B1. Combustibles sólidos

El siguiente subapartado se realizó a través de la siguiente fórmula:

$$1. B1 = \sum Sub 1. B1a + 1. B1b$$

1.B1a. Minería carbonífera y manejo del carbón

El siguiente subapartado se realizó a través de la siguiente fórmula:

$$1. B1 = \sum Sub 1. B1a1 + 1. B1a2$$

Apartado 1.B1a1. Minas subterráneas

Apartado 1.B1a2. Minas superficie

Apartado 1.B1b. Combustión espontánea y vertederos para quema de carbón

1.B2. Petróleo y gas natural

El siguiente subapartado se realizó a través de la siguiente fórmula:

$$1. B2 = \sum Sub 1. B2a + 1. B2b$$

Apartado 1.B2a. Petróleo

El siguiente subapartado se realizó a través de la siguiente fórmula:

$$1. B2a = 1. B2a1 + 1. B2a2 + 1. B2a3$$

Apartado 1.B2a1. Venteo petróleo

Apartado 1.B2a2. Quemado de petróleo

Apartado 1.B2a3. Otras fugitivas petróleo

Apartado 1.B2b. Gas natural

El siguiente subapartado se realizó a través de la siguiente fórmula:

$$1. B2b = 1. B2b1 + 1. B2b2 + 1. B2b3$$

Apartado 1.B2b1. Venteo gas natural

Apartado 1.B2b2. Quemado de gas natural

Apartado 1.B2b3. Otras fugitivas gas natural

1.B3. Otras fuentes

El siguiente subapartado se realizó a través de la siguiente fórmula:

$$1. B3 = \sum Sub 1. B3a + 1. B3b$$

1.B3a. Gasolineras (26 unidades)

Para el siguiente apartado se retomó el consumo de litros anuales por vehículo, que de acuerdo al INECC (2023), son 840 L/a. Por otro lado, en el proceso de carga hay una fuga de gases de 0.046 kg de CO₂ por litro (que se refiere al total de vapor perdido).

Considerando que en el municipio de Mineral de la Reforma tiene un total de 39,345 vehículos, se obtiene que hay un total de 33,049,800 litros vendidos al año, dividiendo entre 365, se calcula que hay una venta diaria de 90,547.39726 litros al día, multiplicando por los 0.046 kg de CO₂, se estarían generando un total de 4,165.180 kg de CO₂ por el total de las unidades (26).

Es decir, por una unidad, se están generando 160.199 kg de CO₂.

$$CO2 Total = \left(\frac{840 (L/a) * Total de vehiculos}{365} \right) * 0.046 / Total de unidades$$

$$CO2 Total = \left(\frac{840 (L/a) * 39,345}{365} \right) * 0.046 / 26 = 160.199$$

*Fuga de gases en el proceso de carga (por litro) = 0.046 kg de CO₂

Fuente:

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. (2023a). *ecovehiculos*. Obtenido de Portal de Indicadores de Eficiencia Energética y Emisiones Vehiculares: <https://ecovehiculos.inecc.gob.mx/>

Otras consideraciones:

Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs) pueden ser medidos a través de diferentes métodos, dependiendo del tipo y la cantidad de COVs que se desea medir, y del entorno donde se lleva a cabo la medición. Aquí hay algunas opciones comunes:

- Muestreo pasivo: Esta técnica utiliza tubos de muestreo que contienen un material adsorbente, como carbón activado, que se coloca en el área de interés durante un período de tiempo determinado. Los COVs se adhieren al material adsorbente y se pueden analizar posteriormente en un laboratorio para determinar la cantidad y el tipo de COVs presentes en el aire.
- Muestreo activo: Esta técnica utiliza un sistema de bombeo para aspirar el aire a través de un filtro o material adsorbente, y luego se analiza el material recolectado en un laboratorio. El muestreo activo se utiliza a menudo para medir los niveles de COVs en el aire interior de edificios.
- Sensores de COVs: Los sensores de COVs son dispositivos portátiles que pueden medir los niveles de COVs en tiempo real. Estos sensores utilizan diferentes tecnologías, como la espectroscopía infrarroja o la detección de gases electroquímicos, y pueden ser útiles para la detección rápida de COVs en el campo.

Es importante tener en cuenta que la medición de COVs puede ser complicada debido a la gran variedad de compuestos que se consideran COVs, así como a las posibles interferencias de otros contaminantes atmosféricos. Por lo tanto, es importante elegir el método de medición adecuado y contar con personal capacitado para realizar y analizar las mediciones.

1.B3b. Gaseras (7 unidades)

Según la Secretaría de Energía, (2015), se esperaba que para el año 2023, se tendría una demanda en el estado de Hidalgo de 7,900,000 barriles de gas LP al año, entre los 365 días del año, queda una demanda de 21,643.84 barriles de gas LP al día; dividiendo el total entre las 170 unidades, que se contabilizan en la entidad, se tiene 127.32 barriles de gas LP por unidad económica.

De acuerdo con el Sistema de Energía en México 1 barril de gas LP es igual a 158.98 litros, por lo que se tendría una demanda total de 20,241.33 litros de gas LP por unidad económica. Si se multiplica por el CO₂, se tiene una emisión de 2,024.133 kg de CO₂ al día por unidad.

Considerando que son 7 unidades en el municipio de Mineral de la Reforma, 141,689.31 litros de gas LP demandados por cada unidad, se emitiría un total de 14.168 toneladas de CO₂ al día.

*mbd = millones de barriles diarios

*1 barril gas LP = 158.98 Lt (SIE)

*Fuga de gases en el proceso de carga = 0.1 kg de CO₂

La región Centro sigue siendo la mayor consumidora de gas L.P. En 2014, la demanda alcanzó un volumen de 116.1 mbd, lo que representó una participación de 41.2 % del total nacional. En esta región el Estado de México es el mayor consumidor con un volumen de 49.7 mbd, es decir una participación de 42.8% de la demanda regional, por su parte Tlaxcala fue el que presentó la menor demanda con un volumen de 4.6 mbd (Secretaría de Energía, 2015, pág. 103).

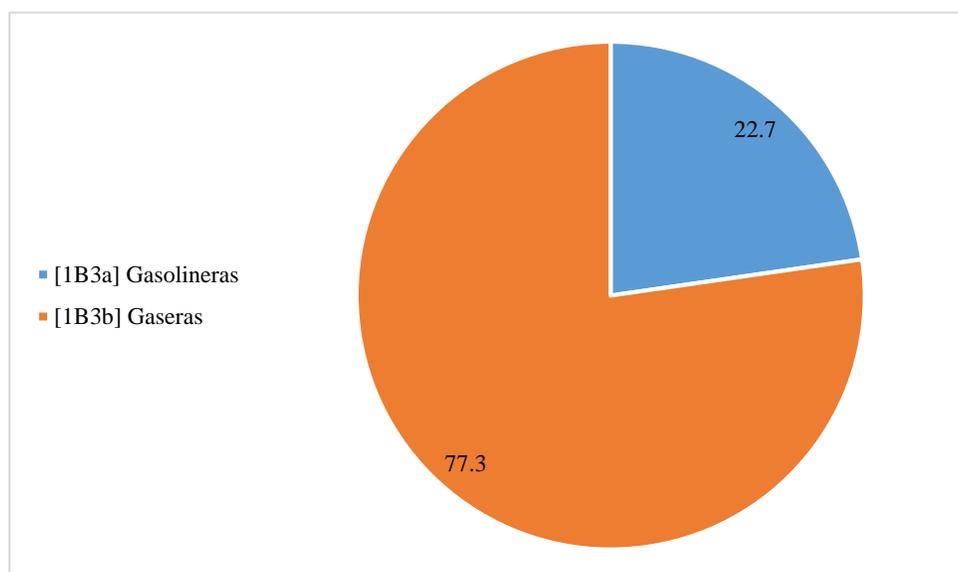
Fuente:

Secretaría de Energía. (2015). *Prospectiva de Gas Natural y Gas L.P. 2015 – 2019*. Secretaría de Energía.
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/116104/Factores_de_Conversi_n-Gas_Natural.pdf

Sistema de Energía en México. (15 de mayo de 2023). *Factores de conversión usados en el Sector Energético*. https://sie.energia.gob.mx/docs/cat_unidades_es.pdf

Resumen de los resultados: Apartado 1.B3

Gráfico 5. Distribución porcentual de las emisiones anuales de CO₂ (toneladas) por otras fuentes, Mineral de la Reforma 2023



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del IMECyGEI, Mineral de la Reforma, 2023.

Con base en los datos del Gráfico 5, son las gasolineras las unidades que más emiten CO₂ con el 91.9 por ciento del total. Es importante reiterar que estas emisiones provienen del proceso de carga, otras emisiones son por la combustión interna de los transportes y máquinas que usan la gasolina u otros derivados de los combustibles fósiles.

Apartado 2. Procesos industriales y uso de productos

2.A Industria de los minerales

El siguiente apartado se realizó a través de la siguiente fórmula:

*Sub= Subapartado/Subcategorización

$$2.A = \sum Sub 2.A1 + 2.A2 + 2.A3 + 2.A3a + 2.A4 + 2.A5$$

2.A1. Producción de cemento (2 unidad)

La producción mínima de una cementera (pequeña) es de 325 kg, multiplicando por la emisión de CO₂ equivalente, se tiene una emisión por unidad económica de 292.5 kg de CO₂, al día.

*1 kg de cemento = 900 gramos de CO₂

Nota:

La producción de cemento se hizo con una estandarización de una unidad económica pequeña, aplica para todos municipios con excepción de Tula de Allende. Considerando que Hidalgo es “el primer lugar en la producción de cemento con 6 millones 800 mil toneladas por año, que corresponden al 30% de la producción nacional, con: Cementos Atotonilco, Cruz Azul, Cemento Tolteca, y Cementos Mexicanos” (Montiel & Hernández, 2010) y Tula localiza a varias de estas empresas.

Fuente:

ENNOMOTIVE SL. (2023). *Producción de cemento: Cómo reducir las emisiones de CO₂*. ENNOMOTIVE SL. <https://www.ennomotive.com/es/produccion-de-cemento/>

Montiel, A. L. M. & Hernández, G. Y. (2010). Análisis del sector manufacturero, caso específico: subsector 327 industrias minerales no metálicas en el estado de Hidalgo. En *Revista Internacional La Nueva Gestión*, 2010, 5 (10). ISSN 1870205-8.

https://www.uaeh.edu.mx/investigacion/icea/LI_AdmOrga/Adri_Montiel/manufactura.pdf

2.A2. Producción de cal

*1 kg de cal = 0.54 kg de CO₂

2.A3. Producción de vidrio (1 unidad)

El siguiente subapartado se realizó a través de la siguiente fórmula:

$$2.A3 = \sum Sub 2.A3 + 2.A3a$$

Para este apartado se consideró como valor estándar la producción de vidrio de la empresa Glassia (Hidalglass S.A de C.V.), que es de aproximadamente 100,000 kg al día por unidad económica, en una jornada de 8 a 9 horas, por lo que se tiene una emisión total de 120,000 kg de CO₂ al día por la unidad.

*1 kg de vidrio = 1.2 kg de CO₂

Fuente:

Hidalglass S.A. de C.V. (2023). *Glassia*. <https://www.glassia.mx/es/company>

2.A3a. Comercio de vidrio (38 unidades)

De acuerdo al consumo de electricidad de los comercios, se tiene que una unidad económica consume 75 kW/h al día, eso multiplicado por 0.458 kg de CO₂ equivalente, da una emisión total de 34.35 kg de CO₂ equivalente al día por unidad económica.

A partir de ello se obtiene una emisión total de 1.30 toneladas de CO₂ al día por todas las unidades económicas.

*1 kW/h = 0.458 kg de CO₂

Apartado 2.A4. Otros usos de carbonato

Apartado 2.A5. Otros (6 unidades)

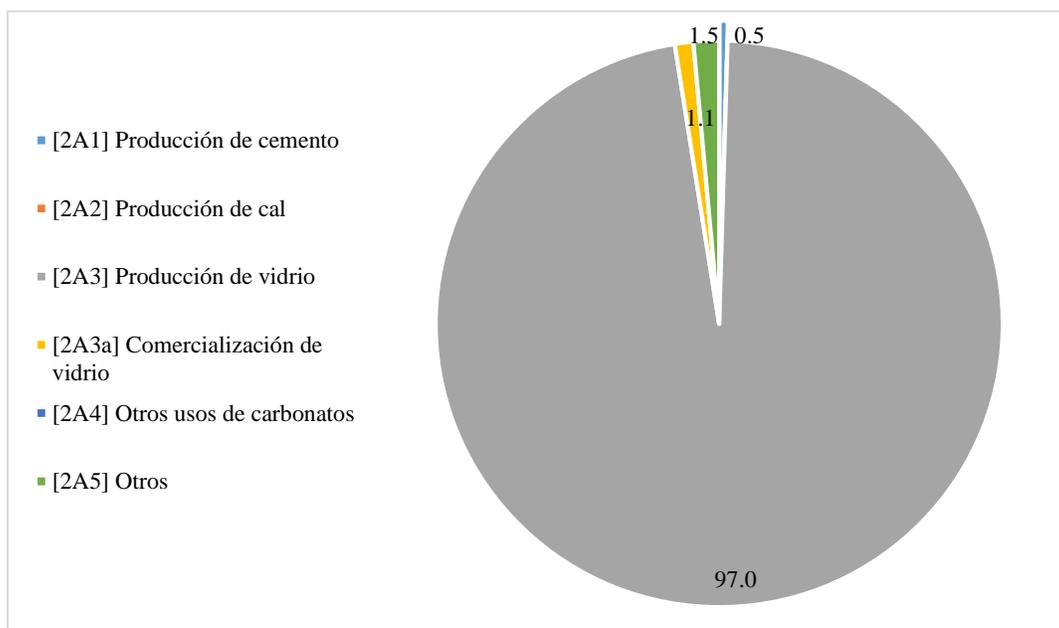
De acuerdo al análisis de datos (recopilados a través del trabajo de campo en diferentes unidades económicas), una unidad consume 10,000 kW/h al mes; por lo que se estima que al día hay un consumo estándar de 333.33 kW/h, si se multiplica por el equivalente de CO₂, se obtiene que una unidad emite 300 kg de CO₂ al día.

Si se contemplan todas las unidades económicas, hay una emisión total de 1.8 toneladas de CO₂ al día.

*1 kW/h de maquinaria/electrónico con consumo alto = 0.9 kg de CO₂

Resumen de los resultados: Apartado 2.A

Gráfico 6. Distribución porcentual de las emisiones anuales de CO₂ (toneladas) por industria de los minerales, Mineral de la Reforma 2023



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del IMECyGEI, Mineral de la Reforma, 2023.

En el Gráfico 6 se sintetizan las emisiones de CO₂ en el apartado de industria de los minerales, en la que se destaca como la principal fuente de emisión la producción de vidrio con el 97.0 por ciento del total. Como menciona la Corporación Financiera Internacional del Grupo del Banco Mundial (IFC por sus siglas en inglés) (2007), la fabricación de vidrio es una actividad que se realiza a altas temperaturas e intensiva en términos de energía, lo que provoca la emisión de varios subproductos de combustión, como lo son el dióxido de azufre, el dióxido de carbono y óxidos de nitrógeno; y en este proceso, los hornos de fusión generan entre un 80 y un 90 por ciento del total de emisiones de contaminantes a la atmósfera procedentes de las instalaciones de producción de vidrio (pág. 3).

A partir de lo anterior, se vuelve evidente el porqué es esta categoría la que genera la mayor cantidad de emisiones de CO₂ en el subapartado, lo que hace imprescindible la intervención en los procesos de producción de la industria.

2.B Industria química

El siguiente apartado se realizó a través de la siguiente fórmula:

*Sub= Subapartado/Subcategorización

$$2. B = \sum Sub \ 2. B1 + 2. B2 + 2. B3 + 2. B4 + 2. B5 + 2. B6 + 2. B7 + 2. B8 + 2. B9 + 2. B10$$

2.B1. Producción de amoníaco

2.B2. Producción de ácido nítrico

2.B3. Producción de ácido adíptico

2.B4. Producción de caprolactama, glioxil y ácido glioxílico

2.B5. Producción de carburo

2.B6. Producción de dióxido de titanio

2.B7. Producción de ceniza de sosa

2.B8. Producción petroquímica y negro de humo

2.B9. Producción fluoroquímica

2.B10. Otros (8 unidades)

De acuerdo al consumo de electricidad de los comercios, se tiene que una unidad económica consume 75 kW/h al día, eso multiplicado por 0.458 kg de CO₂ equivalente, da una emisión total de 34.35 kg de CO₂ equivalente al día por unidad económica.

La emisión total de todas las unidades económicas sería igual a 274.8 kg de CO₂ al día.

*1 kW/h = 0.458 kg de CO₂

Resumen de los resultados: Apartado 2.B

En el caso del apartado 2.B se tiene que, para el caso de Mineral de la Reforma, solo se encuentran unidades en el sector de “Otros”, entre las cuales se encuentran las actividades de comercio al por mayor de productos farmacéuticos, productos químicos para la industria farmacéutica y para otro uso industrial, fabricación de otros productos químicos, básicos orgánicos e instalaciones hidrosanitarias y de gas.

Estos son las unidades con cuyas actividades emiten en total de las emisiones de CO₂ equivalente en el municipio.

2.C Industria de los metales

El siguiente apartado se realizó a través de la siguiente fórmula:

*Sub= Subapartado/Subcategorización

$$2.C = \sum Sub 2.C1 + 2.C2 + 2.C3 + 2.C4 + 2.C5 + 2.C6 + 2.C7$$

2.C1. Producción de hierro y acero

2.C2. Producción de ferroaleaciones

2.C3. Producción de aluminio

2.C4. Producción de magnesio

2.C5. Producción de plomo

2.C6. Producción de zinc

2.C7. Otros (340 unidades)

De acuerdo al consumo de electricidad de los comercios, se tiene que una unidad económica consume 75 kW al día, eso multiplicado por 0.458 kg de CO₂ equivalente, da una emisión total de 34.35 kg de CO₂ equivalente al día por unidad económica.

Es decir, se tiene una emisión de 11.679 toneladas de CO₂ al día por todas las unidades económicas.

*1 kw/h = 0.458 kg de CO₂

Resumen de los resultados: Apartado 2.C

En el apartado 2.C, una vez más se encuentran únicamente unidades en el sector de “Otros”, dentro de los cuales se incluyen las actividades de: Cerrajería, comercio al por mayor de desechos metálicos, para la construcción y la manufactura, comercio al por menos de

ferreterías y tlapalerías, fabricación de: alambre, anuncios, baleros, carrocería, estructuras metálicas, herramientas de mano metálicas sin motor, motocicletas, motores, productos de herrería, entre algunos.

Estas unidades son, cuyas actividades emiten el cien por ciento de las emisiones totales de CO₂ del apartado.

2.D Uso de productos no energéticos de combustibles y de solventes

El siguiente apartado se realizó a través de la siguiente fórmula:

*Sub= Subapartado/Subcategorización

$$2. D = \sum Sub 2. D1 + 2. D2 + 2. D3 + 2. D4$$

2.D1. Uso de lubricantes (51 unidades)

Una unidad económica tiene un consumo de 40 kW/h al día, multiplicado por 1.9 kg de CO₂, da una emisión final de 36 kg de CO₂ al día.

Es decir, hay una emisión total de 1.836 toneladas de CO₂ al día por todas las unidades económicas.

*1 kW/h = 0.9 kg de CO₂

2.D2. Uso de la cera de parafina

2.D3. Uso de solventes (362 unidades)

Estandarización con un taller de pintura:

Se estima una emisión promedio de 500 gramos de COVs por cada auto. Si un taller atiende en promedio a 5 autos al día, se tiene un total de 2.5 kg de COVs; esto se multiplica por 0.75 (CO₂, equivalente por cada kilogramo de COVs) y se tiene una emisión final de 1.875 kg de CO₂ por unidad económica al día.

Es decir, hay una emisión total de 678.75 kg de CO₂ al día por todas las unidades económicas.

*1 kg de COVs = 0.75 kg de CO₂

2.D4. Otros (30 unidades)

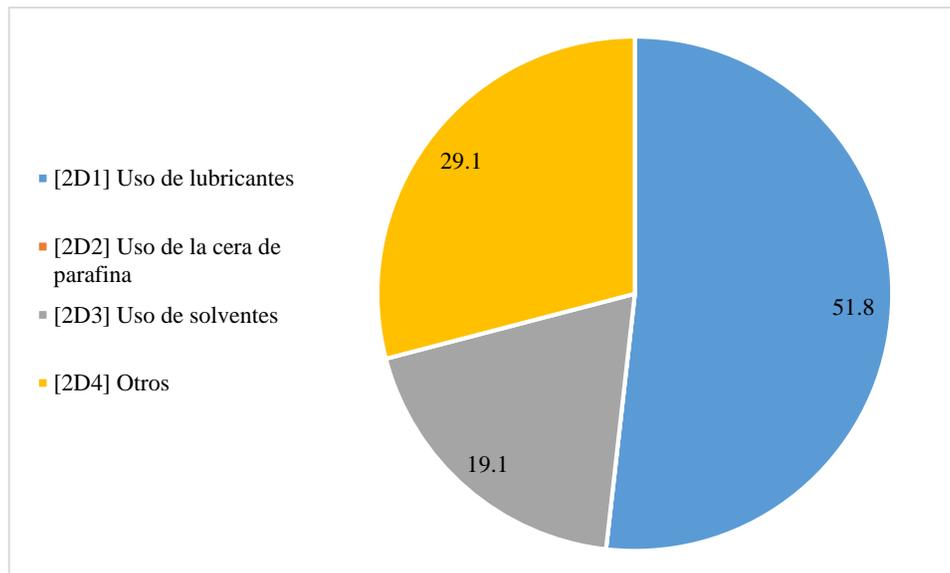
De acuerdo al consumo de electricidad de los comercios, se tiene que una unidad económica consume 75 kW/h al día, eso multiplicado por 0.458 kg de CO₂ equivalente, da una emisión total de 34.35 kg de CO₂ equivalente al día por unidad económica.

Es decir, hay una emisión total de 1.0305 toneladas de CO₂ al día por todas las unidades económicas.

*1 kw/h = 0.458 kg de CO₂

Resumen de los resultados: Apartado 2.D

Gráfico 7. Distribución porcentual de las emisiones anuales de CO₂ (toneladas) por uso de productos no energéticos de combustibles y de solventes, Mineral de la Reforma 2023



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del IMECyGEI, Mineral de la Reforma, 2023.

De acuerdo a los datos presentados en el Gráfico 7 el uso de lubricantes que incluye el comercio, fabricación y lubricación de automóviles y camionetas, es la categoría con mayores emisiones de CO₂, 51.8 por ciento; frente al 19.1 por ciento que solo representa el uso de solventes.

Lo óptimo, teniendo en consideración la demanda de éstos, sería la implementación de lubricantes de alta calidad que puedan reducir la huella de carbono y que a la vez ayuden a la eficiencia de la maquinaria que los requiere; los cuales también proporcionen alta estabilidad a la temperatura y presión con el fin de garantizar el rendimiento de la maquinaria (Lubritec, 2023).

2.E Industrias electrónicas

El siguiente apartado se realizó a través de la siguiente fórmula:

*Sub= Subapartado/Subcategorización

$$2.E = \sum Sub 2.E1 + 2.E2 + 2.E3 + 2.E4 + 2.E5$$

2.E1. Circuitos integrados o semiconductores

2.E2. Pantalla plana tipo TFT

2.E3. Células fotovoltaicas

2.E4. Fluido de transferencia térmica

2.E5. Otros

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

El siguiente apartado se realizó a través de la siguiente fórmula:

*Sub= Subapartado/Subcategorización

$$2.F = \sum Sub 2.F1 + 2.F2 + 2.F3 + 2.F4 + 2.F5 + 2.F6$$

2.F1. Refrigeración y aire acondicionado (1 unidad)

Para la realización del apartado se tomó el total de refrigeradores en el municipio de Mineral de la Reforma de 59,120 refrigeradores (uno por vivienda), a esto se le suma 1,437 unidades económicas con refrigerador (uno por unidad) da un total de 60,557 refrigeradores que atiende la unidad de refrigeración.

Este total se multiplica por 0.5 kg de gas freón que se utiliza por cada refrigerador, lo que da un total de 30,278.5 kg de gas freón.

Se estima una pérdida del 5 por ciento de gas freón por al año, lo que equivale a 4.147 kg de gas freón (se divide entre los 365 días del año), al multiplica por el CO₂ equivalente (1.430) da una emisión total de 5.931 kg de CO₂ al día por unidad económica.

*De 100 a 500 gms de gas por refrigerador

* 1 kg de gas freón = 1.430 kg de CO₂

2.F2. Agentes espumantes (4 unidades)

Hay una producción promedio de 50 jabones de 50 gramos por persona que trabaja en la unidad económica (cada unidad tiene en promedio 3 trabajadores), lo que es igual a una producción de 150 jabones diarios.

Esto sería igual a 7.5 kg de glicerina diaria por unidad económica; lo que da un total de emisión de 30 kg de CO₂ equivalente por unidad económica.

Es decir, hay una emisión total de 120 kg de CO₂ al día por todas las unidades económicas.

*20 jabones de 50 gramos por un 1 kg de glicerina

*1 kg de glicerina (vegetal) = 4 kg de CO₂ equivalente

2.F3. Protección contra incendios

2.F4. Aerosoles

2.F5. Solventes

2.F6. Otras aplicaciones (217 unidades)

Estandarización de talleres:

Al mes, una unidad económica tiene un gasto de \$1,500.00 aproximadamente, por esa cantidad se tiene un consumo de 1,334.99 kW/h al mes (considerando que los recibos llegan por bimestre). Si se multiplica por el CO₂ equivalente (0.9), se tiene una emisión total de 1,201.491 kg de CO₂ al mes por unidad económica.

Dividiendo entre los días del mes (30 en promedio), se tiene una emisión al día de 40.0497 kg CO₂ por unidad económica.

Es decir, hay una emisión total de 8.690 toneladas de CO₂ al día por todas las unidades económicas.

*1 kW/h = 0.9 kg de CO₂

Resumen de los resultados: Apartado 2.F

Gráfico 8. Distribución porcentual de las emisiones anuales de CO₂ (toneladas) por uso de productos sustitutos de las sustancias que agotan la capa de ozono, Mineral de la Reforma 2023



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del IMECyGEI, Mineral de la Reforma, 2023.

A partir de los datos presentados en el Gráfico 8 se obtiene que la categoría de *otras aplicaciones* es la de mayor emisión de CO₂ con el 98.6 por ciento. Estas aplicaciones incluyen la fabricación de pinturas y recubrimientos, hojalatería y pintura de automóviles y camiones, así como servicios de limpieza de tapicería, alfombras y muebles.

2.G Manufactura y utilización de otros productos

El siguiente apartado se realizó a través de la siguiente fórmula:

*Sub= Subapartado/Subcategorización

$$2.G = \sum Sub 2.G1 + 2.G2 + 2.G3 + 2.G4$$

2.G1. Equipos eléctricos (170 unidades)

Se tiene que se gasta 11.2 kW/h diarios por unidad económica, esto se multiplica por los kilogramos de CO₂ equivalentes por 1 kW (0.9), sería una emisión total de 10.08 kg CO₂ al día por unidad económica.

Es decir, hay una emisión total de 1.7136 toneladas de CO₂ al día por todas las unidades económicas.

*1 kW = 0.9 kg de CO₂

2.G2. SF6 y PFC de otros usos de productos

2.G3. NO2 de usos de productos

2.G4. Otros (7 unidades)

Estandarización por talleres de motos:

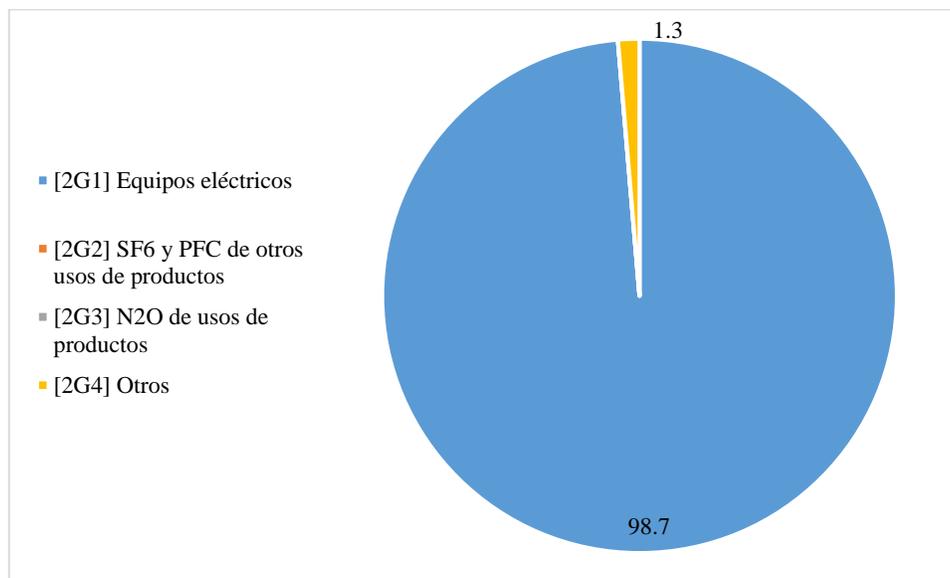
1 compresora gasta en promedio 3.7 kW/h, si se multiplica por los kilogramos de CO₂ equivalentes por 1kW (0.9), sería una emisión total del 3.33 kg de CO₂ al día por unidad económica.

Es decir, hay una emisión total de 23.31 kg de CO₂ al día por todas las unidades económicas.

*1 kW = 0.9 kg de CO₂

Resumen de los resultados: Apartado 2.G

Gráfico 9. Distribución porcentual de las emisiones anuales de CO₂ (toneladas) por el sector de manufactura y utilización de otros productos, Mineral de la Reforma 2023



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del IMECyGEI, Mineral de la Reforma, 2023.

De acuerdo con el Gráfico 9 las actividades encaminadas a la reparación y servicios de mantenimiento de equipos eléctricos son los de mayores emisiones de CO₂ con el 98.7 por ciento del total. Es decir, hay una emisión por su fabricación y producción y a estas se le suman las emisiones por los servicios que se le deben implementar para su correcto funcionamiento, lo que equivaldría a una doble emisión de CO₂, la cual, dentro de este subapartado, representa el de mayor importancia.

2.H Otros

El siguiente apartado se realizó a través de la siguiente fórmula:

*Sub= Subapartado/Subcategorización

$$2.H = \sum Sub 2.H1 + 2.H2 + 2.H3$$

2.H1. Industria de la pulpa y el papel (284 unidades)

En una unidad económica (estandarización con papelerías) se gasta en promedio un total de 9.1 kW/h (por todos los aparatos eléctricos que tiene), si se multiplica por el CO₂ equivalente, se tiene una emisión de 8.19 kg CO₂ al día por unidad económica.

- Focos (1) gasta 0.3 kW/h
- Impresora (1) gasta 8 kW/h
- Computadora (1) gasta 0.2 kW/h

Por el total de unidades económicas se tiene una emisión de 2.325 toneladas de CO₂ al día.

*1 kW = 0.9 kg de CO₂

2.H2. Industria de la alimentación y bebida (278 unidades)

En una unidad económica se gasta en promedio un total de 8 kW/h (por todos los aparatos eléctricos que tiene), si se multiplica por el CO₂ equivalente, se tiene una emisión de 7.2 kg CO₂ al día por unidad económica.

- Focos (6) 0.3 kW/h
- Rebanadoras (1) 0.5 kw/h
- Refrigeradores (2) 2.8 kW/h
- Bascula (1) 0.1 kW/h

Por el total de unidades económicas se tiene una emisión de 2.0016 toneladas de CO₂ al día.

*1 kW = 0.9 kg de CO₂

2.H3. Otros (7 unidades)

Estandarización de comercio de materias primas:

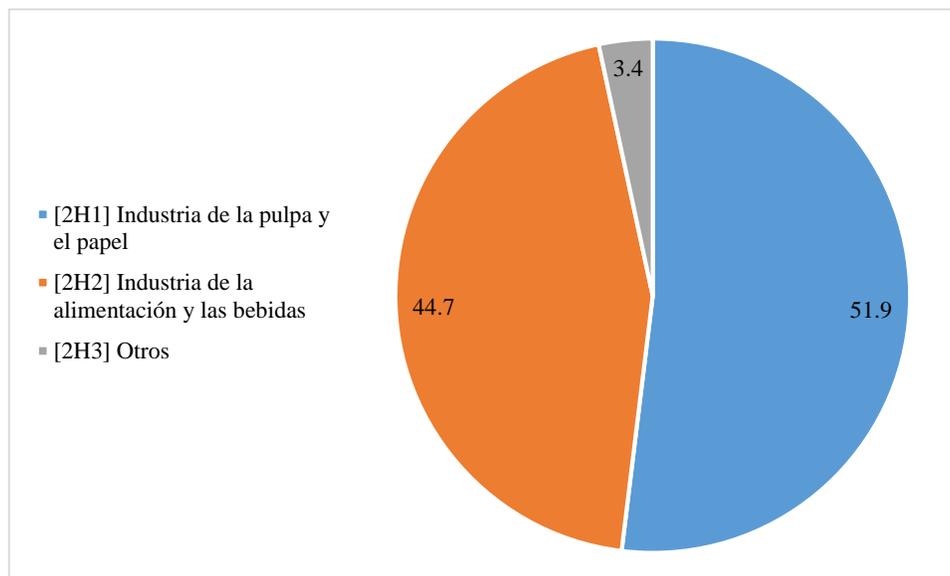
En una unidad económica se gasta en promedio un total de 24 kW/h (por todos los aparatos eléctricos que tiene), por lo que una unidad económica emite en promedio 21.6 CO₂ al día.

Por el total de unidades económicas se tiene una emisión de 151.2 kg de CO₂ al día.

*1 kW = 0.9 kg de CO₂

Resumen de los resultados: Apartado 2.H

Gráfico 10. Distribución porcentual de las emisiones anuales de CO₂ (toneladas) por el sector de otros en procesos industriales y usos de productos, Mineral de la Reforma 2023



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del IMECyGEI, Mineral de la Reforma, 2023.

De acuerdo con los datos del Gráfico 10, la industria de la pulpa y el papel es la de mayores emisiones de CO₂ con el 51.9 por ciento del total. Esta industria se caracteriza por proporcionar servicios encaminados al comercio de artículos de papelería, desechos de papel, cartón, así como servicios de paquetería e impresión. Si bien hay una contaminación en el proceso de producción del papel en general, así como de los derivados de las acciones de tala de árboles; también hay una emisión en el uso y comercialización de estos, sobre todo por la sobreexplotación de los recursos naturales como consecuencia del consumo excesivo del material.

Apartado 3. Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra

3.A Ganado

El siguiente apartado se realizó a través de la siguiente fórmula:

*Sub= Subapartado/Subcategorización

$$3.A = \sum Sub\ 3.A1 + 3.A2$$

3.A1. Fermentación entérica

El siguiente subapartado se realizó a través de la siguiente fórmula:

$$3.A1 = \sum Sub\ 3.A1a + 3.A1b + 3.A1c + 3.A1d + 3.A1e + 3.A1f + 3.A1g + 3.A1h + 3.A1i$$

3.A1a. Bovinos (850 unidades)

Se tiene en promedio que una vaca emite 200 Lt de metano al día, que es igual 143.48 kg de metano por 28 kg CO₂ que es el Potencial de Calentamiento Atmosférico (PCG-INEEC), da una emisión total de 4,017.44 kg de CO₂ equivalente.

Teniendo en cuenta que en la ciudad de Mineral de la Reforma hay un total de 850 unidades, se tiene una emisión total de 3,414.824 toneladas de CO₂ al día.

*100 Lt metano= 71.74 kg (metano)

*1 kg metano = 28 kg CO₂ (PCG)

Nota: Las vacas emiten metano a través de la fermentación entérica, que es un proceso natural en el que las bacterias en su estómago descomponen los alimentos que consumen y producen gases como metano. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), se estima que una vaca promedio emite entre 70 y 120 kg de metano por año.

Es importante tener en cuenta que las emisiones de metano de las vacas pueden variar en función de factores como su raza, edad, tamaño y dieta, así como de las prácticas de gestión de la ganadería utilizadas. Por lo tanto, las estimaciones de emisiones pueden variar y deben considerarse como aproximaciones generales.

Fuente:

Steinfeld, H., Gerber, P., Wassenaar, T., Castel, M. & Haan, C. (2009). La larga sombra del ganado. Problemas ambientales y opciones. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. <https://www.fao.org/3/a0701s/a0701s.pdf>

Trespalacios, J., Blanquicett, C., & Carrillo, P. (2018). *Gases y efecto invernadero. Instituto Desarrollo Sostenible*. Escuela Internacional de Doctorado, Universidad del Norte, SENA. Basilea–Suiza. https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/58179901/IDS_1.2_-_Gases_y_efecto_invernadero_-_V04-libre.pdf?1547481100=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DGases_y_efecto_invernadero.pdf&Expires=1684433600&Signature=HQPZspSKxSgdnHjuM50zxTQ1PIE4O063Qx-d8Dy71gh14AdwSRJC-makUAUOVnwiKOAUsuBmuZay5mNysWZoezTwDoQistB63yD81YgYLc5ljREfP1fyVAnXKnn2iX14tTEhDJADmkVWyz1Qxj-Bf08umQ8Dg10E3wG9WliVKN03upW5wO3SM5kxHc5rYWNRHyQrqZi1R0c4yYWVsQ9DeYZr~IYzJTqYXZEMeshz9WhzV7sfmQKZ91dGD3l63NxOzth2UYHaQTOyDTvSqgyeVf64CX72ie9ztjoD5-AzGBM8hodSt7lslIYR8sCIvqF35WE2Kj83YOejaxVOEMaPsg__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA

3.A1b. Búfalos

3.A1c. Ovinos (5,404 unidades)

Se tiene en promedio que, una oveja emite 0.022 kg de metano al día, si se multiplica por 28 kg CO₂ PCG, da una emisión total de 0.616 kg CO₂ equivalente al día.

Teniendo en cuenta que en la ciudad de Mineral de la Reforma hay un total de 5 unidades, se tiene una emisión total de 3,328.864 kg de CO₂ al día.

*1 kg metano = 28 kg CO₂ (PCG)

3.A1d. Caprino (415 unidades)

Se tiene en promedio que, una cabra emite 0.030 kg de metano al día, si se multiplica por 28 kg CO₂ PCG, da una emisión total de 0.84 kg CO₂ equivalente al día.

Teniendo en cuenta que en la ciudad de Mineral de la Reforma hay un total de 415 unidades, se tiene una emisión total de 348.6 kg de CO₂ al día.

*1 kg metano = 28 kg CO₂ (PCG)

3.A1e. Camellos

3.A1f. Caballos

3.A1g. Mulas y asnos

3.A1h. Porcino (531 unidades)

Se tiene en promedio que, un porcino emite 0.30 kg de metano al día, si se multiplica por 28 kg CO₂ PCG, da una emisión total de 8.4 kg CO₂ equivalente al día.

Teniendo en cuenta que en la ciudad de Mineral de la Reforma hay un total de 531 unidades, se tiene una emisión total de 4.46 toneladas de CO₂ al día.

*1 kg metano = 28 kg CO₂ (PCG)

3.A1i. Otros (8,576 unidades)

Estandarización con aves de corral:

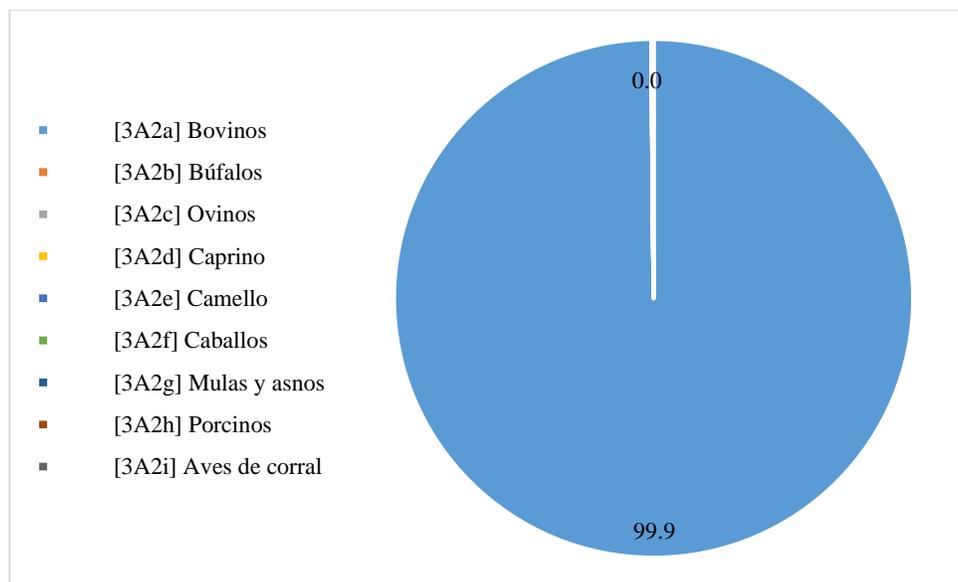
Se tiene en promedio que, un ave emite 0.5 kg de metano al año, por lo que al día produciría 0.00136 kg de metano, si se multiplica por 28 kg CO₂ PCG, da una emisión total de 0.03808 kg CO₂ equivalente al día.

Teniendo en cuenta que en la ciudad de Mineral de la Reforma hay un total de 740 unidades, se tiene una emisión total de 326.57 kg de CO₂ al día.

*1 kg metano = 28 kg CO₂ (PCG)

Resumen de los resultados: Apartado 3.A1

Gráfico 11. Distribución porcentual de las emisiones anuales de CO₂ (toneladas) por fermentación entérica de actividades ganaderas, Mineral de la Reforma 2023



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del IMECyGEI, Mineral de la Reforma, 2023.

De acuerdo con el Gráfico 11, los bovinos son los que en su proceso de fermentación entérica emiten más CO₂ con casi el 100 por ciento del total de las emisiones. Estas emisiones que son equivalencias al metano expulsado, se producen por la actividad digestiva, en la que los gases son expulsados cuando pasan al sistema respiratorio y es eliminado por medio de las exhalaciones.

El metano vacuno es uno de los principales pilares de gases efecto invernadero, combinado con el número de especies, para el consumo humano, la producción de estos gases se vuelve un asunto mundial dentro de los problemas ecológicos; por ello, la intervención en la reproducción y alimentación de estos, se vuelve un tema primordial dentro de la agenda de mitigación y adaptación.

3.A2. Gestión del estiércol por día kilos

El siguiente subapartado se realizó a través de la siguiente fórmula:

$$3.A2 = \sum Sub\ 3.A2a + 3.A2b + 3.A2c + 3.A2d + 3.A2e + 3.A2f + 3.A2g + 3.A2h + 3.A2i + 3.A2j$$

3.A2a. Bovinos (850 unidades)

Un bovino genera en promedio 50 kg de estiércol al día, multiplicando por 0.05 m³ de metano equivalente (por descomposición anaeróbica) da un total de 2.5 m³ de metano; se retoman

los gramos equivalentes (es decir 0.03568 kg de metano) lo que da una emisión total de 0.0892 kg de metano al día por unidad.

Se multiplica por el valor de PCG (28) lo que da una emisión total de 2.50 kg de CO₂ por unidad al día.

Por el total de unidades, es decir 850, hay una emisión de 2,125 kg de CO₂ al día en el municipio.

$$* 1 \text{ kg de estiércol} = 0.05 \text{ m}^3 \text{ de metano}$$

$$*1 \text{ m}^3 \text{ metano} = 713.6 \text{ gramos de metano}$$

$$*0.05 \text{ m}^3 \text{ de metano} = 35.68 \text{ gms de metano}/0.03568 \text{ kg de metano}$$

3.A2b. Búfalos

3.A2c. Ovinos (5,404 unidades)

Un ovino genera en promedio 2.48 kg de estiércol, multiplicando por 0.05 m³ de metano equivalente (por descomposición anaeróbica) da un total de 0.124 m³ de metano; se retoman los gramos equivalentes (es decir 0.03568 kg de metano), lo que da una emisión total de 0.00442 kg de metano al día por unidad.

Se multiplica por el valor de PCG (28) lo que da una emisión total de 0.12 kg de CO₂ por unidad al día.

Por el total de unidades, es decir 5,404, hay una emisión de 648.48 kg de CO₂ al día en el municipio.

$$* 1 \text{ kg de estiércol} = 0.05 \text{ m}^3 \text{ de metano}$$

$$*1 \text{ m}^3 \text{ metano} = 713.6 \text{ gramos de metano}$$

$$*0.05 \text{ m}^3 \text{ de metano} = 35.68 \text{ gms de metano}/0.03568 \text{ kg de metano}$$

$$*1\text{m}^3 = 1000 \text{ litros}$$

3.A2d. Caprino (415 unidades)

Un caprino genera en promedio 1.48 kg de estiércol, multiplicando por 0.05 m³ de metano equivalente (por descomposición anaeróbica) da un total de 0.074 m³ de metano; se retoman los gramos equivalentes (es decir 0.03568 kg de metano), lo que da una emisión total de 0.00264 kg de metano al día por unidad.

Se multiplica por el valor de PCG (28) lo que da una emisión total de 0.074 kg de CO₂ por unidad al día.

Por el total de unidades, es decir 415, hay una emisión de 30.71 kg de CO₂ al día en el municipio.

* 1 kg de estiércol = 0.05 m³ de metano

*1 m³ metano = 713.6 gramos de metano

*0.05 m³ de metano = 35.68 gms de metano/0.03568 kg de metano

*1m³ = 1000 litros

3.A2e. Camello

3.A2f. Caballos

3.A2g. Mulas y asnos

3.A2h. Porcinos (531 unidades)

Un porcino genera en promedio 6.17 kg de estiércol, multiplicando por 0.05 m³ de metano equivalente (por descomposición anaeróbica) da un total de 0.3085 m³ de metano; se retoman los gramos equivalentes (es decir 0.03568 kg de metano), lo que da una emisión total de 0.0110 kg de metano al día por unidad.

Se multiplica por el valor de PCG (28) lo que da una emisión total de 0.308 kg de CO₂ por unidad al día.

Por el total de unidades, es decir 531, hay una emisión de 163.548 kg de CO₂ al día en el municipio.

* 1 kg de estiércol = 0.05 m³ de metano

*1 m³ metano = 713.6 gramos de metano

*0.05 m³ de metano = 35.68 gms de metano/0.03568 kg de metano

*1m³ = 1000 litros

3.A2i. Aves de corral (8,576 unidades)

Un ave de corral genera en promedio 0.17 kg de estiércol, multiplicando por 0.05 m³ de metano equivalente (por descomposición anaeróbica) da un total de 0.0085 m³ de metano; se retoman los gramos equivalentes (es decir 0.03568 kg de metano), lo que da una emisión total de 0.00030 kg de metano al día por unidad.

Se multiplica por el valor de PCG (28) lo que da una emisión total de 0.004 kg de CO₂ por unidad al día.

Por el total de unidades, es decir 8,576, hay una emisión de 34.304 kg de CO₂ al día en el municipio.

* 1 kg de estiércol = 0.05 m³ de metano

*1 m³ metano = 713.6 gramos de metano

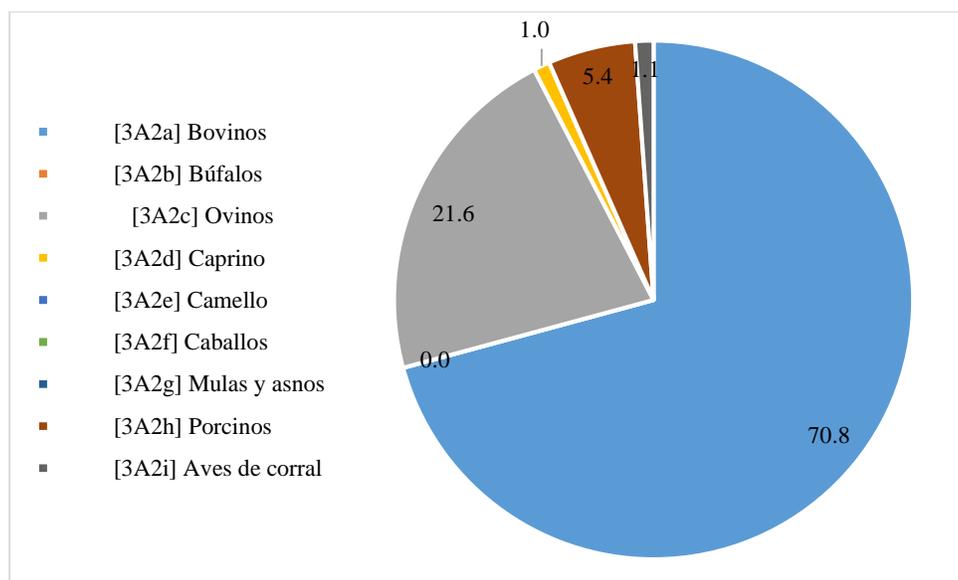
*0.05 m³ de metano = 35.68 gms de metano/0.03568 kg de metano

*1m³ = 1000 litros

3.A2j. Otros (especificar)

Resumen de los resultados: Apartado 3.A2

Gráfico 12. Distribución porcentual de las emisiones anuales de CO₂ (toneladas) por gestión de estiércol de actividades ganaderas, Mineral de la Reforma 2023



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del IMECyGEI, Mineral de la Reforma, 2023.

De acuerdo con los datos del Gráfico 12, la emisión de CO₂ por gestión de estiércol se concentra principalmente por bovinos, con el 70.8 por ciento; seguido de Ovinos con el 21.6 por ciento. Las emisiones se concentran en bovinos principalmente por el número de especies, por lo que es pertinente reflexionar sobre la intensificación de la producción ganadera, pues como se menciona en Pinos, et al. (2012), ésta aumenta la generación de estiércol, lo cual origina una gran cantidad de nutrientes desechados y concentrados, lo que trae consigo un impacto ambiental negativo (pág. 368).

3.B Tierra

El siguiente apartado se realizó a través de la siguiente fórmula:

*Sub= Subapartado/Subcategorización

$$3.B = \sum Sub\ 3.B1 + 3.B2 + 3.B3 + 4.B4 + 3.B5 + 3.B6$$

El apartado se completó con base en las estimaciones realizadas por el subsector “Uso de Suelo y Cambio de Uso de Suelo y Silvicultura” (USCUSS) para la estimación de gases y efecto invernadero (SEMARNAT & INEEC, 2017).

El USCUSS es un sumidero neto en todos los años, éstos se conforman por los apartados de: tierras forestales, tierra de cultivo, pradera, humedales, asentamientos y otras tierras. En el caso de este inventario serían el equivalente a los apartados: 3.B1, 3.B2, 3.B3, 3.B4, 3.B5 y 3.B6. por lo que se retoman los últimos datos actualizados.

Se toma en consideración 2 aspectos:

El sector USCUSS puede tanto emitir como absorber emisiones de CO₂. Con base en las Guías de las Buenas Prácticas del IPCC 2003, se consideran dos condiciones en los usos del suelo para estimar las emisiones de GEI del sector; 1) las permanencias en el mismo uso de suelo que generan absorciones de CO₂ (permanencia de tierras forestales, pastizales, y tierras de cultivo perenne); y 2) las transiciones de Tierras Forestales o Pastizales a otros usos del suelo que generan emisiones de CO₂ y de otros usos del Suelo a Tierras Forestales y Pastizales, con incrementos en los acervos de carbono. Los depósitos cuantificados son la biomasa viva (aérea y raíces) y suelos minerales, así como las emisiones por incendios en tierras forestales y pastizales (SEMARNAT & INEEC, 2017, p. 21).

- Consideraciones generales del apartado:
 - Absorción de CO₂ por tipo de uso de suelo
 - Emisión de CO₂ por tipo de uso de suelo

La recuperación del uso de suelo se realizó a través del conjunto de datos vectoriales de Uso de Suelo y Vegetación del INEGI (2018). Los datos recopilados se transformaron a un conjunto de datos Excel para realizar las clasificaciones el uso de suelo, dichas clasificaciones dependieron de la actividad o descripción de sus características.

Fuente:

Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. (12 de julio de 2018). *Día Mexicano del Árbol*. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/conanp/articulos/dia-mexicano-del-arbol-165506#:~:text=Una%20hect%C3%A1rea%20de%20%C3%A1rboles%20puede,bi%C3%B3xido%20de%20carbono%20al%20a%C3%B1o>

INEGI. (2018). Uso de Suelo y Vegetación. <https://www.inegi.org.mx/temas/usosuelo/#Mapa>

SEMARNAT & INEEC. (2017). *Enfoques Metodológicos para la modelación económica del sector Uso de Suelo, Cambio de Uso de Suelo y Silvicultura para la estimación de Gases de Efecto Invernadero*. SEMARNAT & INEEC. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/311042/Informe_enfoques_USCUSS_DEARN_final.pdf

3.B1. Tierras forestales

El siguiente subapartado se realizó a través de la siguiente fórmula:

$$3.B1 = \sum Sub\ 3.B1a + 3.B1b$$

A partir de los datos de “Uso de Suelo y Vegetación” (INEGI, 2018), se realizó la clasificación del apartado de “Tierras Forestales” a través de las categorías “bosques” y “vegetación secundaria”.

- Generalidades del apartado 3B1
 - Una hectárea de árboles, anualmente *absorbe* 6 toneladas de CO₂ = 16.44 kg de CO₂ diarios.

3.B1a. Tierras forestales que permanecen como tal (583 hectáreas)

Nota:

Todos los apartados del inventario recuperan las emisiones de CO₂; sin embargo, para el caso de tierras forestales solo se consideran la capacidad de absorción, por lo que se maneja un valor estándar como nota metodológica, pero no se considera como valor para el inventario. De acuerdo a la metodología de SEMARNAT e INECC (2017), como en los inventarios de Uso de Suelo no se puede tener un valor estimado de emisión, los valores de absorción se restan al valor total de emisiones en el apartado “3B Tierras”³.

3.B1b. Tierras convertidas a tierras forestales

Resumen de los resultados: Apartado 3.B1

A partir de los resultados en el inventario se determinó que no hay emisiones de CO₂ para el caso del apartado 3B1, ya que de acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) (2001), las tierras forestales solo tienen emisiones por aspectos de deforestación, entendida como “la pérdida de bosques y selvas debido al impacto de actividades humanas o causas naturales” (Soto, 2020). Es por ello, que como nota metodológica se recuperan las tierras forestales que permanecen, más no se considera un valor estándar de emisión.

3.B2. Tierras de cultivo

El siguiente subapartado se realizó a través de la siguiente fórmula:

$$3.B2 = \sum Sub\ 3.B2a + 3.B2b$$

A partir de los datos de “Uso de Suelo y Vegetación” (INEGI, 2018), se realizó la clasificación del apartado de “Tierras de Cultivo” a través de las categorías de “agricultura de

³ Los valores de absorción aparecen en el IMECyGEI de Pachuca de Soto con valores negativos.

riego, anual y semipermanente”, “agricultura de temporal anual y permanente”, “agricultura de temporal permanente“ y “agricultura de temporal semipermanente”.

- Generalidades del apartado 3B2

- Una hectárea de uso de maíz, anualmente *absorbe* 12 toneladas de CO₂ = 32.88 kg de CO₂ diarios. Mientras que en el proceso de producción en una hectárea al día se están *emitiendo* 27.39 kg de CO₂.
- Una hectárea de cebada, anualmente *absorbe* 1 toneladas de CO₂ = 2.74 kg CO₂ diarios. Mientras que en el proceso de producción en una hectárea al día se están *emitiendo* 21.92 kg de CO₂.
- Una hectárea de alfalfa (forrajera, verde) *absorbe* 3 toneladas anuales de CO₂ = 8.22 kg de CO₂. Mientras que en el proceso de producción en una hectárea al día se están *emitiendo* 4.11 kg de CO₂.

Para este apartado se realizó un valor estándar de los 3 cultivos predominantes de 3 las zonas metropolitanas. Los tipos de cultivo son: maíz, cebada y alfalfa. Una vez identificados las cantidades de CO₂ emitidas por cada cultivo al día, se realizó la sumatoria dando un total de 53.42 kg de CO₂ por una hectárea de cultivo.

Como nota metodológica, recuperando las cantidades de absorción, las emisiones totales serían a través de la fórmula:

$$ET = \left(\sum_e eM + eC + eA \right) - \left(\sum_a aM + aC + aA \right)$$

Dónde:

ET = Emisiones totales

aM = Absorción de Maíz

eM = Emisiones de Maíz

aC = Absorción de Cebada

eC = Emisiones de Cebada

aA = Absorción de Alfalfa

eA = Emisiones de Alfalfa

$$ET = \left(\sum_e 27.39 + 21.92 + 4.11 \right) - \left(\sum_a 32.88 + 2.74 + 8.22 \right)$$

Es decir, se tiene una Emisión Total de 9.58 kg de CO₂ por hectárea de cultivo al día.

3.B2a. Tierras de cultivo que permanecen como tal (5,750 hectáreas)

Se realiza una estandarización con el promedio de emisiones del total de los cultivos en su proceso de producción, con ello se obtuvo un promedio de emisiones totales de 9.58 kg de CO₂ emitidos al día por una hectárea. Es decir, por el total de hectáreas se tiene una emisión de 20,106.03 kg de CO₂ al día.

3.B2b. Tierras convertidas a tierras de cultivo

Resumen de los resultados: Apartado 3.B2

A partir de los datos presentados para el apartado 3B2 el total de emisiones se concentra en “Tierras de cultivo que permanecen como tal”, ya que, de acuerdo a los registros oficiales de INEGI (2018) no hay tierras convertidas a tierras de cultivo.

3.B3. Praderas

El siguiente subapartado se realizó a través de la siguiente fórmula:

$$3.B3 = \sum \text{Sub } 3.B3a + 3.B3b$$

A partir de los datos de “Uso de Suelo y Vegetación” (INEGI, 2018), se realizó la clasificación del apartado de “Praderas” a través de las categorías “matorrales”, “pastizales” y “vegetación secundaria arbustiva de matorral crasicaule”.

- Generalidades del apartado 3B3
 - Una hectárea de pastizales, anualmente *absorbe* 1.5 de toneladas de CO₂ = 4.11 kg de CO₂ diarios.

3.B3a. Praderas que permanecen como tal (1,540 hectáreas)

Nota:

Todos los apartados del inventario recuperan las emisiones de CO₂; sin embargo, para el caso de praderas solo se consideran la capacidad de absorción, por lo que se maneja un valor estándar como nota metodológica, pero no se considera como valor para el inventario. De acuerdo a la metodología de SEMARNAT e INECC (2017), como en los inventarios de Uso de Suelo no se puede tener un valor estimado de emisión, los valores de absorción se restan al valor total de emisiones en el apartado “3B Tierras”.

3.B3b. Tierras convertidas en praderas

Resumen de los resultados: Apartado 3.B3

A partir de los resultados en el inventario se determinó que no hay emisiones de CO₂ para el caso del apartado 3B3, ya que, como en el caso del apartado 3B1 y de acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) (2001), las tierras forestales (en este caso praderas) solo tienen emisiones por aspectos de deforestación, entendida como “la pérdida de bosques y selvas debido al impacto de actividades humanas o causas naturales” (Soto, 2020). Es por ello, que como nota metodológica se recuperan las praderas y tierras forestales que permanecen, más no se considera un valor estándar de emisión.

3.B4. Humedales

El siguiente subapartado se realizó a través de la siguiente fórmula:

$$3.B4 = \sum \text{Sub } 3.B4a + 3.B4b$$

A partir de los datos de “Uso de Suelo y Vegetación” (INEGI, 2018), se realizó la clasificación del apartado de “Humedales” a través de las categorías “cuerpos de agua” y “tular”.

- Generalidades del apartado 3B4
 - Una hectárea de humedales, anualmente *absorbe* 20 toneladas de CO₂ = 54.79 kg de CO₂ diarios.

Nota:

Todos los apartados del inventario recuperan las emisiones de CO₂; sin embargo, para el caso de humedales solo se consideran la capacidad de absorción, por lo que se maneja un valor estándar como nota metodológica, pero no se considera como valor para el inventario. De acuerdo a la metodología de SEMARNAT e INECC (2017), como en los inventarios de Uso de Suelo no se puede tener un valor estimado de emisión, los valores de absorción se restan al valor total de emisiones en el apartado “3B Tierras”.

3.B4a. Humedales que permanecen como tal

3.B4b. Tierras convertidas en humedales

3.B5. Asentamientos

El siguiente subapartado se realizó a través de la siguiente fórmula:

$$3.B5 = \sum \text{Sub } 3.B5a + 3.B5b$$

Para el apartado de “Asentamientos” se recuperó en un primer momento el número de viviendas por hectárea⁴ (25 viviendas); a partir de ello se retomó en un segundo momento el consumo de kW/h por hogar, lo que dio un total de 4.58 kg de CO₂. En este sentido, por una hectárea se tiene una emisión total de 114.5 kg de CO₂, emitidos por el consumo energético.

*Consumo mínimo por vivienda = 10 kW/h por día.

* 1kw/h = 0.458 kg de CO₂.

3.B5a. Asentamientos que permanecen como tal (3,356 hectáreas)

⁴ Para determinar el promedio de viviendas por hectárea se recurrió a la “Actualización del Programa Municipal de Desarrollo Urbano de Pachuca de Soto 2020-2021” (IMIP, 2022). Aquí se recuperó que la Densidad Poblacional = H1/70/1.25 (implica los valores admitidos de construcción por vivienda en número de plantas). H1 (habitacional/valor promedio): 100 habitantes/hectárea = 25 viviendas/1 hectárea (recuperando un promedio de 4 habitantes por vivienda).

Considerando el valor estándar de emisiones de CO₂ por hectárea, se tiene que, en el caso de Mineral de la Reforma, por el total de hectáreas que son 3,356, hay una emisión total de 384,262 kg de CO₂ al día.

3.B5b. Tierras convertidas en asentamientos

Resumen de los resultados: Apartado 3.B5

Gráfico e interpretación

3.B6. Otras tierras

El siguiente subapartado se realizó a través de la siguiente fórmula:

$$3.B1 = \sum \text{Sub } 3.B6a + 3.B6b$$

A partir de los datos de “Uso de Suelo y Vegetación” (INEGI, 2018), se realizó la clasificación del apartado de “Otras tierras” se recuperaron las categorías “Desprovisto de vegetación” y “Sin vegetación aparente”.

- Generalidades del apartado 3B6
 - Una hectárea de tierras que no cuentan con vegetación, anualmente *emiten* 1 toneladas de CO₂ = 2.74 kg de CO₂ diarios.

3.B6a. Otras tierras que permanecen como tal (19 hectáreas)

Se tiene que por el total de hectáreas hay una emisión de 52.06 kg de CO₂ al día.

3.B6b. Tierras convertidas en otras tierras

Resumen de los resultados: Apartado 3.B

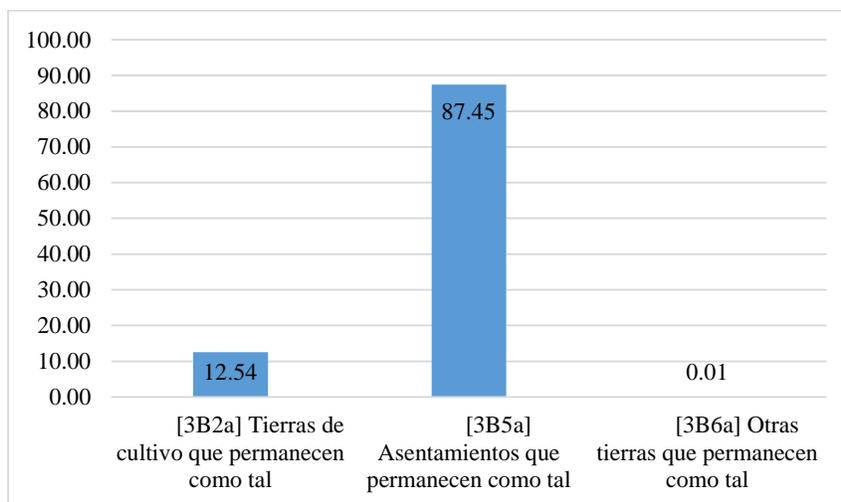
De acuerdo con la metodología empleada en la fuente 3.B Tierras, éstas tienen la capacidad de emisión, así como de absorción, por lo que se realizan los gráficos 13 y 14 en donde se representan los resultados de acuerdo al uso de tierra.

A partir de ello se puede recuperar que es la subfuente de usos de tierra de asentamientos la que tiene mayor cantidad de emisión, representando el 87.45 por ciento del total de las emisiones. Por otro lado, el uso de suelo, por tierras forestales, son aquellas que tiene más capacidad de absorción, las cuales representan el 60.23 por ciento del total de las capacidades de absorción.

Considerando ambos aspectos, se puede concluir que el uso de suelo por tierras forestales y praderas representa una importante oportunidad para equilibrar los niveles de CO₂ y, por

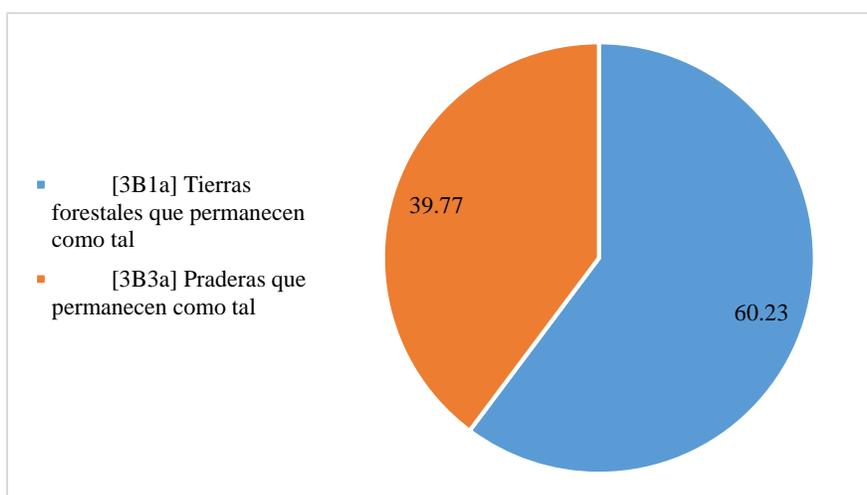
ende, como una medida de mitigación ante el fenómeno del cambio climático; teniendo en cuenta que su capacidad de absorción puede aumentar si se aumenta su reproducción.

Gráfico 13. Distribución porcentual de las emisiones anuales de CO₂ (toneladas) por usos de la tierra, Mineral de la Reforma 2023



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del IMECyGEI, Mineral de la Reforma, 2023.

Gráfico 14. Distribución porcentual de las absorciones anuales de CO₂ (toneladas) por usos de la tierra, Mineral de la Reforma 2023



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del IMECyGEI, Mineral de la Reforma, 2023.

3.C Fuentes agregadas y fuentes de emisión no. CO₂ de la tierra

El siguiente apartadogasoli se realizó a través de la siguiente fórmula:

*Sub= Subapartado/Subcategorización

$$3.C = \sum Sub 3.C1 + 3.C2 + 3.C3 + 3.C4 + 3.C5 + 3.C6 + 3.C7$$

3.C1. Emisiones de GEI por quemado de biomasa

El siguiente subapartado se realizó a través de la siguiente fórmula:

$$3.C1 = \sum Sub\ 3.C1a + 3.C1b + 3.C1c$$

De acuerdo con la Comisión Nacional Forestal (2023), se obtuvo el registro de incendios forestales para el año 2022. En el municipio de Mineral de la Reforma se registraron 4 incendios forestales que afectaron un promedio de 38 hectáreas con vegetación tipo matorral.

Fuente:

Comisión Nacional Forestal. (2023). *Sistema de Predicción de Peligro de Incendios Forestales*. CONAFOR. <http://forestales.ujed.mx/incendios2/index.php>

3.C1a. Emisiones de quemado de biomasa en tierras forestales

3.C1b. Emisiones de quemado de biomasa en tierras cultivo

3.C1c. Emisiones de quemado de biomasa en tierras praderas (38 hectáreas)

Considerando que el porcentaje de CO₂ emitido por la quema de matorrales, según Montero, et.al (2020), es igual a un coeficiente de transformación de biomasa en CO₂ y se obtiene multiplicando la biomasa por hectárea por el porcentaje de carbono por especie o género para obtener el carbono total por hectárea; primero se obtuvo la media de 49.99 (carbono) de las principales especies de arbustos y matorrales.

Por otro lado, se tiene que una hectárea de matorral puede contener alrededor de 5,000 (máx.) kilogramos de biomasa (variando según el tipo de matorral presente). Es decir, por una hectárea quemada de matorral, se están emitiendo 249,950 kg de CO₂/Ha. Por lo que por el total de hectáreas quemadas en Mineral de la Reforma se obtiene una emisión final de 9,498,100 kg de CO₂ al año.

$$Emisiones\ de\ quemado\ de\ biomasa: 5,000 \times 49.99 = * 38 (ha)$$

Fuente:

Montero, G., López, C., Ruiz, R., López, E., Onrubia, R., & Pasalodos, M. (2020). Producción de biomasa y fijación de carbono por los matorrales españoles y por el horizonte orgánico superficial de los suelos forestales. *Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación*. https://www.mapa.gob.es/es/desarrollo-rural/publicaciones/publicaciones-de-desarrollo-rural/librobiomasadigital_tcm30-538563.pdf

3.C2. Encalado

3.C3. Aplicación de urea

3.C4. Emisiones directas de los N2O de los suelos gestionados

3.C5. Emisiones indirectas de los N2O de los suelos gestionados

3.C6. Emisiones indirectas de los N2O de la gestión del estiércol

3.C7. Cultivo del arroz

3.D Otros

El siguiente apartado se realizó a través de la siguiente fórmula:

*Sub= Subapartado/Subcategorización

$$3.D = \sum Sub\ 3.D1 + 3.D2$$

3.D1. Productos de madera recolectada

3.D2. Otros

Apartado 4. Residuos

4.A Eliminación de residuos sólidos

El siguiente apartado se realizó a través de la siguiente fórmula:

*Sub= Subapartado/Subcategorización

$$4.A = \sum Sub\ 4.A1 + 4.A2 + 4.A3$$

Nota:

La medición de compuestos y gases de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) se fundamenta bajo la regulación de los artículos 7 y 8 de “La Ley General del Cambio Climático”, los cuales refieren a que cada municipio tiene la facultad de establecer, regular e instrumentar las acciones para la mitigación y adaptación al cambio climático.

4.A1. Sitios gestionados de eliminación de residuos (rellenos sanitarios) (1 unidad metropolitana)

Para este subapartado se utilizó la “Metodología para el cálculo de emisiones de gases efecto invernadero generadas por residuos sólidos urbanos en sitios de disposición final” en la fase III anaeróbica. No obstante, las emisiones totales anuales de compuestos y gases se dividirán entre residuos sólidos urbanos (para los cuales se medirá el CH₄ y N₂O), aguas residuales, más la quema de basura de manera clandestina y el tratamiento biológico (INECC, 2020b).

*Se tiene un promedio de 147.59 toneladas diarios de RSU en la ciudad de Mineral de la Reforma (INEGI, 2021).

METANO CH₄

En el caso del tratamiento del primer método biológico de los RSU, para calcular las emisiones directas de metano, deberá aplicarse la ecuación:

$$\text{Emisiones de CH}_4 = \sum_i (M_i * EF_{\text{CH}_4,i}) * 10^{-3} - R$$

Donde:

Emisiones de CH₄ = Total de las emisiones de metano durante el año de reporte (toneladas).

M_i = Masa de los residuos orgánicos sometidos al tratamiento biológico i, (toneladas).

EF_{CH₄} = Factor de emisión del tratamiento biológico i (g de metano/kg de residuos orgánicos tratados).

(INECC, 2020b, p. 9).

Es decir:

$$\text{Emisiones de CH}_4 = \sum_i (147.59 * 2) * 10^{-3} = 0.29518 * 365 (\text{días}) * 5.3\%$$

Si se tiene un promedio de 147.59 RSU toneladas al día (promedio de residuos) x 2 (factor de emisión de tratamiento biológico) = 295.18 x 10⁻³ = 0.29518 toneladas por día, multiplicando por los 365 días del año = 107.4707 toneladas de CH₄ anuales. Se incrementa el 5.3% de tasa de crecimiento de media anual, ya que estos datos son del año 2021 (se considera la tasa por un año ya que el crecimiento es por año vencido), lo que da un total de 113.450 toneladas anuales de CH₄.

Es decir, al día se tiene una emisión de 0.31082 toneladas de CH₄ por el total de toneladas diarias de RSU o lo que es igual a 310.82454 kg de CH₄ al día.

ÓXIDO NITROSO N₂O

En el caso del tratamiento del primer método biológico de los RSU, para calcular las emisiones directas de óxido nitroso, deberá aplicarse la ecuación:

$$\text{Emisiones de N}_2\text{O} = \sum_i (M_i * EF_{\text{N}_2\text{O},i}) * 10^{-3}$$

Donde:

Emisiones de N₂O = Total de las emisiones de óxido nitroso durante el año de reporte (toneladas).

M_i = Masa de los residuos orgánicos sometidos al tratamiento biológico i (toneladas).

EFN₂O = Factor de emisión del tratamiento biológico i (g de óxido nitroso /kg de residuos orgánicos tratados).

(INECC, 2020b, p. 10).

Es decir:

$$\text{Emisiones de N}_2\text{O} = \sum_i (147.59 * 1) * 10^{-3} = 0.14759 * 365 (\text{días}) * 5.3\%$$

Tomando en consideración que se tiene un promedio de 147.59 toneladas (promedio de residuos) x 1 (factor de emisión de tratamiento biológico) = 147.59 x 10⁻³ = 0.14759 multiplicando por los 365 días del año = 53.87035 toneladas de N₂O anuales. Se incrementa el 5.3% de tasa de crecimiento de media anual, ya que estos datos son del año 2021 (se considera la tasa por un año ya que el crecimiento es por año vencido), lo que da un total de 56.7254 toneladas anuales de N₂O.

Es decir, al día se tiene una emisión de 0.15541 toneladas de N₂O por el total de toneladas diarias de RSU o lo que es igual a 155.41227 kg de N₂O al día.

METANO

En el caso del tratamiento del segundo método biológico de los RSU (disposición final), para calcular las emisiones directas de metano se retoma los valores de la constante de descomposición (K_j) por categoría de residuos j (entidad federativa) y se aplica la ecuación:

$$\text{Emisiones de CH}_{4T} = \left[\sum_j \text{CH}_{4\text{generado}j,T} - R_T \right] * (1 - \text{OX}_T)$$

Donde:

Emisiones de CH₄ = Masa de metano emitido durante el año T (toneladas).

T = Año de reporte.

j = Categorías de residuos orgánicos definidas como: comida, jardinería, madera y paja, papel, pañales, textiles.

CH₄ generado j,T = Masa de metano generado a partir del material en descomposición por cada categoría j de residuos en el año T (toneladas).

R_T = Masa de metano recuperado durante el año T (toneladas).

OX_T = Factor de oxidación durante el año T (adimensional).

(INECC, 2020b, pp. 11-12).

Se retoma la estandarización del relleno sanitario de “El Huixmí” (considerando que también sirve como relleno para el municipio de Mineral de la Reforma) para reconocer la masa de

metano emitido por las categorías de residuos; para lo cual, se retomó una medida aproximada de tamaño de 189,359.46 m². Posterior a ello, se recuperaron los valores de la constante de descomposición de las categorías de residuos, así como su distribución por porcentaje de residuos; los valores se muestran en la Tabla 10.

Tabla 9. Valores de la constante de descomposición (k_j) por categoría de residuos j y porcentaje de RSU por categoría

	K_1 Comida	K_2 Jardín	K_3 Papel	K_4 Madera y paja	K_5 Textiles	K_6 Pañales
<i>Hidalgo</i>	0.160	0.075	0.032	0.016	0.032	0.160
<i>Porcentaje de residuos</i>	28.6%	4.17%	8.78%	0.47%	8.26%	31.69%

Fuente: Elaboración propia con base en los datos del INECC (2020b, p.20) y Presidencia Municipal, Pachuca de Soto (2018, p.20).

Total de CH₄ por categoría

- K_1 Comida: De la categoría se calcula el cuarto término de la proporción de metano⁵, que es igual a 457,819.648 toneladas de CH₄, este valor se multiplica por 0.717 (factor de emisión de metano (gm) por m³ de RSU en su proceso de descomposición) que es igual a 328,256.688 kg de CH₄, lo que es igual a 328.256 toneladas de CH₄ anualmente.
- K_2 Jardín: De la categoría se calcula el cuarto término de la proporción de metano, que es igual a 66,752.025 toneladas de CH₄, este valor se multiplica por 0.3 (factor de emisión de metano (gm) por m³ de RSU en su proceso de descomposición) que es igual a 20,025.607 kg de CH₄, lo que es igual a 20.025 toneladas de CH₄ anualmente.
- K_3 Papel: De la categoría se calcula el cuarto término de la proporción de metano, que es igual a 140,547.43 toneladas de CH₄, este valor se multiplica por 0.5 (factor de emisión de metano (gm) por m³ de RSU en su proceso de descomposición) que es igual a 70,273.715 kg de CH₄, lo que es igual a 70.273 toneladas de CH₄ anualmente.
- K_4 Madera y paja: De la categoría se calcula el cuarto término de la proporción de metano, que es igual a 7,523.609 toneladas de CH₄, este valor se multiplica por 0.5 (factor de emisión de metano (gm) por m³ de RSU en su proceso de descomposición) que es igual a 3,761.804 kg de CH₄, lo que es igual a 3.761 toneladas de CH₄ anualmente.
- K_5 Textiles: De la categoría se calcula el cuarto término de la proporción de metano, que es igual a 132,223.437 toneladas de CH₄, este valor se multiplica por 0.03 (factor de emisión de metano (gm) por m³ de RSU en su proceso de descomposición) que es igual a 3,966.703 kg de CH₄, lo que es igual a 3.966 toneladas de CH₄ anualmente.
- K_6 Pañales: De la categoría se calcula el cuarto término de la proporción de metano, que es igual a 507,283.379 toneladas de CH₄, este valor se multiplica por 0.03 (factor

⁵ El total aproximado de metano por RSU es de 1,600,768 m³ tomando en consideración la largo x ancho x alto de las celdas del relleno sanitario de “El Huixmí”.

de emisión de metano (gm) por m³ de RSU en su proceso de descomposición) que es igual a 15,218.501 kg de CH₄, lo que es igual a 15.218 toneladas de CH₄ anualmente.

Tabla 10. Totales de CH₄ en kg y toneladas por categoría

Total de CH ₄ en m ³ RSU	Categoría	Porcentaje de Residuos	Proporción de metano	Factor de emisión	Kg de CH ₄	Toneladas CH ₄ (año)	Valor C. descomposición	CH ₄ generado j,T
1,600,768	<i>K₁ Comida</i>	28.6	457819.648	0.717	328256.688	328.257	0.16	52.52107
	<i>K₂ Jardín</i>	4.17	66752.0256	0.3	20025.608	20.026	0.075	1.50192058
	<i>K₃ Papel</i>	8.78	140547.4304	0.5	70273.715	70.274	0.032	2.24875889
	<i>K₄ Madera y paja</i>	0.47	7523.6096	0.5	3761.805	3.762	0.016	0.06018888
	<i>K₅ Textiles</i>	8.26	132223.4368	0.03	3966.703	3.967	0.032	0.1269345
	<i>K₆ Pañales</i>	31.69	507283.3792	0.03	15218.501	15.219	0.16	2.43496022
							Total toneladas (año)	58.894
							Total kg (año)	58893.83
							Total kg (día)	161.35

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con la Tabla 11, al final se hace la sumatoria de todas emisiones por cada categoría y se divide entre el número de días del año. Se tomará como valor estándar de “disposición final” para todos los municipios. El valor estándar aplica ya que los municipios de dicha zona ocupan el mismo relleno sanitario de “El Huixmí”.

Siguiendo con la formula general, el Factor de oxidación en este caso es 0, por lo que, se tendría un total de **161.35** kg de CH₄ al día por disposición final.

Nota:

*** El total de CH₄ de la fase III anaeróbica sería igual a la suma de CH₄ del primer método biológico y del segundo método biológico (disposición final) con estandarización de “El Huixmí”. También aplica con N₂O, por lo que el valor varía de acuerdo al municipio. ***

Es decir, hay una emisión en Mineral de la Reforma de **472.17** kg de CH₄ al día.

Fuente:

INECC. (2020b). *Metodología para el cálculo de emisiones de gases efecto invernadero generadas por residuos sólidos urbanos en sitios de disposición final*. INECC. <https://www.gob.mx/inecc/documentos/metodologia-para-el-calculo-de-emisiones-de-gases-de-efecto-invernadero-generado-por-residuos-solidos-urbanos-en-sitios-de-disposicion-final-243273>

INEGI. (2021). *Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Demarcaciones Territoriales de la Ciudad de México 2020*. INEGI. <https://www.inegi.org.mx/programas/cngmd/2021/#Tabulados>

Presidencia Municipal Pachuca de Soto. (2018). *Programa Municipal para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos Sólidos Urbanos del Municipio de Pachuca de Soto*. Presidencia Municipal Pachuca de Soto.

4.A2. Sitios no controlados de eliminación de residuos (vertedero clandestino)

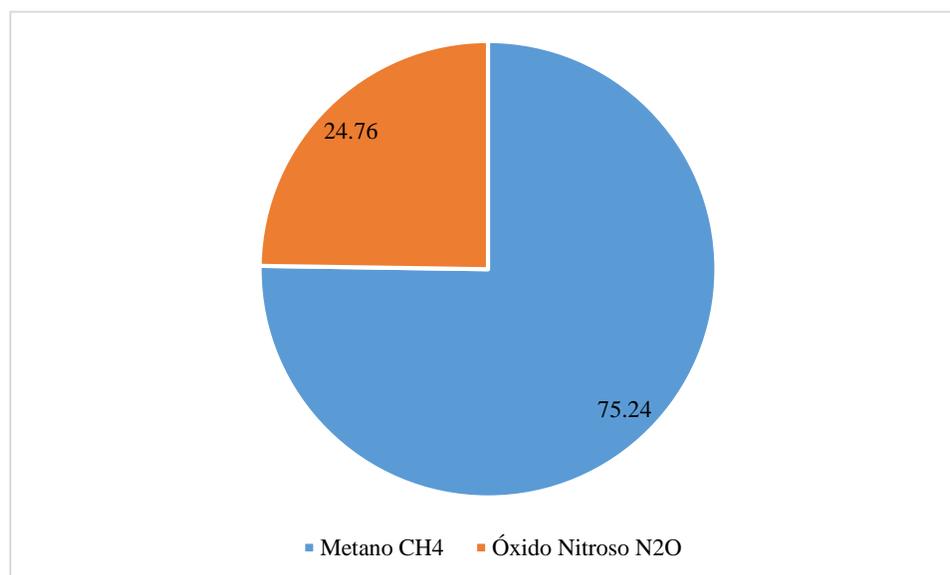
Q

4.A3. Tiraderos a cielo abierto para eliminación de residuos ()

Resumen de los resultados: Apartado 4.A

Para la fuente “4.A Eliminación de residuos sólidos”, de acuerdo al INECC (2020b), las mediciones de sus gases y compuestos se llevan a cabo a través de la medición de CH₄ y N₂O. En este tenor, el gas que representa más emisiones es el Metano con el 75.24 por ciento de total de los gases (ver Gráfico 15).

Gráfico 15. Distribución porcentual de total de CyGEI (CH₄ y N₂O) anuales (toneladas) del apartado 4.A Sitios gestionados de eliminación de residuos (rellenos sanitarios) en Mineral de la Reforma, 2023



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del IMECyGEI, Mineral de la Reforma, 2023.

4.B Tratamiento biológico de los residuos sólidos

4.C Incineración y quema a cielo abierto de residuos

El siguiente apartado se realizó a través de la siguiente fórmula:

*Sub= Subapartado/Subcategorización

$$4. C = \sum Sub 4. C1 + 4. C2$$

4.C1. Incineración de residuos peligrosos industriales y biológico infeccioso

4.C2. Quema a cielo abierto de residuos sólidos

Resumen de los resultados: Apartado 4.C

Gráfico e interpretación

4.D Tratamiento y eliminación de aguas residuales

El siguiente apartado se realizó a través de la siguiente fórmula:

*Sub= Subapartado/Subcategorización

$$4. D = \sum Sub 4. D1 + 4. D2$$

De acuerdo con el IPCC (2006):

las aguas residuales pueden ser una fuente de metano (CH₄) cuando se las trata o elimina en medio anaeróbico. También pueden ser una fuente de emisiones de óxido nitroso (N₂O). Las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) procedentes de las aguas residuales no se consideran en las Directrices del IPCC porque son de origen biogénico y no deben incluirse en el total nacional de emisiones (p. 6.6).

Emisiones de Metano CH₄

De acuerdo con el INECC (2006), las emisiones dependen de la cantidad de desechos orgánicos generados y de un factor de emisión que caracteriza la proporción en la que estos desechos generan CH₄.

El método de Nivel 1 aplica valores por defecto para el factor de emisión y para los parámetros de la actividad. Este método se considera de buena práctica para los países con escasa disponibilidad de datos (INECC, 2006, p. 6.9).

$$TOW = P * BOD * 0.001 * I * 365$$

Donde:

- TOW = total de materia orgánica en las aguas residuales del año del inventario, kg. de BOD/año
- P = población del país en el año del inventario, (personas)
- BOD = BOD per cápita específico del país en el año del inventario, g/persona/día⁶
- 0,001 = conversión de gramos de BOD a kilogramos de BOD
- I = factor de corrección para BOD industrial adicional eliminado en las cloacas (si es recolectado el valor por defecto es 1,25, si no es recolectado el valor por defecto es 1,00.)

$$TOW = 202,749 * 40 * 0.001 * 1 * 365 = 2,960,135.4 \text{ kg de CH}_4/\text{al año}$$

Emissiones de Óxido Nitroso N₂O

Las emisiones de óxido nitroso (N₂O) pueden producirse como emisiones directas provenientes de las plantas de tratamiento o como emisiones indirectas provenientes de las aguas residuales después de la eliminación de los efluentes en vías fluviales, lagos o en el mar (INECC, 2006, P.6.27).

$$\text{Emisión de N}_2\text{O} = N_{EFLUENTE} * EF_{EFLUENTE} * 44/28$$

Donde:

- Emisiones de N₂O = emisiones de N₂O durante el año del inventario, kg. de N₂O/año
- N EFLUENTE = nitrógeno en el efluente eliminado en medios acuáticos, kg. de N/año
- EF EFLUENTE = factor de emisión para las emisiones de N₂O provenientes de la eliminación en aguas servidas, kg. de N₂O/kg. de N
- El factor 44/28 corresponde a la conversión de kg. de N₂O-N en kg. de N₂O

No obstante, debido a la disposición final de aguas residuales y para las mediciones, se retomaron los gases y compuestos de: CO₂, CH₄ y N₂O (González, 2016). Considerando que las aguas residuales del municipio de Pachuca no tienen ningún tratamiento y las tratadoras que se encuentran en su polígono no están en funcionamiento, se recupera que la mayor proporción de aguas se distribuyen para el riego del sector agrícola.

Las tierras de cultivo en el municipio de Mineral de la Reforma son 5,750 hectáreas, dentro de las cuales predomina el cultivo de: alfalfa, maíz, y cebada. Por otro lado, de acuerdo con el CONAGUA (2023) y su localizador REDPA de aguas nacionales, zonas federales y descargas de aguas residuales, se descargan al redor de 2,861,000 litros de aguas residuales al año del municipio; de las cuales, gran parte de estas se utilizan para el cultivo.

⁶ Ver valores de BOD estimados para las aguas residuales domésticas por regiones y países seleccionados (INEEC, 2006, p. 6.14).

Considerando lo mencionado en González (2016), 1 m² de aguas residuales para riego emiten 77.5 mg de CO₂, 0.517 mg de CH₄ y 0.343 mg de N₂O (p. 4). En gramos, las cantidades serían: 0.0775 gm de CO₂, 0.000517 gm de CH₄ y 0.000343 gm de N₂O, diariamente⁷.

Para poder realizar las mediciones, el total de hectáreas se convirtieron a m² (x10,000), lo que da igual a 57,500,000 m², con ello se puede multiplicar por el factor de emisión, lo que da como resultado:

CO₂ = 4,456.250 kg al día

CH₄ = 29.728 kg al día

N₂O = 19.723 kg al día

Fuente:

Comisión Nacional de Agua. (2023). *Localizador REDPA de aguas nacionales, zonas federales y descargas de aguas residuales*. SEGOB. <https://sigagis.conagua.gob.mx/locrepda20/>

González, B. (2016). Emisiones de CO₂, CH₄ y N₂O asociadas al riego con agua residual en el Valle del Mezquital, Hidalgo Universidad Nacional Autónoma de México. https://repositorio.unam.mx/contenidos?c=b7z5RW&d=true&q=*&i=1&v=1&t=search_0&as=0

INECC. (2006). Tratamiento y eliminación de aguas residuales. INECC. https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/5_Volume5/V5_6_Ch6_Wastewater.pdf

4.D1. Municipales

4.D2. Industriales

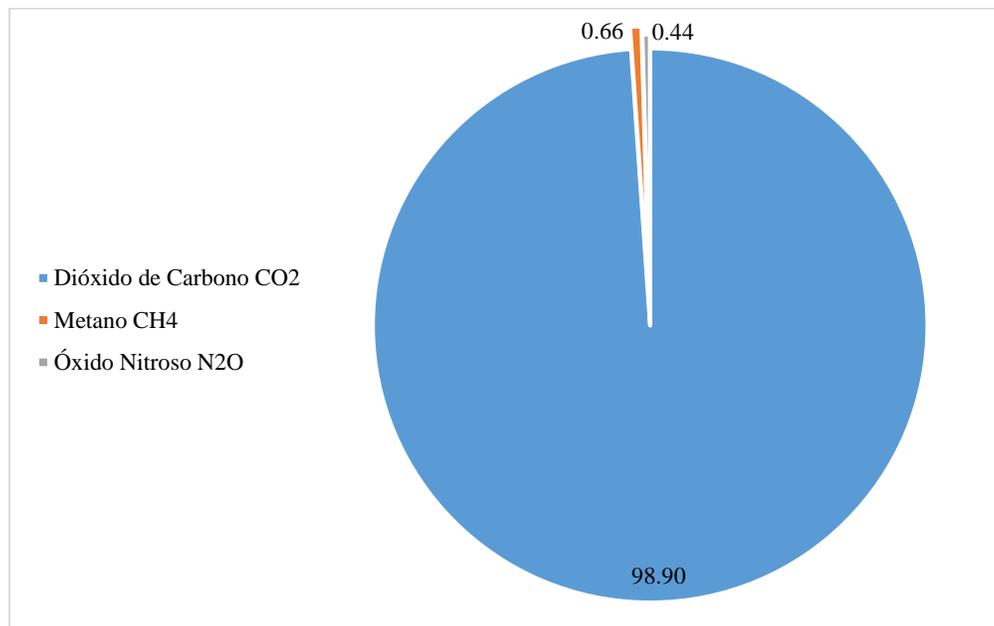
Resumen de los resultados: Apartado 4.D

Considerando la metodología INECC (2006), las emisiones de CO₂ para la categoría de residuos del apartado 4.D Tratamiento y eliminación de aguas residuales solo se consideran los gases CH₄ y N₂O; sin embargo, como se consideró la disposición final del agua para tierras de cultivo se cuantifican los gases de CO₂, CH₄ y N₂O.

⁷ Para evaluar la variación entre las cámaras y los sitios de muestreo dentro de cada parcela, se utilizó un modelo de ante-dependencia de me orden 2 y se aplicó al promedio de todas las mediciones realizadas el mismo día en cada cámara (González, 2016, p. 58).

La distribución porcentual de los gases se observa en el Gráfico 16, con el cual se puede concluir que es el CO₂, el gas con mayor proporción del total.

Gráfico 16. Distribución porcentual del total de CyGEI (CO₂, CH₄ y N₂O) anuales (toneladas) del apartado 4.A Sitios gestionados de eliminación de residuos (rellenos sanitarios) en Mineral de la Reforma, 2023



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del IMECyGEI, Mineral de la Reforma, 2023.

4.E Otros

BIBLIOGRAFÍA

- Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. (2015). *Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente*. <https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/agenda/DOFs/148.pdf>
- Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. (2022). *Ley General del Cambio climático*. <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGCC.pdf>
- Comisión Nacional de Agua. (2023). *Localizador REDPA de aguas nacionales, zonas federales y descargas de aguas residuales*. SEGOB. <https://sigagis.conagua.gob.mx/locrepda20/>
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. (12 de julio de 2018). *Día Mexicano del Árbol*. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/conanp/articulos/dia-mexicano-del-arbol-165506#:~:text=Una%20hect%C3%A1rea%20de%20%C3%A1rboles%20puede,bi%C3%B3xido%20de%20carbono%20al%20a%C3%B1o>
- Comisión Nacional Forestal. (2023). *Sistema de Predicción de Peligro de Incendios Forestales*. CONAFOR. <http://forestales.ujed.mx/incendios2/index.php>
- Corporación Financiera Internacional. (2007). Guías sobre medio ambiente, salud y seguridad para la fabricación de vidrio. *Grupo del Banco Mundial*. <https://www.ifc.org/wps/wcm/connect/dafe1c8e-9469-4aa0-8023-a341beb767ed/0000199659ESes%2BGlass%2BManufacturing.pdf?MOD=AJPERES&CVID=nPtgRj4#:~:text=La%20producci%C3%B3n%20de%201%20kg,dolomita%20empleadas%20en%20la%20mezcla>
- Cotrina, J. (2021). La cara oculta y sucia de los hospitales: emiten tanto CO₂ como toda Rusia. *Sociedad*. <https://www.elperiodico.com/es/sociedad/20211121/cara-oculta-sucia-hospitales-emiten-gases-rusia-cambio-climatico-12835728>
- ENNOMOTIVE SL. (2023). *Producción de cemento: Cómo reducir las emisiones de CO₂*. ENNOMOTIVE SL. <https://www.ennomotive.com/es/produccion-de-cemento/>
- Fernández, L. (2015). *El papel de los óxidos de nitrógeno en el cambio climático. Efectos sobre la salud*. [Trabajo final de grado publicado]. Universidad Complutense de Madrid.
- Hidalglass S.A. de C.V. (2023). *Glassia*. <https://www.glassia.mx/es/company>
- Garg, A., Kazunari, K. & Pulles, T. (2006). Capítulo 1. Introducción. En S. Eggleston, L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara & K. Tanabe (Eds.), *Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, Vol. 2: Energía* (pp. 1-30). Intergovernmental Panel on Climate Change. <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/vol2.html>

- Gómez, C. M., Ivernón, A., Martínez, S., Moreno, K. A. & Solano, C. M. (2021). *Metodología para la transición de un proceso de confección de prendas de vestir tradicional a uno sostenible, mediante la adopción de textiles de fibras supra-recicladas. Caso: empresa de confección de jeans, Bogotá*. [Trabajo final de grado]. Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia. <https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/59241>
- González, B. (2016). Emisiones de CO₂, CH₄ y N₂O asociadas al riego con agua residual en el Valle del Mezquital, Hidalgo Universidad Nacional Autónoma de México. https://repositorio.unam.mx/contenidos?c=b7z5RW&d=true&q=:*.*&i=1&v=1&t=search_0&as=0
- Instituto Municipal de Investigación y Planeación. (2021). *Pachuca sustentable*. https://imip.pachuca.gob.mx/estudios/pachuca_sustentable.pdf
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. (2006). Tratamiento y eliminación de aguas residuales. INECC. https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/5_Volume5/V5_6_Ch6_Wastewater.pdf
- INECC. (2020a). Informe Nacional de la Calidad del Aire 2019, México. Ciudad de México: Coordinación General de Contaminación y Salud Ambiental, *Dirección de Investigación de Calidad del Aire y Contaminantes Climáticos*. Ciudad de México. Pp. 343.
- INECC. (2020b). *Metodología para el cálculo de emisiones de gases efecto invernadero generadas por residuos sólidos urbanos en sitios de disposición final*. INECC. <https://www.gob.mx/inecc/documentos/metodologia-para-el-calculo-de-emisiones-de-gases-de-efecto-invernadero-generado-por-residuos-solidos-urbanos-en-sitios-de-disposicion-final-243273>
- INECC. (2023a). *Ecovehículos*. Obtenido de Portal de Indicadores de Eficiencia Energética y Emisiones Vehiculares: <https://ecovehiculos.inecc.gob.mx/>
- INECC. (2023). *Sistema Nacional de Información de la Calidad del Aire*. <https://sinaica.inecc.gob.mx/>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2023). Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas. <https://www.inegi.org.mx/app/mapa/denue/default.aspx>
- Instituto para la Salud Geoambiental. (2022). *El dióxido de azufre SO₂*. <https://www.saludgeoambiental.org/dioxido-azufre-so2/>
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2006). *Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero*. <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/index.html>
- Instituto Municipal de Investigación y Planeación. (2022). *Actualización del Programa Municipal de Desarrollo Urbano de Pachuca de Soto, 2021*. IMIP, Ayuntamiento

Pachuca de Soto, Hidalgo.
<https://imip.pachuca.gob.mx/img/PROGRAMA%20DE%20DESARROLLO%20URBANO%20PACHUCA%20ULTIMO%20NOV%202022.pdf>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2018). *Uso de Suelo y Vegetación*.
<https://www.inegi.org.mx/temas/usosuelo/#Mapa>

INEGI. (2021). *Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Demarcaciones Territoriales de la Ciudad de México 2020*. INEGI.
<https://www.inegi.org.mx/programas/cngmd/2021/#Tabulados>

INEGI. (2023). Sistema de Consulta de Integración Territorial (SCITEL).
<https://www.inegi.org.mx/app/scitel/Default?ev=9>

Instituto Sindical de Trabajo, Ambiente y Salud. (2019). *Información para la prevención del uso el Formaldehído en el sector de transformación de la madera*.
<https://istas.net/sites/default/files/2019-04/GUI%CC%81A%20FORMALDEHIDO%20EN%20EL%20SECTOR%20DE%20LA%20MADERA.pdf>

Lubritec. (12 de marzo de 2023). *Reducción de la huella de carbono en la industria*.
<https://www.lubritec.com/reduccion-de-la-huella-de-carbono-en-la-industria/>

Madrid, M., García, Y., Cuadrado, J. & Blanco, M. J. (2022). Análisis de ciclo de vida en bloques de hormigón: comparación del impacto producido entre bloques tradicionales y con subproductos. En *Informes de la Construcción*, 74(566).
<https://doi.org/10.3989/ic.88125>

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (s.f.a). *Monóxido de Carbono*.
<https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/calidad-del-aire/salud/monoxido-carbono.aspx>

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (s.fb). *Partículas en suspensión*.
<https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/emisiones/prob-amb/particulas.aspx>

Montero, G., López, C., Ruiz, R., López, E., Onrubia, R., & Pasalodos, M. (2020). Producción de biomasa y fijación de carbono por los matorrales españoles y por el horizonte orgánico superficial de los suelos forestales. *Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación*.
https://www.mapa.gob.es/es/desarrollo-rural/publicaciones/publicaciones-de-desarrollo-rural/librobiomasadigital_tcm30-538563.pdf

Montiel, A. L. M. & Hernández, G. Y. (2010). Análisis del sector manufacturero, caso específico: subsector 327 industrias minerales no metálicas en el estado de Hidalgo. En *Revista Internacional La Nueva Gestión*, 2010, 5 (10). ISSN 1870205-8.

https://www.uaeh.edu.mx/investigacion/icea/LI_AdmOrga/Adri_Montiel/manufactura.pdf

Organización de las Naciones Unidas. (2016). Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible 2016. https://unstats.un.org/sdgs/report/2016/the%20sustainable%20development%20goals%20report%202016_spanish.pdf

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2001). Problemas claves del sector forestal. El cambio climático y los bosques. En *FAO, Situación de los bosques del mundo 2001*. <https://www.fao.org/3/y0900s/y0900s00.htm#TopOfPage>

Pinos, J. M., García, J. C., Peña, L. Y., Rendón, J. A., González, C. & Tristán, F. (2012). Impactos y regulaciones ambientales del estiércol generado por los sistemas ganaderos de algunos países de América. *Agrociencia*, 46(4), 359-370. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952012000400004&lng=es&tlng=es

Presidencia Municipal de Pachuca de Soto. (2016). *Instituto Municipal de Investigación y Planeación*. <https://www.pachuca.gob.mx/portal/instituto-municipal-de-investigacion-y-planeacion/>

Presidencia Municipal Pachuca de Soto. (2018). *Programa Municipal para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos Sólidos Urbanos del Municipio de Pachuca de Soto*. Presidencia Municipal Pachuca de Soto.

Reyes, L. (2021). *¿Cómo calcular el CO2 a partir del consumo?: Diésel vs. Gasolina vs. GLP vs. GNC vs. electricidad*. Autonoción.com. <https://www.autonocion.com/calcular-el-co2-a-partir-del-consumo/#:~:text=El%20GLP%20contiene%20un%2082,por%20cada%20litro%20de%20GLP>

Sánchez, J. M. y Alcantara, A. R. (2009). Compuestos orgánicos volátiles en el medio ambiente. *Monografías de la Real Academia Nacional de Farmacia*.

Secretaría de Energía. (2015). *Prospectiva de Gas Natural y Gas L.P. 2015 – 2019*. Secretaría de Energía. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/116104/Factores_de_Conversi_n-Gas_Natural.pdf

Secretaría de Energía & Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía. (2019). *Consumo de electricidad de edificios no residenciales en México: la importancia del sector de servicios*. SENER, CONUEE. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/455552/cuaderno3nvo ciclo_2.pdf

Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2022). Descripción de las obras *pavimentación con concreto asfáltico del camino E.C. (Tenzompa - Nueva colonia) -*

- Las latas, tramo y subtramo del km 0+000 al km 7+470.493". Manifestación de Impacto Ambiental.* Pp. 13-35.
https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgiraDocs/documentos/jal/estudios/2021/14JA_2021UD020.pdf
- Segui, P. (s.f.) *Impacto medioambiente del papel; consumo y problemas de fabricación.*
<https://ovacen.com/impacto-medioambiental-papel/>
- SEMARNAT & INECC. (2017). *Enfoques Metodológicos para la modelación económica del sector Uso de Suelo, Cambio de Uso de Suelo y Silvicultura para la estimación de Gases de Efecto Invernadero.* SEMARNAT & INECC.
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/311042/Informe_enfoques_USCU_SS_DEARN_final.pdf
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2023). *Datos abiertos.*
<http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos.php>
- Sistema de Energía en México. (15 de mayo de 2023). *Factores de conversión usados en el Sector Energético.* https://sie.energia.gob.mx/docs/cat_unidades_es.pdf
- Sistema de Información Energética. (marzo de 2023). *Volumen de ventas internas de Petrolíferos por entidad federativa.* SIE.
<https://sie.energia.gob.mx/movil.do?action=cuadro&cvecua=PMXE2C03>
- SIE. (2021). Sistema de Información Energéticas. SENER.
<https://sie.energia.gob.mx/bdiController.do?action=cuadro&cvecua=IE7C02>
- Sistema Nacional de Información de la Calidad del Aire. (s.f). *Manual 1. Principios de Medición de la Calidad del Aire.* <https://sinaica.inecc.gob.mx/archivo/guias/1-%20Principios%20de%20Medici%C3%B3n%20de%20la%20Calidad%20del%20Aire.pdf>
- Steinfeld, H., Gerber, P., Wassenaar, T., Castel, M. & Haan, C. (2009). La larga sombra del ganado. Problemas ambientales y opciones. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. <https://www.fao.org/3/a0701s/a0701s.pdf>
- Soto, J. (2020). *Deforestación, ¿qué es?, ¿quién la causa y por qué debería importarnos?.* GREENPEACE. <https://www.greenpeace.org/mexico/blog/4074/deforestacion-que-es-quien-la-causa-y-por-que-deberia-importarnos/>
- Téllez, J., Rodríguez, A. y Fajardo, A. (2006). Contaminación por Monóxido de Carbono: un Problema de Salud Ambiental. *Revista de Salud Pública*, 8 (1), 108-117.
<https://www.redalyc.org/pdf/422/42280110.pdf>
- Trespalacios, J., Blanquicett, C., & Carrillo, P. (2018). *Gases y efecto invernadero. Instituto Desarrollo Sostenible.* Escuela Internacional de Doctorado, Universidad del Norte, SENA. Basilea–Suiza. https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/58179901/IDS_1.2_-_Gases_y_efecto_invernadero_-_V04-libre.pdf?1547481100=&response-content-

disposition=inline%3B+filename%3DGases_y_efecto_invernadero.pdf&Expires=1684433600&Signature=HQPZspSKxSgdnHjuM50zxTQ1PIE4O063Qx-d8Dy71gh14AdwSRJC-makUAUOVnwiKOAUsuBmuZay5mNysWZoezTwDoQistB63yD81YgYLc5ljREFP1fyVAnXKnn2iX14tTEhDJADmkVWyZ1Qxj-Bf08umQ8Dg10E3wG9WliVKN03upW5wO3SM5kxHc5rYWNrHyQrqZi1R0c4yYWVsQ9DeYZr~IYzJTqYXZEMeshz9WhzV7sfmQKZ91dGD3l63NxOzth2UYHaQTOyDTvSqgyeVf64CX72ie9ztjoD5-AzGBM8hodSt7lsllyR8sCIvqF35WE2Kj83YOejaxVOEMaPsg__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA