

SECRETARÍA DEL MEDIO AMBIENTE

Al margen Escudo del Estado de México.



CRITERIOS TÉCNICOS
PARA LA ELABORACIÓN
DEL
INVENTARIO DE EMISIONES
DE GASES DE EFECTO
INVERNADERO
PARA EL SECTOR:
RESIDUOS





GOBIERNO DEL
ESTADO DE MÉXICO



INSTITUTO ESTATAL DE
ENERGÍA Y CAMBIO CLIMÁTICO



EDOMEX
DECISIONES FIRMES, RESULTADOS FUERTES.

CRITERIOS TÉCNICOS PARA LA ELABORACIÓN DEL INVENTARIO DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO PARA EL SECTOR: RESIDUOS.

DIRECTORIO



Ing. Jorge Rescala Pérez
Secretario del Medio Ambiente

Mtra. María Elena López Barrera
Directora General del Instituto Estatal de Energía y Cambio Climático

Lic. María del Socorro López Coyuca
Subdirectora de Adaptación y Crecimiento Verde

Ing. María del Carmen Mendoza Pelcastre
Jefa del Departamento de Adaptación al Cambio Climático

Revisión y Edición:

Ing. María del Carmen Mendoza Pelcastre

Elaboró:

Ing. María del Carmen Mendoza Pelcastre

DR © 2022. Gobierno del Estado de México.
Secretaría del Medio Ambiente
Elaborado por: Instituto Estatal de Energía y Cambio Climático
Departamento de Adaptación al Cambio Climático
Avenida Doctor Gustavo Baz Prada No. 2160, Col. La Loma,
Tlalnepantla de Baz, Estado de México C.P. 54060
Teléfonos: 55 53 66 82 63 y 722 275 62 09
<http://ieecc.edomex.gob.mx/>
dg.ieecc@edomex.gob.mx
Año de elaboración: 2022.

INTRODUCCIÓN.



Los gases de efecto invernadero (GEI), son componentes gaseosos de la atmósfera, tanto naturales como antropogénicos, que absorben y emiten radiación infrarroja, entre ellos se encuentran: el dióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄) y el óxido nitroso (N₂O).

El dióxido de carbono (CO₂) es un gas incoloro y no inflamable, se encuentra en baja concentración en el aire que respiramos, generándose cuando se quema cualquier sustancia que contiene carbono. También es un producto de la respiración y de la fermentación.

El metano (CH₄) es un gas incoloro e inflamable el cual se genera por una amplia variedad de procesos naturales y antropogénicos, incluyendo descomposición de residuos sólidos, el tratamiento y la eliminación de las aguas residuales, la fermentación entérica sus lodos, siendo el ganado y la energía, este gas posee la capacidad de atrapar 28 veces más calor que el dióxido de carbono (CO₂).

El óxido nitroso (N₂O) es un gas incoloro y no inflamable; el sector ganadero, por excreta humana y la industria son las principales fuentes de emisión de óxido nitroso. En la atmósfera se comporta como un gas de efecto invernadero de gran potencia contribuye con un potencial de calentamiento equivalente a 265 veces mayor que el del CO₂.

Este ejercicio técnico se realiza en observancia a las obligaciones y atribuciones establecidas en los artículos 10 fracciones IV y X y 29 de la Ley de Cambio Climático del Estado de México; 29 y 34 del Reglamento de la Ley de Cambio Climático del Estado de México y 15 fracción VI del Reglamento Interno del Instituto Estatal de Energía y Cambio Climático.

Adicionalmente cabe precisar que el Estado de México se alinea a lo establecido por la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) por medio del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), ya que es la instancia que elabora los Inventarios Nacionales de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero (INEGYCEI), el cual rige que para cuantificar las emisiones se deben utilizar las Directrices del Grupo Intergubernamental de expertos sobre el cambio climático en su edición 2006 (IPCC 2006), con la finalidad de cumplir con los estándares internacionales más actualizados, así mismo se incorporan factores de emisión a emplear obtenidos en estudios acordes a las condiciones de México y también el Estado de México se alinea a emplear los potenciales de calentamiento global que utiliza el Gobierno Federal.^[1]

Para atender las necesidades de los 125 municipios de la Entidad en la identificación, y cuantificación de estos gases, los Criterios Técnicos para la elaboración del inventario de emisiones de gases efecto invernadero para el sector: Residuos, serán una herramienta que facilitará el buen uso y aplicación de la metodología 2006, de las Directrices del Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés), metodología ADOPTADA por el gobierno federal para la implementación del Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero.

Para el sector residuos las emisiones de Gases de Efecto Invernadero, provienen de la generación de los residuos sólidos, del resultado de actividades industriales, comerciales y antropogénicas, que, aunado al incremento de la población, trae como consecuencia una gran cantidad de residuos sólidos urbanos generados diariamente, además de un manejo inadecuado, la falta de servicios de recolección, la quema de residuos a cielo abierto, así como la falta de separación y aprovechamiento de los residuos, tiene consecuencias negativas al ambiente. Además de causar daños en la salud de la población. Una disposición inadecuada de los residuos sólidos urbanos causa daños al ambiente ya que si estos son quemados contribuyen con las emisiones de diferentes contaminantes que contribuyen con la mala calidad del aire, así mismo los residuos sólidos al ser depositados en sitios generan grandes cantidades de metano (CH₄) el cual es un contaminante de efecto invernadero.

Con respecto a la problemática con las aguas residuales, muchas de ellas provienen de las actividades domésticas, comerciales, de servicios, e industriales, que en algunos casos las descargas van directamente a ríos y lagos, además muchas de las aguas que se descargan al alcantarillado contienen residuos sólido, aceites, solventes, desengrasantes, etc. los cuales requieren de un tratamiento adecuado, desafortunadamente en el Estado de México, no todos los municipios cuentan con plantas de tratamiento de las aguas residuales y en algunas zonas industriales las descargas las realizan a ríos, y son muy pocas las industrias que cuentan con su planta de tratamiento.

En la Tabla 1, se muestra la estructura del Sector Residuos por categoría y sus respectivas subcategorías, con base a la metodología de las Directrices del Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés), versión 2006.

Tabla 1. Descripción de las Categorías y sus Subcategorías del sector Residuos.

Sector Residuos	Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI)		
	Dióxido de Carbono (CO ₂)	Metano (CH ₄)	Óxido Nitroso (N ₂ O)
Categorías y Subcategorías			
3.A.1 Residuos Sólidos Urbanos		+	
4B Tratamiento biológico de los residuos sólidos		+	+

[1] Fuente: SEMARNAT/INECC, "Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero 1990-2015 (INEGYCEI)" pp. 16 y 851.

4C Incineración y quema a cielo abierto de residuos	4C1 Incineración de residuos peligrosos industriales y biológico infeccioso	✚	✚	✚
	4C2 Quema a cielo abierto de residuos sólidos	✚	✚	
4D Tratamiento y eliminación de aguas residuales	4D1 Tratamiento y eliminación de aguas residuales municipales		✚	✚
	4D2 Tratamiento y eliminación de aguas residuales industriales		✚	

Fuente IPCC 2006, volumen 5 "Residuos".

CONTENIDO.



INTRODUCCIÓN.

CONTENIDO.

DESARROLLO DE LOS CRITERIOS TÉCNICOS.

CAPÍTULO 1.

1.1. LEGISLACIÓN.

CAPÍTULO 2.

2.1. CÁLCULO DE LAS EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO POR CATEGORÍA Y SUBCATEGORÍA.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

APÉNDICES.

APÉNDICE "A" LISTADO DE SIGLAS.

APÉNDICE "B" LISTADO DE ACRÓNIMOS.

APÉNDICE "C" LISTADO DE GASES DE EFECTO INVERNADERO.

APÉNDICE "D" UNIDADES DE EQUIVALENCIA.

APÉNDICE "E" POTENCIALES DE CALENTAMIENTO GLOBAL (PCG).

APÉNDICE "F" GLOSARIO DE DEFINICIONES.

DESARROLLO DE LOS CRITERIOS TÉCNICOS.



La Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Estado de México (SMAGEM) a través del Instituto Estatal de Energía y Cambio Climático (IEECC) generó los presentes Criterios Técnicos, con el objetivo de contribuir en las actividades de los servidores públicos municipales responsables de la elaboración del Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero, para el sector: Residuos.

Con base al artículo 8 fracción XII de la Ley General de Cambio Climático. Corresponde a las entidades federativas las siguientes atribuciones:

Elaborar e integrar, en colaboración con el INECC, la información de las categorías de fuentes emisoras de su jurisdicción, para su incorporación al Inventario Nacional de Emisiones y en su caso, integrar el inventario estatal de emisiones, conforme a los criterios e indicadores elaborados por la federación en la materia.

Con base al artículo 8 fracción XIII de la Ley de Cambio Climático del Estado de México. Corresponde a los Ayuntamientos el ejercicio de las atribuciones siguientes:

Elaborar e integrar la información de las categorías de fuentes emisoras de su jurisdicción, para su incorporación al Inventario.

Por lo que atendiendo a la Legislación Estatal, tanto las entidades federativas, así como los municipios, deben alinearse a lo establecido por el Gobierno Federal a través de la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) por medio del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), ya que es la instancia que elabora los Inventarios Nacionales de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero (INEGYCEI), el cual rige que para cuantificar las emisiones, se deben utilizar las Directrices del Grupo Intergubernamental de expertos sobre el cambio climático en su edición 2006 (IPCC 2006), con la finalidad de cumplir con los estándares internacionales más actualizados, así mismo se incorporan factores de emisión a emplear obtenidos en estudios acordes a las condiciones de México y también el Estado de México se alinea a emplear los potenciales de calentamiento global que utiliza el Gobierno Federal para reportar las emisiones en términos de dióxido de carbono equivalente.^[1]

Las Directrices del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático en su edición 2006 (IPCC 2006, por sus siglas en inglés), establece que el Sector: Residuos, comprende las siguientes categorías:

- ✚ (3A1) Residuos Sólidos Urbanos.
- ✚ (4B) Tratamiento biológico de los residuos sólidos.
- ✚ (4C) Incineración y quema a cielo abierto de residuos.
- ✚ (4D) Tratamiento y eliminación de aguas residuales.

Dentro de los principales fenómenos de origen sanitario y ecológico que se presentan en el estado, se originan los basureros a cielo abierto los cuales causan problemas: Ambientales; sanitarios; de seguridad pública; así como el posible impacto destructivo causado por los incendios principalmente en la temporada de estiaje; la proliferación de plagas; malos olores y transmisión de enfermedades por vía de insectos y roedores; contaminación debido a su dispersión por acción de las lluvias y/o del viento.

En el caso de los (vertederos basurales subterráneos), son obras que se utilizan para la disposición de residuos sólidos urbanos (RSU) y a su vez, no contaminar el medio ambiente; los problemas se repiten, contaminándose las napas de agua que son acumulaciones de agua subterránea ubicadas a diferentes alturas del subsuelo, por lo general se encuentran en profundidades relativamente pequeñas bajo el nivel del suelo, también se contamina la tierra y el aire por los conductos de venteo de gases tóxicos como; benceno, tolueno, dioxinas y no tóxicos como el metano.

A nivel nacional el Estado de México, al ser la Entidad Federativa más poblada ocupa el primer lugar en generación de RSU, con un promedio de 16,187 toneladas diarias de residuos sólidos urbanos y de manejo especial, actualmente en la entidad existen: 20 rellenos sanitarios; en donde disponen sus residuos 19 municipios y 49 sitios no controlados donde disponen sus residuos 47 municipios y otros 8 municipios más cuentan solo con sitios controlados de disposición de residuos sólidos urbanos. Es importante destacar que el concepto de residuos se define de manera oficial según la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR) como aquel material o producto cuyo propietario o poseedor desecha y que se encuentra en estado sólido o semisólido, o es un líquido o gas contenido en recipientes o depósitos y que puede ser susceptible de ser valorizado o requiere sujetarse a un tratamiento o disposición final conforme a lo dispuesto en la Ley en mención y demás ordenamientos que de ella deriven.

Los residuos sólidos se clasifican en tres grandes grupos: Residuos Sólidos Urbanos (RSU), Residuos de Manejo Especial (RME) y Residuos Peligrosos (RP).

Con respecto a las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), son instalaciones donde a las aguas residuales se les retiran los contaminantes, para hacer de ella un agua sin riesgos para la salud y/o al medio ambiente al disponerla en un cuerpo receptor natural ya sea al mar, ríos o lagos o para ser reusadas en otras actividades de

nuestra vida cotidiana con excepción del consumo humano. (no para ingerir o aseo personal). En las plantas de tratamiento se tienen un conjunto de operaciones y procesos unitarios de origen fisicoquímico o biológico, o combinación de ellos.

El tratamiento de las aguas residuales tiene varias etapas:

- ✚ Tratamiento Preliminar: Es el tratamiento donde se remueven los sólidos de gran tamaño y las arenas presentes en las aguas negras.
- ✚ Tratamiento Primario: Es el tratamiento donde se remueve una fracción los sólidos sedimentables y en suspensión por medios físicos y/o químicos. El Efluente del tratamiento primario suele tener una cantidad alta de materia orgánica y una Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) alta.
- ✚ Tratamiento Secundario: Es el tratamiento donde se transforma la materia orgánica biodegradable por la acción biológica en materia estable. Está principalmente diseñado a la eliminación de los sólidos en suspensión y de los compuestos orgánicos, en algunos casos se incluye desinfección en esta etapa.
- ✚ Tratamiento Terciario o avanzado: Son tratamientos adicionales, que siguen a los tratamientos secundarios convencionales, para la eliminación de nutrientes, compuestos tóxicos y excesos de materia orgánica o de sólidos en suspensión.

Para estimar las emisiones de este sector se requiere información de los residuos sólidos urbanos, la cantidad de residuos que son quemados a cielo abierto, así como la cantidad de residuos incinerados y las toneladas de los residuos orgánicos sometidos a tratamiento biológico. También es preciso contar con la información del caudal tratado y del tipo de tratamiento que llevan a cabo las plantas de tratamiento de aguas residuales ya sean municipales y/o industriales, además de contar con los datos de la población y del consumo per cápita de proteína en el tratamiento y descarga de aguas residuales.

CAPÍTULO 1.



1.1 . LEGISLACIÓN.

Preceptos legales de los ordenamientos en materia de cambio climático de orden federal y local, los cuales sustentan la fundamentación de los criterios técnicos para la elaboración del inventario de emisiones de gases de efecto invernadero para el sector: Residuos.

Tabla 4. Legislación Federal.

LEY GENERAL DE CAMBIO CLIMÁTICO.	
Artículo 1	La presente ley es de orden público, interés general y observancia en todo el territorio nacional y las zonas sobre las que la nación ejerce su soberanía y jurisdicción y establece disposiciones para enfrentar los efectos adversos del cambio climático. Es reglamentaria de las disposiciones de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos en materia de protección al ambiente, desarrollo sustentable, preservación y restauración del equilibrio ecológico.
Artículo 2	Esta ley tiene por objeto: <ol style="list-style-type: none"> I. Garantizar el derecho a un medio ambiente sano y establecer la concurrencia de facultades de la federación, las entidades federativas y los municipios en la elaboración y aplicación de políticas públicas para la adaptación al cambio climático y la mitigación de emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero; II. Regular las emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero para que México contribuya a lograr la estabilización de sus concentraciones en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropógenas peligrosas en el Sistema climático considerando, en su caso, lo previsto por el artículo 2° de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático y demás disposiciones derivadas de la misma;

	<p>III. Regular las acciones para la mitigación y adaptación al cambio climático;</p> <p>IV. Reducir la vulnerabilidad de la población y los ecosistemas del país frente a los efectos adversos del cambio climático, así como crear y fortalecer las capacidades nacionales de respuesta al fenómeno;</p> <p>V. Fomentar la educación, investigación, desarrollo y transferencia de tecnología e innovación y difusión en materia de adaptación y mitigación al cambio climático;</p> <p>VI. Establecer las bases para la concertación con la sociedad;</p> <p>VII. Promover la transición hacia una economía competitiva, sustentable, de bajas emisiones de carbono y resiliente a los fenómenos hidrometeorológicos extremos asociados al cambio climático, y</p> <p>VIII. Establecer las bases para que México contribuya al acuerdo al cumplimiento del Acuerdo de París, que tiene entre sus objetivos mantener el aumento de la temperatura media mundial por debajo de 2°C, con respecto a los niveles preindustriales, y proseguir con los esfuerzos para limitar ese aumento de la temperatura a 1.5 °C, con respecto a los niveles preindustriales, reconociendo que ello reduciría considerablemente los riesgos y los efectos del cambio climático.</p>
Artículo 5	<p>La federación, las entidades federativas y los municipios ejercerán sus atribuciones para la mitigación y adaptación al cambio climático, de conformidad con la distribución de competencias prevista en esta ley y en los demás ordenamientos legales aplicables.</p>
Artículo 6	<p>Las atribuciones que la presente ley otorga a la federación serán ejercidas por el Poder Ejecutivo federal a través de las dependencias y entidades que integran la administración pública federal centralizada y paraestatal, de conformidad con las facultades que les confiere esta ley, la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal, la Ley Federal de las Entidades Paraestatales y demás disposiciones jurídicas aplicables.</p>
Artículo 8	<p>Corresponde a las entidades federativas las siguientes atribuciones:</p> <ol style="list-style-type: none"> I. Formular, conducir y evaluar la política de la entidad federativa en materia de cambio climático en concordancia con la política nacional, II. Formular, regular, dirigir e instrumentar acciones de mitigación y adaptación al cambio climático, de acuerdo con la Estrategia Nacional y el Programa en las materias siguientes: <ol style="list-style-type: none"> a) Preservación, restauración, manejo y aprovechamiento sustentable de los ecosistemas y recursos hídricos de su competencia; b) Seguridad alimentaria; c) Agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y acuicultura; d) Educación; e) Infraestructura y transporte eficiente y sustentable; f) Ordenamiento territorial de los asentamientos humanos y desarrollo urbano de los centros de población en coordinación con sus municipios o delegaciones; g) Recursos naturales y protección al ambiente dentro de su competencia; h) Residuos de manejo especial; i) Protección civil, y j) Prevención y atención de enfermedades derivadas de los efectos del cambio climático; III. Incorporar en sus instrumentos de política ambiental, criterios de mitigación y adaptación al cambio climático; IV. Elaborar e instrumentar su programa en materia de cambio climático, promoviendo la participación social, escuchando y atendiendo a los sectores público, privado y sociedad en general; V. Establecer criterios y procedimientos para evaluar y vigilar el cumplimiento del programa estatal en la materia y establecer metas e indicadores de efectividad e impacto de las acciones de mitigación y adaptación que implementen; VI. Gestionar y administrar fondos locales para apoyar e implementar acciones en la materia;

	<p>VII. Celebrar convenios de coordinación con la federación, entidades federativas y los municipios, para la implementación de acciones para la mitigación y adaptación;</p> <p>VIII. Fomentar la investigación científica y tecnológica, el desarrollo, transferencia y despliegue de tecnologías, equipos y procesos para la mitigación y adaptación al cambio climático;</p> <p>IX. Desarrollar estrategias, programas y proyectos integrales de mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero para impulsar el transporte eficiente y sustentable, público y privado;</p> <p>X. Realizar campañas de educación e información para sensibilizar a la población sobre los efectos adversos del cambio climático;</p> <p>XI. Promover la participación corresponsable de la sociedad en la adaptación y mitigación, de conformidad con lo dispuesto en las leyes locales aplicables;</p> <p>XII. Elaborar e integrar, en colaboración con el INECC, la información de las categorías de fuentes emisoras de su jurisdicción, para su incorporación al Inventario Nacional de Emisiones y en su caso, integrar el inventario estatal de emisiones, conforme a los criterios e indicadores elaborados por la federación en la materia;</p> <p>XIII. Elaborar, publicar y actualizar el atlas estatal de riesgo, en coordinación con sus municipios o delegaciones, conforme a los criterios emitidos por la federación;</p> <p>XIV. Establecer las bases e instrumentos para promover el fortalecimiento de capacidades institucionales y sectoriales para enfrentar el cambio climático;</p> <p>XV. Diseñar y promover el establecimiento y aplicación de incentivos que promuevan la ejecución de acciones para el cumplimiento del objeto de la ley;</p> <p>XVI. Convenir con los sectores social y privado la realización de acciones e inversiones concertadas hacia el cumplimiento de su programa;</p> <p>XVII. Gestionar y administrar fondos estatales para apoyar e implementar las acciones en la materia;</p> <p>XVIII. Vigilar, en el ámbito de su competencia, el cumplimiento de esta ley y los demás ordenamientos que de ella se deriven, así como sancionar su incumplimiento, y</p> <p>XIX. Las demás que les señalen esta ley y otras disposiciones jurídicas aplicables.</p>
<p>Artículo 9</p>	<p>Corresponde a los municipios, las siguientes atribuciones:</p> <p>I. Formular, conducir y evaluar la política municipal en materia de cambio climático en concordancia con la política nacional y estatal;</p> <p>II. Formular e instrumentar políticas y acciones para enfrentar al cambio climático en congruencia con el Plan Nacional de Desarrollo, la Estrategia Nacional, el Programa, el Programa estatal en materia de Cambio Climático y con las leyes aplicables, en las siguientes materias:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Prestación del servicio de agua potable y saneamiento; b) Ordenamiento ecológico local y desarrollo urbano; c) Recursos naturales y protección al ambiente de su competencia; d) Protección civil; e) Manejo de residuos sólidos municipales; f) Transporte público de pasajeros eficiente y sustentable en su ámbito jurisdiccional; <p>III. Fomentar la investigación científica y tecnológica, el desarrollo, transferencia y despliegue de tecnologías, equipos y procesos para la mitigación y adaptación al cambio climático;</p> <p>IV. Desarrollar estrategias, programas y proyectos integrales de mitigación al cambio climático para impulsar el transporte eficiente y sustentable, público y privado;</p> <p>V. Realizar campañas de educación e información, en coordinación con el gobierno estatal y federal, para sensibilizar a la población sobre los efectos adversos del cambio climático;</p> <p>VI. Promover el fortalecimiento de capacidades institucionales y sectoriales para la mitigación y adaptación;</p> <p>VII. Participar en el diseño y aplicación de incentivos que promuevan acciones para el cumplimiento del objeto de la presente ley;</p>

	<p>VIII. Coadyuvar con las autoridades federales y estatales en la instrumentación de la Estrategia Nacional, el programa y el programa Estatal en la materia;</p> <p>IX. Gestionar y administrar recursos para ejecutar acciones de adaptación y mitigación ante el cambio climático;</p> <p>X. Elaborar e integrar, en colaboración con el INECC, la información de las categorías de Fuentes Emisoras que se originan en su territorio, para su incorporación al Inventario Nacional de Emisiones, conforme a los criterios e indicadores elaborados por la federación en la materia;</p> <p>XI. Vigilar y promover, en el ámbito de su competencia, el cumplimiento de esta ley, sus disposiciones reglamentarias y los demás ordenamientos que deriven de ella, y</p> <p>XII. Las demás que señale esta ley y las disposiciones jurídicas aplicables.</p> <p>Los municipios, con acuerdo de sus ayuntamientos podrán coordinarse y/o asociarse para una eficiente implementación de las disposiciones previstas en este artículo.</p>
--	---

Tabla 5. Legislación Estatal.

LEY DE CAMBIO CLIMÁTICO DEL ESTADO DE MÉXICO.	
Artículo 8	<p>Corresponde a los Ayuntamientos el ejercicio de las atribuciones siguientes:</p> <p>XIII. Elaborar e integrar la información de las categorías de fuentes emisoras de su jurisdicción, para su incorporación al Inventario;</p>
Artículo 10	<p>El instituto es un organismo público descentralizado, con personalidad jurídica y patrimonios propios, sectorizado a la Secretaría, que tiene por objeto promover el fortalecimiento de capacidades institucionales y sectoriales para enfrentar al cambio climático, mediante el desarrollo de investigación científica y tecnológica en materia de cambio climático, eficiencia energética y energías renovables, en el ámbito de competencia estatal y tendrá las siguientes atribuciones:</p> <p>III. Presentar apoyo científico y técnico a la Secretaría para el diseño y evaluación de la política estatal en materia de cambio climático, en la propuesta del PEACC y en la integración del inventario;</p> <p>IV. Promover y difundir criterios, metodologías y tecnologías en materia de cambio climático, eficiencia energética y energías renovables;</p> <p>XI. Apoyar a los ayuntamientos en la realización de campañas de educación e información sobre los efectos adversos del cambio climático, así como en el desarrollo de investigación científica y tecnológica relacionados con el cambio climático, la eficiencia energética y las energías renovables;</p>
Artículo 27	<p>El inventario es el instrumento que contiene la estimación de las emisiones antropógenas de gases de efecto invernadero regulados por la presente Ley, generados por las fuentes de competencia federal, estatal y municipal, así como la absorción por los sumideros, que se ubican dentro del territorio del Estado de México.</p>
Artículo 28	<p>Para la estimación de las emisiones del Inventario, la Secretaría, con el apoyo del Instituto y de los Ayuntamientos, obtendrá la información de las fuentes de competencia federal, estatal y municipal que se ubican dentro del territorio del Estado de México, de establecimientos o instalaciones, públicas o privadas, y de fuentes móviles, fijas o semifijas, ordenadas en los siguientes sectores:</p> <p>V. Desechos: Disposición final de residuos sólidos urbanos o su incineración y plantas de tratamiento de aguas residuales, domésticas e industriales.</p>
Artículo 29	<p>La Secretaría entregará al INECC los datos, documentos y registros relativos a las emisiones antropógenas generadas por las fuentes de competencia federal, estatal y municipal, así como la información relativa a la absorción por los sumideros, que se ubican dentro del territorio del Estado de México, para su inclusión en el Inventario Nacional, atendiendo a los formatos, metodologías y procedimientos emitidos por el Gobierno Federal, de conformidad con la Ley General.</p> <p>Asimismo, apoyará a los Ayuntamientos que lo soliciten en la integración de la información de las fuentes emisoras de su jurisdicción, para su inclusión en el Inventario, de conformidad con los formatos, metodologías y procedimientos que resulten aplicables.</p>

REGLAMENTO DE LA LEY DE CAMBIO CLIMÁTICO DEL ESTADO DE MÉXICO.	
Artículo 29	La integración del inventario deberá realizarse de conformidad con las directrices y metodologías que, para tal efecto, emita el INECC, las normas técnicas estatales aplicables o, en su caso, los informes metodológicos emitidos por el IPCC.
Artículo 34	La Secretaría apoyará a los ayuntamientos que lo soliciten, en la integración de la información de las categorías de fuentes emisoras de su jurisdicción, para su incorporación al Inventario. Para tal efecto emitirá los formatos, metodologías y procedimientos que faciliten la integración de la información correspondiente y brindará la orientación y asistencia técnica que le soliciten.
REGLAMENTO INTERNO DEL INSTITUTO ESTATAL DE ENERGÍA Y CAMBIO CLIMÁTICO.	
Corresponde a la Subdirección de Adaptación y Crecimiento Verde:	
VI. Apoyar y promover con los Municipios el desarrollo de mecanismos para la implementación y difusión de metodologías y tecnologías relacionadas con el cambio climático, la eficiencia energética y las energías renovables; ...	
MANUAL GENERAL DE ORGANIZACIÓN DEL INSTITUTO ESTATAL DE ENERGÍA Y CAMBIO CLIMÁTICO.	
VII. OBJETIVO Y FUNCIONES POR UNIDAD ADMINISTRATIVA. ...	
... SUBDIRECCIÓN DE ADAPTACIÓN Y CRECIMIENTO VERDE.	
<p>OBJETIVO: Promover, desarrollar, ejecutar estudios y proyectos de investigación científica y tecnológica, así como asesorar a los diferentes sectores del Estado de México, en materia de adaptación y vulnerabilidad a los efectos del cambio climático, y mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero, mediante esquemas de crecimiento verde, eficiencia energética y energías renovables.</p> <p>FUNCIONES:</p> <p>...- Asesorar a las autoridades municipales en la elaboración de sus inventarios de emisiones, como parte del Programa Municipal en Materia de Cambio Climático</p> <p>...DEPARTAMENTO DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO.</p> <p>OBJETIVO: Proporcionar a la Subdirección de Adaptación y Crecimiento Verde los elementos que permitan reducir la vulnerabilidad y el riesgo del Estado ante los efectos del cambio climático, para adaptarse ante los mismos y, con ello, facilitar la toma de decisiones en la materia.</p> <p>FUNCIONES: ...</p> <p>...- Proporcionar asesoría técnica a las personas servidoras públicas municipales sobre la elaboración de inventarios de emisiones.....</p> <ul style="list-style-type: none"> - Coordinar y mantener actualizados los Inventarios Estatales de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero y Contaminantes Criterio para los distintos sectores de emisión, aplicando las metodologías avaladas a nivel nacional e internacional. - Aplicar las metodologías avaladas internacionalmente para realizar el Cálculo de las Emisiones de Gases de Efecto Invernadero, en la elaboración del Inventario Estatal. - Coadyuvar en la obtención de la información de establecimientos o instalaciones públicas o privadas para los sectores: energía, procesos industriales AFOLU (Agricultura, silvicultura y otros usos de la Tierra) y desechos que se ubican dentro del Estado de México para la realización de los inventarios estatales de gases de efecto invernadero. 	

CAPÍTULO 2.



2.1. CÁLCULO DE LAS EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO POR CATEGORÍA Y SUBCATEGORÍA.

En este capítulo se describirá paso a paso como calcular las emisiones de Gases de Efecto Invernadero, para el sector: Residuos, considerando las Directrices del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático en su edición 2006 (IPCC 2006, por sus siglas en inglés), para categoría y subcategoría.

El sector: Residuos, comprende las siguientes 4 categorías:

- ✚ (3A1) Residuos Sólidos Urbanos.
- ✚ (4B) Tratamiento biológico de los residuos sólidos.
- ✚ (4C) Incineración y quema a cielo abierto de residuos.
- ✚ (4D) Tratamiento y eliminación de aguas residuales.

2.1.1. Metodología para calcular las emisiones de gases de efecto invernadero generadas por la Categoría (3A1) Residuos Sólidos Urbanos, en sitios de disposición final (SDF).

En el caso de la actividad de disposición de los residuos sólidos en Sitios de Disposición Final (SDF), para calcular las emisiones directas de metano deberán aplicarse las ecuaciones 1 a la 8: La cantidad de metano emitido durante el año desde el SDF, es resultado de la descomposición de la materia orgánica de los residuos depositados en el SDF, bajo condiciones anaeróbicas.

La composición de los residuos, en especial de la fracción orgánica, es uno de los factores que más influye en la generación de metano en un SDF. Las categorías de residuos orgánicos a considerar en esta metodología son: comida, jardinería, madera y paja, papel, pañales, y textiles. Una parte del metano generado se oxida en la cubierta del Sitio de Disposición Final (SDF), o puede recuperarse para obtener energía o quemarse en una antorcha. Por tanto, la cantidad de metano realmente emitido será inferior a la cantidad de metano generado.

Ecuación 1. Para estimar la cantidad de metano emitido.

Emisiones de CH_{4T} = [∑_j CH_{4generado j,T} - R_T] * (1- OX_T) Ecuación 1.

Donde:

- Emisiones de CH_{4T}** = Emisiones totales de metano (ton/año).
- ∑_j** = Suma.
- j** = Categorías de residuos orgánicos definidas como: comida, jardinería, madera y paja, papel, pañales, textiles.
- T** = Año de reporte.
- CH_{4generado j,T}** = Toneladas de metano generado a partir del material en descomposición por cada categoría j de residuo en el año T.
- R_T** = Toneladas de metano recuperado durante el año T.
- OX_T** = Factor de oxidación durante el año T (adimensional), ver tabla 1.

Si el metano recuperado se utiliza para generar energía, las emisiones resultantes deben declararse bajo el Sector Energía. Por el contrario, si el metano recuperado es quemado en antorcha, las emisiones resultantes son despreciables.

Tabla 1. Factor de Oxidación (OX) para los Sitios de Disposición Final (SDF).

Tipo de Sitio	Factor de Oxidación (OX) valores por defecto para los Sitios de Disposición Final (SDF)
DSF gestionados ^{1*} , no gestionados y no categorizados	0
Gestionado cubierto con material oxidante del metano ^{2*}	0.1
^{1*} Gestionado, pero no cubierto con material aireado. ^{2*} Ejemplos: suelos, abono orgánico (composta).	

Fuente: IPCC 2006, volumen 5 "Residuos".

El fundamento para el cálculo del metano generado en los SDF es la masa de carbono orgánico degradable disuelto CODDm, que se define como: la parte del carbono orgánico que es susceptible de degradación en condiciones anaeróbicas en los residuos dispuestos. El CODDm en el SDF se calcula a través de un modelo de descomposición de primer orden, como se muestra en la Ecuación 2, para cada categoría j de los residuos depositados en el año de reporte.

Ecuación 2. Descomposición de primer orden.

$$\text{Emisiones de CODD}_{mj} = \text{CODD}_{mj,0} * e^{-kj*t} \quad \dots \text{Ecuación 2.}$$

Donde:

- CODD_{mj}** = Toneladas de carbono orgánico degradable que se descompone en condiciones anaeróbicas en el Sitio de Disposición Final en el instante t.
- CODD_{mj,0}** = Toneladas del carbono orgánico degradable disuelto en el sitio de disposición final en el instante de t=0, cuando comienza la reacción.
- Kj** = Tasa constante de descomposición, para cada categoría de residuos j (años⁻¹).
- t** = Tiempo (años).

En la reacción de descomposición de primer orden, la cantidad de producto es siempre proporcional a la cantidad de reactivo. Por lo tanto, lo único pertinente a conocer es la masa total de material en descomposición que existe actualmente en el sitio. Esto significa que, si se conoce la cantidad de material en descomposición en el SDF al comienzo del año, conforme a este método de estimación, cada año puede considerarse como el año 1. Las emisiones de metano generado anaeróticamente dependen de la masa de carbono orgánico degradable disuelto descompuesto, por cada categoría de los residuos depositados en el año de reporte. Para determinar la cantidad de metano generada a partir del material susceptible de descomposición (CODD_m), se utilizará la Ecuación 3, que multiplica el carbono orgánico degradable disuelto descompuesto en el SDF, por la fracción volumétrica de metano en el biogás, y el cociente de los pesos moleculares metano/carbono.

Ecuación 3. Metano generado a partir del CODD_m en descomposición.

$$\text{CH}_4\text{generado}_{j,T} = \text{CODD}_m \text{ descompuesto}_{j,T} * F * 16/12 \quad \dots \text{Ecuación 3.}$$

Donde:

- CH₄generado_{j,T}** = Toneladas de metano generado a partir del material en descomposición por cada categoría j de residuos en el año de reporte T.
- CODD_m descompuesto_{j,T}** = Toneladas del carbono orgánico degradable disuelto descompuesto en el Sitio de Disposición final en el año de reporte T por la categoría de residuo j.
- F** = Fracción volumétrica del metano en el biogás generado, típicamente entre 0.5 y 0.55.
- 16/12** = Cociente de pesos moleculares del metano y el carbono (CH₄/C) adimensional.

En la mayoría de los Sitios de Disposición Final (SDF) se depositan los residuos a lo largo del año de manera cotidiana. Sin embargo, la generación de metano no ocurre de manera inmediata. La descomposición orgánica comienza por una etapa aerobia de algunas semanas, hasta que se agota el oxígeno presente en los residuos. Posteriormente, los residuos orgánicos experimentan una etapa de acidificación con producción de hidrogeno, que dura varios meses. Al término de la acidificación, hay un periodo de transición hacia condiciones neutras y, posteriormente, comienza la etapa de metanogénesis. Por lo tanto, es posible distinguir dos supuestos:

- No se dispone de información que demuestre cuándo comienza la generación de metano en el SDF, por lo cual se asume que la generación de metano comienza el 1° de enero del año siguiente al año en que sucede la disposición, y que el periodo de retardo en la descomposición anaerobia es de 6 meses en promedio.
- Sí se dispone de información que demuestre cuándo comienza la generación de metano en el SDF, asumiéndose que la generación de metano comienza en el mismo año en que ocurre la disposición; en este caso, el periodo de retardo es inferior a 6 meses en promedio.

En ambos supuestos, se deberán aplicar las ecuaciones 4 a 7, según corresponda.

Ecuación 4. CODD_m descompuesto durante el año T.

$$\text{CODD}_m \text{ descompuesto}_{j,T} = \text{CODD}_m \text{ de } c_{j,T} + \text{CODD}_m a_{j,T-1} * (1 - e^{-kj}) \quad \dots \text{Ecuación 4.}$$

Donde:

- CODD_m descompuesto_{j,T}** = Toneladas del carbono orgánico degradable disuelto descompuesto en el Sitio de Disposición Final, durante el año de reporte T por cada categoría de residuo j.

- CODDm dec_{j,T}** = CODDm dispuesto durante el año de reporte T que se ha descompuesto al término del año de reporte T por cada categoría de residuo j. (Toneladas).
- CODDma_{j,T-1}** = CODDm acumulado de la categoría de residuos j al final del año T-1 (Toneladas).
- K_j** = Tasa constante de descomposición para cada categoría de residuos j (año⁻¹) ver la Tabla 2.

Ecuación 5. CODDm restante al término del año de la disposición.

$$\text{CODDm rem}_{j,T} = \text{CODDmd}_{j,T} * [e^{-k_j * (13 - M) / 12}] \dots\dots \text{Ecuación 5.}$$

Donde:

- CODDm rem_{j,T}** = Toneladas del carbono orgánico degradable disuelto dispuesto, durante el año de reporte T que permanece, todavía, al término del año de reporte T.
- CODDmd_{j,T}** = CODDm dispuesto durante el año de reporte en (Toneladas).
- K_j** = Tasa constante de descomposición para cada categoría de residuos j (año⁻¹), ver la Tabla 2.
- M** = Mes que se impone el comienzo de la reacción, igual al tiempo de retardo promedio + 7 (mes).

Ecuación 6. CODDm descompuesto durante el año de la disposición.

$$\text{CODDm dec}_{j,T} = \text{CODDmd}_{j,T} * [1 - e^{-k_j * (13 - M) / 12}] \dots\dots \text{Ecuación 6.}$$

Donde:

- CODDm dem_{j,T}** = Toneladas del carbono orgánico degradable disuelto dispuesto, durante el año de reporte T que se ha descompuesto al término del año de reporte T.
- CODDmd_{j,T}** = CODDm dispuesto durante el año de reporte en (Toneladas).
- K_j** = Tasa constante de descomposición para cada categoría de residuos j (año⁻¹), ver la Tabla 2.
- M** = Mes que se impone el comienzo de la reacción, igual al tiempo de retardo promedio + 7 (mes).

Ecuación 7. CODDm acumulado al término del año T.

$$\text{CODDma}_{j,T} = \text{CODDm rem}_{j,T} + (\text{CODDma}_{j,T-1}) e^{-k_j} \dots\dots \text{Ecuación 7.}$$

Donde:

- CODDma_{j,T}** = Toneladas del carbono orgánico degradable acumulado por la categoría de residuos j al final del año del reporte T.
- CODDm rem_{j,T}** = CODDm dispuesto durante el año de reporte T que permanece todavía al término del año de reporte T en (Toneladas).
- CODDma_{j,T-1}** = CODDm acumulado por la categoría de residuos j al final del año de reporte T-1 en (Toneladas).
- K_j** = Tasa constante de descomposición para cada categoría de residuos j (año⁻¹), ver la Tabla 2.

Tabla 2. Valores de la tasa constante de descomposición (k_j) por categoría de residuos j para el Estado de México.

Entidad Federativa	K1: Comida	K2: Jardín	K3: Papel	K4: Madera y Paja	K5: Textiles	K6: Pañales
Estado de México	0.1600	0.075	0.032	0.0160	0.320	0.160

Fuente: Ludwing V, 2009, Landfill Methane Outreach Program. Manual del Usuario Modelo Mexicano del Biogás. Versión 2.0 Agencia para la Protección del Ambiente (U.S.EPA) Washington.

Las ecuaciones 6 y 7 se combinan con las expresiones necesarias para calcular el carbono orgánico acumulado al final del año de reporte T y el descompuesto durante el año de reporte T.

La velocidad de descomposición anaerobia de la materia orgánica es afectada por varios factores. Entre los más importantes destacan la humedad del Sitio de Disposición Final y la temperatura ambiente. Ambas condiciones

combinadas con la facilidad de degradación anaerobia de las diferentes fracciones orgánicas resultan en velocidades de descomposición diferentes.

Las toneladas del carbono orgánico degradable disuelto depositado en el Sitio de Disposición Final se calculan mediante la ecuación 8.

Ecuación 8. CODD degradable disuelto depositado en el Sitio de Disposición Final

$$CODD_{md,j,T} = W_T * (C_j/100) * COD_j * COD_f * FCM \dots\dots \text{Ecuación 8.}$$

Donde:

- CODD_{md,j,T}** = Toneladas del carbono orgánico degradable disuelto depositado en el Sitio de Disposición Final correspondiente a la categoría de residuos.
- W_T** = Toneladas de residuos dispuestos en el año de reporte T.
- C_j** = Composición de los residuos dispuestos por categoría j. Las categorías a considerar son: residuos de comida, jardinería, papel, madera y paja, textiles y pañales (adimensional).
- COD_j** = Fracción de carbono orgánico degradable contenido en la categoría de residuos j. ver tabla 3. (adimensional).
- COD_f** = Fracción de carbono orgánico degradable que se descompone bajo condiciones anaeróbicas cuyo valor por defecto es igual a 0.5 (adimensional).
- FCM** = Factor de corrección del metano para la descomposición aeróbica durante el año de reporte ver tabla 4. (adimensional).

Nota: El cálculo de las toneladas de residuos dispuestos (W_T), deberá realizarse utilizando los registros anuales de disposición a partir del año de apertura del Sitio de Disposición Final. En caso de no contar con registros históricos anteriores el valor de W_T, podrá estimarse a partir de la generación per cápita de la población atendida.

Tabla 3. Fracción de carbono orgánico degradable (COD) por categoría de residuos j.

Categoría de residuos	Comida	Jardín	Papel	Madera y Paja	Textiles	Pañales
COD	0.15	0.2	0.4	0.43	0.24	0.24

Fuente: IPCC 2006, volumen 5 "Residuos".

Tabla 4. Factores de corrección del metano (FCM) de acuerdo con las características del Sitio de Disposición Final (SDF).

Tipo de Sitio	Características	Valor FCM
Sitio Gestionado-anaeróbico	Implementa la colocación controlada de los residuos, (es decir, los residuos son dirigidos a áreas específicas de deposición donde se ejerce un cierto control sobre la recuperación informal de residuos reciclables y la quema de basuras) e incluye por lo menos uno de los siguientes elementos: 1) material protector de la cubierta; 2) compactación mecánica o 3) nivelación de los residuos.	1.0
Sitio Gestionado semi- aeróbico	Garantiza la ubicación controlada de los residuos e incluye todas las estructuras siguientes para introducir aire en las capas de residuos: 1) material de la cubierta permeable; 2) sistema de drenaje para la lixiviación; 3) estanque de regulación y 4) sistemas de ventilación de gases.	0.5

Sitio No Gestionado profundo y/o capa freática elevada	No cumple con los criterios de los sitios gestionados, cuenta con una profundidad mayor o igual a 5 metros y/o una capa freática elevada cercana al nivel del suelo. La última situación corresponde al llenado con residuos en un terreno con aguas fluviales, como un estanque, río o humedal.	0.8
Sitio No gestionado poco profundo	Sitio que no cumple con los criterios de un sitio gestionado y que tiene una profundidad menor a 5 metros.	0.4

Fuente: IPCC 2006, volumen 5 "Residuos".

2.1.2. Metodología para calcular las emisiones de gases de efecto invernadero generadas por la Categoría (4B) provenientes del tratamiento Biológico de los residuos sólidos.

En el caso del tratamiento biológico, para calcular las emisiones directas de Metano (CH₄), deberá aplicarse la Ecuación 9.

Ecuación 9. Emisiones de metano provenientes del tratamiento biológico de los residuos sólidos.

$$\text{Emisiones de Metano CH}_4 = (M_i * FE_{CH_4,i}) + (M_i * FE_{CH_4,i}) * 10^{-3} - R \text{ Ecuación 9.}$$

Donde:

Emisiones de metano CH₄ = Emisiones totales de metano en (ton/año).

M_i = Dato de actividad, para este caso representan las toneladas al año de residuos orgánicos sometidos a tratamiento biológico i.

i = Tipo de tratamiento biológico utilizado: composta o biodigestión anaeróbica.

FE_(CH₄) = Factor de emisión por defecto de metano con base al tipo de tratamiento biológico, expresado para este caso en (g de metano/kg de residuos orgánico tratado). Ver la tabla 5.

R = Cantidad total de metano recuperado en el año en Toneladas.

Al declarar las emisiones de metano provenientes de la digestión anaeróbica, la cantidad de gas recuperado debe restarse de la cantidad de metano generado. Sin embargo, las emisiones provenientes de la quema del gas recuperado no son significativas, pues las emisiones de dióxido de carbono son de origen biogénico y las emisiones de metano y óxido nitroso son muy pequeñas, de modo que la buena práctica no exige su estimación.

Para calcular las emisiones de Óxido nitroso (N₂O) procedentes del tratamiento biológico, deberá aplicarse la Ecuación 10.

Ecuación 10. Emisiones de óxido nitroso provenientes del tratamiento Biológico de los residuos sólidos.

$$\text{Emisiones de N}_2\text{O} = (M_i * FE_{N_2O,i}) + (M_i * FE_{N_2O,i}) * 10^{-3} \text{ Ecuación 10.}$$

Donde:

Emisiones de N₂O = Emisiones totales de Óxido Nitroso en (ton/año).

M = Dato de actividad, para este caso representan las toneladas al año de residuos orgánicos sometidos a tratamiento biológico.

i = Tipo de tratamiento biológico utilizado: composta o biodigestión anaeróbica.

FE_(N₂O) = Factor de emisión por defecto del Óxido Nitroso con base al tipo de tratamiento biológico, expresado para este caso en [g de Óxido nitroso/kg de residuos orgánico tratado]. Ver la tabla 5.

Tabla 5. Factores de emisión por defecto para las emisiones de metano y óxido nitroso procedentes del tratamiento biológico de los residuos.

Tipo de tratamiento biológico	Factores de emisión de CH ₄ (g de CH ₄ /kg de residuo tratados)		Factores de emisión de N ₂ O (g de N ₂ O /kg de residuo tratados)		Comentarios
	Sobre la base de peso en seco	Sobre la base de peso húmedo	Sobre la base de peso en seco	Sobre la base de peso húmedo	
Preparación de abono orgánico (composta)	10 (0.08 - 20)	4 (0.03 - 8)	0.6 (0.2 -1.6)	0.3 (0.06 -0.6)	Hipótesis sobre los residuos tratados: 25-50% COD en la materia seca, 2% N en la materia seca, contenido de humedad 60%. Los factores de emisión para los residuos secos se estiman a partir de los factores para residuos húmedos bajo hipótesis de un 60% de humedad en los residuos húmedos.
Digestión anaeróbica en las instalaciones de biogás)	2 (0 -20)	1 (0 - 8)	Se supone insignificante	Se supone insignificante	

Fuente: IPCC 2006, volumen 5 "Residuos".

2.1.3. Metodología para calcular las emisiones de gases de efecto invernadero generadas por la Categoría (4C) provenientes de la Incineración y quema a cielo abierto de residuos sólidos.

Con base a las Directrices del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático en su edición 2006 (IPCC 2006, por sus siglas en inglés), esta categoría establece las siguientes 2 subcategorías:

- ✚ 4C1 Incineración de residuos peligrosos industriales y biológico infeccioso.
- ✚ 4C2 Quema a cielo abierto de residuos sólidos.

Para la categoría 4C1 Incineración de residuos peligrosos industriales (RPI) y biológico infeccioso (RPBI).

Para obtener las emisiones de dióxido de carbono (CO₂), nos debemos basar en la estimación de la cantidad de residuos en peso húmedo que fueron incinerados, tomando en cuenta el contenido de materia seca, el del carbono total, la fracción de carbono fósil y el factor de oxidación. Para obtener el total de residuos incinerados se debe emplear la ecuación 11.

Ecuación 11. Emisiones de dióxido de carbono para la Incineración de residuos peligrosos industriales (RPI) y biológico infeccioso.

$$\text{Emisiones de CO}_2 = \sum_i (\text{SW}_i * \text{dm}_i * \text{CF}_i * \text{FCF}_i * \text{OF}_i) * (44/12) \dots\dots\dots \text{Ecuación 11.}$$

Donde:

- Emisiones de CO₂** = Emisiones de Dióxido de Carbono durante el año del inventario en Gigagramos al año (Gg/año).
- ∑_i** = Suma.
- SW_i** = Cantidad total de residuos sólidos de tipo i en peso húmedo incinerados en Gigagramos al año (Gg/año).
- dm_i** = Contenido de materia seca en los residuos incinerados (fracción).
- CF_i** = Fracción de carbono en la materia seca (contenido de carbono total).
- FCF_i** = Fracción de carbono fósil en el carbono total.
- OF_i** = Factor de oxidación (fracción), el valor por defecto a emplear es: 100%.

- 44/12** = Factor de conversión de C en CO₂.
- i** = Tipo de residuo incinerado.

En el contexto de la incineración, los parámetros que se deben considerar para obtener los factores de emisión para el dióxido de carbono (CO₂), tanto para la Incineración de residuos peligrosos industriales (RPI) y biológico infeccioso (RPBI), se muestran en la tabla 6.

Tabla 6. Datos por defecto para obtener los Factores de emisión para las emisiones de dióxido de carbono (CO₂), para la Incineración de residuos peligrosos industriales (RPI) y biológico infeccioso (RPBI).

Parámetros	Incineración de residuos peligrosos industriales (RPI)	Incineración de residuos peligrosos biológico infeccioso (RPBI)
Contenido de materia seca (dm _i)	65%	No disponible
Fracción de carbono en materia seca (CF)	40%	No Disponible
Fracción de carbono fósil en el carbono total (FCF)	25%	80%

Fuente: IPCC 2006, volumen 5 "Residuos".

Para la categoría 4C2 Quema a cielo abierto de residuos sólidos.

Para obtener las emisiones de dióxido de carbono (CO₂), nos debemos basar en la estimación de la cantidad de residuos en peso húmedo que fueron quemados a cielo abierto, tomando en cuenta el contenido de materia seca, el de carbono total, la fracción de carbono fósil y el factor de oxidación.

El método basado en la composición de residuos sólidos urbanos se expresa en la ecuación 12, y se emplea para el caso de los residuos quemados a cielo abierto en las viviendas.

Ecuación 12. Emisiones de dióxido de carbono para la quema a cielo abierto de residuos sólidos.

$$\text{Emisiones de CO}_2 = \text{MSW} * \sum_j (\text{WF}_j * \text{dm}_j * \text{CF}_j * \text{FCF}_j * \text{OF}_j) * (44/12) \dots\dots \text{Ecuación 12.}$$

- Emisiones de CO₂** = Emisiones de Dióxido de Carbono durante el año del inventario en [Gigagramos al año] (Gg/año).
- MSW** = Cantidad total de residuos sólidos municipales en peso húmedo quemados por la quema a cielo abierto en las viviendas en: Gigagramos al año (Gg/año).
- \sum_j = Suma.
- WF_j** = Fracción de material de residuos sólidos de tipo j en los residuos sólidos urbanos en peso húmedo.
- dm_j** = Contenido de materia seca en los residuos quemados por la quema a cielo abierto en las viviendas (fracción).
- CF_j** = Fracción de carbono en la materia seca (contenido de carbono total).
- FCF_j** = Fracción de carbono fósil en el carbono total del componente j.
- OF_j** = Factor de oxidación (fracción), el valor por defecto a emplear es: 58% para la quema de residuos a cielo abierto en las viviendas.
- 44/12** = Factor de conversión de C en CO₂ con la sumatoria de la fracción de material de residuos sólidos de tipo j en los residuos sólidos urbanos en peso húmedo igual a 1.
- j** = Componente de los residuos sólidos urbanos por la quema a cielo abierto en las viviendas de: papel/cartón, textiles, residuos se alimentos, madera, residuos de jardín, plásticos, entre otros.

Obtención de los Factores de Emisión para la quema a cielo abierto de los residuos sólidos urbanos en las viviendas.

Para la quema a cielo abierto de los residuos sólidos urbanos en las viviendas, los parámetros que se deben considerar para obtener los factores de emisión para el dióxido de carbono (CO₂), se muestran en la tabla 7.

Tabla 7. Datos por defecto para obtener los Factores de emisión para las emisiones de dióxido de carbono (CO₂), por la quema a cielo abierto de los residuos sólidos urbanos en las viviendas.

Parámetros	Papel, cartón, productos de papel	Textiles	Plástico	Vidrio	Metal	Basura orgánica ^a	Otro tipo de basura ^b
Contenido de materia seca (dm _j)	90%	80%	100%	100%	100%	40%	62%
Fracción de carbono en materia seca (CF _j)	44%	30%	755	0%	0%	38%	545
Fracción de carbono fósil en el carbono total (FCF _j)	1%	20%	100%	0%	0%	0%	15%
a) En su proceso de descomposición natural, estos residuos generan una mezcla gaseosa conocida como biogás, que debe quemarse con base al Acuerdo internacional para el control de emisiones de gases de efecto invernadero. b) Incluye residuos finos, material de demolición, hules y pañales desechables, entre otros.							

Fuente: IPCC 2006, volumen 5 "Residuos".

2.1.4. Metodología para calcular las emisiones de gases de efecto invernadero generadas por la Categoría (4D) provenientes del Tratamiento y eliminación de aguas residuales.

Para esta categoría de las Directrices del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático en su edición 2006 (IPCC 2006, por sus siglas en inglés), establece las siguientes 2 subcategorías:

- ✚ 4D1 Tratamiento y eliminación de aguas residuales municipales.
- ✚ 4D2 Tratamiento y eliminación de aguas residuales industriales.

Para la categoría 4D1 Tratamiento y eliminación de aguas residuales municipales.

Para obtener las emisiones de metano (CH₄), se debe considerar el carbono orgánico degradable que se encuentra presente en las aguas residuales y el factor de emisión sobre el metano que generan estos residuos, para ello se emplean diferentes sistemas y/o vías de tratamiento de aguas residuales para las distintas zonas económicas, sin embargo, para el inventario de emisiones se deben considerar sólo las rurales y urbanas.

Por lo tanto, se debe considerar la fracción de la población tanto rural como urbana, por lo que para calcular las emisiones de metano se debe emplear la ecuación 13.

Ecuación 13. Emisiones de metano provenientes del tratamiento y eliminación de aguas residuales municipales.

$$\text{Emisiones de CH}_4 = [\sum_{i,j}(U_i * T_{i,j} * FE_j)] * (TOW-S) - R \dots\dots\dots \text{Ecuación 13.}$$

Donde:

- Emisiones de CH₄** = Emisiones de metano (CH₄) durante el año del inventario en [kilogramos / año].
- [∑_{i,j}]** = Suma.
- U_i** = Fracción de la población del grupo i en el año del inventario, el valor por defecto es de: 0.05.
- T_{i,j}** = Grado de utilización del sistema de tratamiento j para cada grupo i, el valor por defecto es de.15%.
- FE_j** = Componente de los residuos sólidos urbanos por la quema a cielo abierto en las viviendas de: papel/cartón, textiles, residuos se alimentos, madera, residuos de jardín, plásticos, entre otros.
- TOW** = Total de materia orgánica en las aguas residuales municipales del año inventario (kg de DBO /año).
- S** = Componente orgánico separado como lodo durante el año del inventario (kg de DBO /año).
- R** = Cantidad de metano recuperado durante el año del inventario (kg de CH₄/año).

- i = Grupo rural o urbano.
- j = Sistema de tratamiento.

Para obtener la cantidad total de materia orgánica degradable en las aguas residuales municipales (TOW, del inglés, Total Organic Waste). Este parámetro es una función de la población humana y del índice de generación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) por persona. Se expresa en términos de requisito bioquímico de oxígeno (kg de BOD/año). Por lo que para calcular el TOW se utiliza la ecuación 14.

Ecuación 14. Cantidad total de materia orgánica degradable en las aguas residuales municipales.

$$TOW = P * DBO * 0.001 * I * 365 \dots\dots\dots \text{Ecuación 14.}$$

Donde:

- TOW** = Total de materia orgánica en las aguas residuales del año inventario (kg de DBO /año),
- P** = Población del año del inventario, (personas).
- DBO** = DBO per cápita específico del país en el año del inventario, g/persona/día, el valor por defecto es de:85
- 0.001** = Conversión de gramos de DBO a kg de DBO.
- I** = Factor de corrección para la DBO 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.

Obtención de los Factores de Emisión de metano para cada sistema de tratamiento de aguas residuales municipales.

El factor de emisión va a depender de la capacidad máxima de producción de metano (Bo) y del factor de corrección para el metano (MCF) de cada sistema de tratamiento y se estima mediante la ecuación 15.

Ecuación 15. Factor de emisión de metano para cada sistema de tratamiento de aguas residuales municipales.

$$FE_{CH_4j} = (Bo * MCF_j) \dots\dots\dots \text{Ecuación 15.}$$

Donde:

- FE_{CH4j}** = Factor de Emisión de metano (CH₄) para cada sistema de tratamiento de aguas residuales municipales (kg de CH₄/ kg de DBO). Ver la tabla 8.
- j** = Cada Sistema de tratamiento.
- Bo** = Capacidad máxima de producción de metano, el valor por defecto es de 0.6 kg de CH₄/ kg de DBO.
- MCF_j** = Factor de corrección para el metano (fracción). Ver la tabla 8.

Los valores por defecto a emplear de los factores de emisión para el metano (CH₄) para cada sistema de tratamiento provenientes de las aguas residuales municipales, así como las variables utilizadas para obtenerlo, se muestran en la tabla 8.

Tabla 8. Factores de Emisión por defecto para el metano (CH₄), para cada sistema de tratamiento provenientes de las aguas residuales municipales.

Sistema de tratamiento o descarga de las aguas residuales municipales	Capacidad máxima de producción de metano (Bo) [kg de CH ₄ / kg de DBO]	Fracción del Factor de Corrección para el Metano (MCF)	Factor de Emisión de Metano [kg de CH ₄ / kg de DBO].
Eliminación en ríos	0.6	0.1	0.06
No tratada (canales/alcantarilla abierta)	0.6	0.1	0.06
No tratada alcantarillas (cerradas y subterráneas)	0.6	0.1	0.06
Discos biológicos o biodiscos	0.6	0.4	0.24
Filtros biológicos o rociadores o percoladores	0.6	0.6	0.36
Lodos activados	0.6	0.4	0.24

Lagunas aireadas	0.6	0.4	0.24
Lagunas de estabilización	0.6	0.8	0.48
Primario avanzado	0.6	0.4	0.24
Primario	0.6	0.4	0.24
Zanjas de oxidación	0.6	0.3	0.18
Anaerobio	0.6	1	0.6
Rafa o WASB	0.6	1	0.6
Tanque Imhoff	0.6	1	0.6
Biológico	0.6	0.6	0.36
Dual	0.6	0.3	0.18
Reactor enzimático	0.6	0.6	0.36
Humedales (wetland)	0.6	0.3	0.18
Tanque séptico o fosa séptica	0.6	0.5	0.30
Otro	0.6	0.6	0.36
Primario o sedimentación	0.6	0.4	0.24
Aerobio	0.6	0.3	0.18

Fuente: IPCC 2006, volumen 5 "Residuos".

Para las emisiones de óxido nitroso (N₂O), estas pueden provenir directamente de las plantas de tratamiento o ser emisiones indirectas de las aguas residuales tras la eliminación de los efluentes en vías fluviales, lagos o el mar.

Las emisiones directas derivadas de la nitrificación y desnitrificación en instalaciones de tratamiento de aguas servidas pueden considerarse fuentes menores, debido a que es una buena práctica estimar las emisiones de óxido nitroso (N₂O), de los efluentes de las aguas residuales municipales, estas emisiones se calculan utilizando la ecuación 16.

Ecuación 16. Emisiones de óxido nitroso provenientes del tratamiento y eliminación de aguas residuales municipales.

$$\text{Emisiones de N}_2\text{O} = N_E * FE_E * 44/28 \dots\dots\dots \text{Ecuación 16.}$$

Donde:

- Emisiones de N₂O** = Emisiones de óxido nitroso (N₂O) durante el año del inventario en [kilogramos de N₂O / año].
- N_E** = Nitrógeno del efluente eliminado en medios acuáticos, [kilogramos de N/año].
- FE_E** = Factor de emisión para las emisiones de óxido nitroso (N₂O) provenientes de la eliminación en aguas servidas, el valor por defecto es: 0.005 kilogramos de N₂O / kg de N.
- 44/28** = Factor de conversión de kg de N₂O-N en kg de N₂O.

Para calcular el Nitrógeno del efluente eliminado en medios acuáticos (N_E), se debe contar con los datos de la población y los datos del promedio anual de generación de proteína per cápita (kg/persona/año), cuya influencia se debe a la presencia, en las aguas residuales municipales, de restos de alimentos que no se consumen y que fueron eliminados por el drenaje. Del mismo modo, las aguas provenientes del sanitario y de las descargas de la lavadora contribuyen a las cargas de nitrógeno. Para obtener el valor de Nitrógeno del efluente eliminado en medios acuáticos (N_E), se utiliza la ecuación 17.

Ecuación 17. Para calcular el valor de Nitrógeno del efluente eliminado en medios acuáticos (N_E), proveniente de las aguas residuales municipales.

$$N_E = (P * PR * F_{NPR} * F_{NC} * F_{IC}) - N_s \dots\dots\dots \text{Ecuación 17.}$$

Donde:

- NE** = Nitrógeno en el efluente eliminado en medios acuáticos, [kilogramos de N/año].
- P** = Población humana.
- PR** = Consumo per cápita anual de proteínas, [kg/persona/año].
- F_{NPR}** = Fracción de nitrógeno en las proteínas, el valor por defecto es: 0.16 kg de N/kg de proteína.
- F_{NC}** = Factor de proteínas no consumidas añadidas a las aguas residuales, el valor por defecto es: 1.1
- F_{IC}** = Factor para las proteínas industriales y comerciales coeliminadas en los sistemas de alcantarillado, el valor por defecto es: 1.25.
- N_s** = Nitrógeno separado con el lodo residual, el valor por defecto es: 0 kg de N/año

Nota: Los valores por defecto que se emplean en la ecuación 16 (Emisiones de óxido nitroso (N₂O) provenientes del tratamiento y eliminación de aguas residuales municipales), así como los valores por defecto que se emplean en la ecuación 17 (Para calcular el valor de Nitrógeno del efluente eliminado en medios acuáticos (NE), proveniente de las aguas residuales municipales), se obtuvieron de la siguiente fuente: IPCC 2006, volumen 5, "Residuos" capítulo 6, cuadro 6.11.

Para la categoría 4D2 Tratamiento y descarga de aguas residuales industriales.

Las aguas residuales industriales pueden tratarse in situ o descargarse hacia los sistemas de alcantarillado municipales, por lo que, si se descargan al alcantarillado municipal las emisiones deben incluirse en las aguas residuales municipales, y si se tratan in situ, las emisiones deben incluirse en las aguas residuales industriales, por lo que para calcular las emisiones totales de metano (CH₄) procedentes de las aguas residuales industriales se emplea la ecuación 18.

Ecuación 18. Emisiones totales de metano (CH₄) procedentes de las aguas residuales industriales.

$$\text{Emisiones de CH}_4 = [\sum_i (\text{TOW}_i - \text{S}_i) \text{FE}_i - \text{R}_i] \dots\dots\dots \text{Ecuación 18.}$$

Donde:

- Emisiones de CH₄** = Emisiones de metano (CH₄) durante el año del inventario [kilogramos/año].
- \sum** = Suma.
- TOW** = Total de materia orgánica en las aguas residuales de la industria i durante el año del inventario [kg de DQO /año], se obtiene multiplicado el caudal tratado al año por el valor de la Demanda Química de Oxígeno (DQO).
- i** = Sector industrial
- S_i** = Componente orgánico separado como lodo durante el año del inventario [kg de DQO /año].
- FE_i** = Factor de emisión por tipo de tratamiento utilizado en la industria en el año del inventario (kg de CH₄ / kg de DQO).
- R_i** = Cantidad de metano recuperado durante el año del inventario (kg de CH₄/año).

Para obtener la cantidad de materia orgánica degradable contenida en las aguas residuales industriales (TOW). Este parámetro depende de la producción industrial P (toneladas/año), del volumen de las aguas residuales W (m³/tonelada de producto) y de Demanda Química de Oxígeno (DQO) expresada en (Kg de DQO/m³), la concentración de sustancias orgánicas degradables en las aguas residuales industriales (T) el valor por defecto es de: 15%.

Para determinar TOW se requieren los siguientes pasos:

- a) Identificar los sectores industriales que generan aguas residuales con altos contenidos de carbono orgánico, mediante la evaluación de la producción industrial, las sustancias orgánicas degradables en las aguas residuales, y el volumen de aguas residuales producidas.
- b) Identificar los sectores industriales que usan tratamiento anaeróbico. Incluir a los que puedan recibir un tratamiento anaeróbico no previsto, como resultado de la sobrecarga del sistema de tratamiento. La experiencia demuestra que, en general, tres o cuatro sectores industriales son principales. Para cada sector elegido, estímesese el total del carbono degradable de manera orgánica (TOW).

Por lo que para calcular el TOW en las aguas residuales industriales se utiliza la ecuación 19.

Ecuación 19. Cantidad de materia orgánica degradable en las aguas residuales industriales.

$$TOW_i = P_i * W_i * DQO_i \dots\dots Ecuación 19.$$

Donde:

- TOW_i** = Total de materia orgánica degradable en las aguas residuales de la industria i, (kg de DQO/año).
- i** = Sector industrial.
- P_i** = Producto industrial total del sector industrial i, (ton/año).
- W_i** = Volumen de las aguas residuales tratadas, (m³/ton de producto).
- DQO** = Demanda Química de Oxígeno (DQO) el cual es el (componente industrial orgánico degradable en las aguas residuales), expresado en (kg de DQO/ m³).

Para obtener los datos sobre la producción industrial y las aguas residuales generadas, se pueden consultar estadísticas nacionales, información de los organismos reguladores, de las asociaciones industriales o de tratamiento de aguas residuales. En algunos casos, los valores de la DQO en las aguas residuales se pueden obtener por la producción industrial y buscar en la bibliografía las toneladas de DQO generada por toneladas de producto, en la tabla 9 se muestran los valores por defecto que se establecen en el IPCC, para obtener los datos de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y de la generación de las aguas residuales (W).

Tabla 9. Valores por defecto que se establecen en el IPCC, para obtener los datos de la DQO y de las aguas residuales generadas.

Tipo de Industria	Generación de las aguas residuales, W (m ³ /ton de producto)	DQO (Kg de DQO/m ³)
Refinado de alcohol	24	11
Malta y cerveza	6.3	2.9
Café	No disponible	9
Productos lácteos	7	2.7
Procesamiento del pescado	13	2.5
Carnes y aves	13	4.1
Sustancias químicas orgánicas	67	3
Plásticos y resinas	0.6	1.0
Pulpa y papel (combinados)	162	9
Jabón y detergentes	3	9
Producción de almidón	9	10
Refinación del azúcar	11	3.2
Aceites vegetales	3.1	0.85
Verduras, frutas y zumos	20	5
Vino y vinagre	23	1.5

Fuente: IPCC 2006, volumen 5, "Residuos".

Para obtener el factor de emisión de metano (CH₄) para cada tipo de tratamiento de aguas residuales industriales se utiliza la ecuación 20.

Ecuación 20. Factor de emisión de metano para cada tipo de tratamiento de aguas residuales industriales.

$$FE_j = Bo * MCF \dots\dots Ecuación 20.$$

Donde:

- FE_{CH₄j}** = Factor de Emisión de metano (CH₄) para cada tipo de tratamiento de aguas residuales industriales (kg de CH₄ / kg de DQO), ver la tabla 10.

- j** = Cada tipo de tratamiento.
- Bo** = Capacidad máxima de producción de metano para aguas tratadas, el valor por defecto es de: 0.25 kg de CH₄/ kg de DQO, ver la tabla 10.
- MCF_j** = Factor de corrección para el metano para cada tipo de tratamiento (fracción), ver la tabla 10.

Los valores por defecto a emplear de los factores de emisión para el metano (CH₄) para cada tipo de tratamiento provenientes de las aguas residuales industriales, así como las variables utilizadas para obtenerlo, se muestran en la tabla 10.

Tabla 10. Factores de Emisión por defecto para el metano (CH₄), para cada tipo de tratamiento provenientes de las aguas residuales industriales.

Tipo de tratamiento o descarga de las aguas residuales industriales	Capacidad máxima de producción de metano (Bo) [kg de CH ₄ / kg de DQO]	Fracción del Factor de Corrección para el Metano (MCF)	Factor de Emisión de Metano [kg de CH ₄ / kg de DQO].
Primario	0.25	0.2	0.05
Secundario aeróbico	0.25	0.3	0.075
Secundario anaeróbico	0.25	0.8	0.200
Laguna anaeróbica poco profunda (menor de 2 metros)	0.25	0.2	0.05
Laguna anaeróbica profunda (mayor a 2 metros)	0.25	0.8	0.2
Terciario	0.25	0.1	0.025
No especificado Nota: El factor de emisión para este caso, se obtuvo promediando los tipos de tratamiento primario y secundario.			0.0625
No tratadas	0.06	0.1	0.06

Fuente: IPCC 2006, volumen 5, "Residuos".

2.1.5. Metodología para calcular las emisiones de dióxido de carbono, metano y óxido nitroso en términos de Dióxido de Carbono Equivalente (CO₂eq).

Con base en las Directrices del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático en su edición 2006 (IPCC 2006, por sus siglas en inglés), las emisiones se deberán reportar en unidades de Gigagramos de Dióxido de Carbono Equivalente [Gg de CO₂eq]. Para lo cual en las ecuaciones 21 a la 23 se muestran como calcular las emisiones de Dióxido de Carbono Equivalente (CO₂eq), provenientes de las emisiones de dióxido de carbono, metano y óxido nitroso.

Por lo que, para convertir las emisiones a Dióxido de Carbono Equivalente en Gigagramos [Gg de CO₂eq], provenientes de las emisiones del Dióxido de Carbono, se emplea la ecuación 21.

Ecuación 21. Emisiones de Dióxido de Carbono Equivalente en Gigagramos [Gg de CO₂eq], provenientes de las emisiones del Dióxido de Carbono.

$$\text{Emisiones de CO}_2\text{eq} = [\text{Emisiones de Dióxido de Carbono (CO}_2\text{)} / 1000]^* \text{PCG}_{(\text{CO}_2)} \dots\dots \text{Ecuación 21 .}$$

Donde:

- Emisiones de CO₂eq** = Emisiones de dióxido de carbono equivalente (CO₂eq) provenientes de las emisiones del Dióxido de Carbono en: (Gg de CO₂eq/año).
- Emisiones de Metano (CH₄)** = Emisiones de Dióxido de Carbono en: (ton/año).
- PCG_(CH4)** = Potencial de calentamiento Global del metano (CO₂), corresponde al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, los cuales se muestran en el Apéndice E, del presente documento.

Para convertir las emisiones a Dióxido de Carbono Equivalente en Gigagramos [Gg de CO₂eq], provenientes de las emisiones de metano (CH₄), se utiliza la ecuación 22.

Ecuación 22. Emisiones de Dióxido de Carbono Equivalente en Gigagramos [Gg de CO₂eq], provenientes de las emisiones de Metano (CH₄).

$$\text{Emisiones de CO}_2\text{eq} = [\text{Emisiones de Metano (CH}_4\text{) /1000}] * \text{PCG}_{(\text{CH}_4)} \dots\dots \text{Ecuación 22.}$$

Donde:

- Emisiones de CO₂eq** = Emisiones de dióxido de carbono equivalente (CO₂eq) provenientes de las emisiones del metano en: (Gg de CO₂eq/año).
- Emisiones de Metano (CH₄)** = Emisiones de metano en: (ton/año).
- PCG_(CH₄)** = Potencial de calentamiento Global del metano (CH₄), corresponde al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, los cuales se muestran en el Apéndice E, del presente documento.

Para convertir las emisiones a Dióxido de Carbono Equivalente en Gigagramos [Gg de CO₂eq], provenientes de las emisiones del Óxido Nitroso (N₂O), se utiliza la ecuación 23.

Ecuación 23. Emisiones de Dióxido de Carbono Equivalente en Gigagramos [Gg de CO₂eq], provenientes de las emisiones del Óxido Nitroso (N₂O).

$$\text{Emisiones de CO}_2\text{eq} = [\text{Emisiones de Óxido Nitroso (N}_2\text{O) /1000}] * \text{PCG}_{(\text{N}_2\text{O})} \dots\dots \text{Ecuación 23.}$$

Donde:

Emisiones de CO₂eq	=	Emisiones de dióxido de carbono equivalente (CO ₂ eq) provenientes de las emisiones del Óxido Nitroso (N ₂ O) en: (Gg de CO ₂ eq/año).
Emisiones de Óxido Nitroso (N₂O)	=	Emisiones de Óxido Nitroso (N ₂ O) en: (ton/año).
PCG_(N₂O)	=	Potencial de calentamiento Global del Óxido Nitroso (N ₂ O), corresponde al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, los cuales se muestran en el Apéndice E, del presente documento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.



DOF (2018). “Ley General de Cambio Climático”, Diario Oficial de la Federación del 6 de junio de 2012 y reformada el 13 de julio de 2018.

Gobierno del Estado de México (2014). “Reglamento de la Ley de Cambio Climático del Estado de México”. Periódico Oficial “Gaceta del Gobierno” del 6 de octubre de 2014 y reformada el 19 de diciembre de 2014.

Gobierno del Estado de México (2017). “Ley de Cambio Climático del Estado de México, Periódico Oficial “Gaceta del Gobierno” del 19 de diciembre del 2013 y reformado el 13 de septiembre de 2017.

Gobierno del Estado de México (2022). “Manual General de Organización del Instituto Estatal de Energía y Cambio Climático, Periódico Oficial “Gaceta del Gobierno” del 28 de enero de 2015 y reformado el 27 de abril de 2022. Disponible en: <http://legislación.edomex.gob.mx/sites/legislacion.edomex.gob.mx/files/files/pdf/gct/2022/abril/abr271/abr271b.pdf>

Gobierno del Estado de México (2018). “Plan de Desarrollo del Estado de México 2017- 2023”. Primera edición: Gobierno del Estado de México, 2018. Toluca de Lerdo, México.

IPCC (2003). “Quinto informe de evaluación del Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático 2003”. Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.

IPCC (2006). “Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories”, para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, Volumen 5. Residuos. Directrices del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el

Cambio Climático en su edición 2006 (IPCC 2006, por sus siglas en inglés). Disponible en:
<https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol5.html>

SEMARNAT-INECC (2018). “Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero 1990-2015 (INEGYCEI)”.

U.S.EPA (2009). Ludwing V, 2009, Landfill Methane Outreach Program. Manual del Usuario Modelo Mexicano del Biogás. Versión 2.0 Agencia para la Protección del Ambiente (U.S.EPA) Washington.

APÉNDICES.



APÉNDICE “A” LISTADO DE SIGLAS.

CMNUCC	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático.
GEI	Gases de Efecto Invernadero.
IEECC	Instituto Estatal de Energía y Cambio Climático.
INECC	Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático.
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
IPCC	Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés).
PEACC	Programa Estatal de Acción Ante el Cambio Climático.
SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
SMAGEM	Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Estado de México.

APÉNDICE “B” LISTADO DE ACRÓNIMOS.

CO₂eq	Dióxido de Carbono Equivalente.
DA	Datos de Actividad.
DBO	Demanda Biológica de Oxígeno
DQO	Demanda Química de Oxígeno
FE	Factor de Emisión.
Gg de CO₂eq	Gigagramos de dióxido de carbono (CO ₂) equivalente.
PCG	Potenciales de Calentamiento Global.

APÉNDICE “C” LISTADO DE GASES DE EFECTO INVERNADERO.

CH₄	Metano.
CO₂	Dióxido de Carbono.
N₂O	Óxido Nitroso.

APÉNDICE “D” UNIDADES DE EQUIVALENCIA.

Unidad	=	equivalencia	unidad
1 Tonelada (Ton)	=	1,000	Kilogramos (kg)
1 Gigagramo (Gg)	=	1,000	Toneladas (ton)

Fuente: SI.

APÉNDICE “E” POTENCIALES DE CALENTAMIENTO GLOBAL (PCG.)

Para determinar las emisiones de gases de efecto invernadero en términos de CO₂ equivalente [CO_{2eq}], éstas se obtienen multiplicando la cantidad de emisiones de un gas de efecto invernadero por su valor de potencial de calentamiento global (PCG).^[2]

Los potenciales de calentamiento Global (PCG) que se deben emplear son los siguientes: CO₂=1, CH₄=28 y N₂O =265, los cuales corresponden al quinto informe de evaluación del IPCC 2003. Debido a que el Estado de México se alinea a lo establecido por la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) por medio del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), ya que es la instancia que elabora los Inventarios Nacionales de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero (INEGYCEI), el cual rige que para cuantificar las emisiones se deben utilizar las Directrices del Grupo Intergubernamental de expertos sobre el cambio climático en su edición 2006 (IPCC 2006), con la finalidad de cumplir con los estándares internacionales más actualizados, por lo que las entidades y los municipios deben emplear los mismos potenciales de calentamiento global que utiliza el Gobierno Federal.^[2]

Potenciales de Calentamiento Global (PCG) de los Gases de Efecto Invernadero.	
Gas de Efecto Invernadero	PCG
Dióxido de Carbono (CO ₂)	1
Metano (CH ₄)	28
Óxido Nitroso (N ₂ O)	265

Fuente: Quinto Informe de Evaluación del IPCC 2003.

[2] Fuente: SEMARNAT/INECC, “Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero 1990-2015 (INEGYCEI)” pp. 16 y 851.

APÉNDICE “F” GLOSARIO DE DEFINICIONES.

- Aerobio.** El oxígeno se utiliza para la descomposición de la materia orgánica por la acción de los microorganismos. En la descomposición aerobia se obtienen nitrato, sulfato y CO₂
- Aguas residuales.** Las aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos público urbano, doméstico, industrial, comercial, de servicios, agrícola, pecuario, de las plantas de tratamiento y en general de cualquier otro uso, así como la mezcla de ellas.
- Anaerobio.** No se utiliza oxígeno para la descomposición de la materia orgánica por la acción de los microorganismos. La descomposición anaerobia arroja productos como amoníaco, sulfuro, humus y biogás (compuesto principalmente por CO₂ y CH₄)
- Biológico.** Denominación que corresponde a una clasificación muy general de los tratamientos de agua, pues incluye a todos aquellos en los que la depuración del agua se basa en la intervención de microorganismos, característica que los distingue de aquellos de carácter físico, como el Pretratamiento y Tratamiento Primario, y de los de carácter químico y fisicoquímico
- Biosólidos.** Lodos que han sido sometidos a procesos de estabilización y que, por su contenido de materia orgánica, nutrientes y características adquiridas después de su estabilización, puedan ser susceptibles de aprovechamiento.
- Cambio climático.** Cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera global y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables.
- Dato de Actividad.** Es el parámetro que define el grado o nivel de la actividad generadora de las emisiones de GEI. Por ejemplo, cantidad de residuos sólidos municipales).
- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).** El valor de la DBO indica la cantidad de oxígeno que las bacterias y otros seres vivos minúsculos consumen durante 5 días a una temperatura de 20°C en una muestra de agua para la degradación aeróbica de las sustancias contenidas en el agua. El valor DBO es pues una medida indirecta de la suma de todas las sustancias orgánicas biodegradables del agua. El valor DBO indica la cantidad de oxígeno disuelto (mg/l) que se requiere durante un tiempo determinado para la degradación biológica de las sustancias orgánicas contenidas en el agua residual.

Demanda Química de Oxígeno (DQO).	La Demanda Química de Oxígeno (DQO) es un parámetro que mide la cantidad de sustancias susceptibles de ser oxidadas por medios químicos que hay disueltas o en suspensión en una muestra líquida. Se utiliza para medir el grado de contaminación.
Digestión anaerobia.	Es la transformación bioquímica de la materia orgánica presente en los lodos, que es transformada en gas metano y bióxido de carbono y agua por los microorganismos en ausencia de oxígeno disuelto y combinado.
Discos Biológicos o Biodiscos.	Estructuras utilizadas en la depuración de aguas residuales, construidas con un medio filtrante (generalmente sintético) que se coloca alrededor de un eje provisto de discos formando un cilindro, mismo que se sumerge parcialmente en un estanque de aguas residuales. La depuración se logra al girar lentamente los cilindros, pasando el agua a través de la biopelícula que en ellos se forma y alternando periodos de contacto con ésta (al estar sumergida) con periodos de aireación. Este proceso se utiliza principalmente para remover la DBO carbonosa y nitrificada; tiene eficiencias medias de 85 al 90%.
Dual.	Tratamiento secundario de aguas residuales que combina dos procesos del mismo nivel (secundario); estos dos procesos se utilizan en secuencia, y se obtiene una mayor remoción de contaminantes. Por ejemplo, a un mismo volumen se le puede tratar inicialmente con filtros biológicos y después hacerlo con lodos activados. En sentido estricto, este proceso sigue siendo secundario, aunque remueva más contaminantes que un secundario normal, de la misma manera que el primario avanzado sigue considerándose un tratamiento primario. Este proceso tiene eficiencias medias de 90 a 95%.
Factor de emisión (FE).	Es la relación entre la cantidad de contaminante emitido por una unidad de actividad (dato de actividad).
Filtros biológicos o Rociadores o Percoladores.	Estructuras utilizadas en la depuración de aguas residuales, construidas de concreto y en cuyo interior se coloca un medio filtrante (anteriormente rocas, en la actualidad placas sintéticas que semejan un panel) a través del cual se rocía el agua residual (de allí el nombre de filtros rociadores como también se les conoce). El agua se depura al pasar a través de este medio por el contacto con la biopelícula que en él se forma. También son conocidos como filtros percoladores. Los filtros de piedra tienen eficiencias de 65 al 75% y los de plástico de 80 al 90%.
Fosa Séptica.	Tanques o fosas rectangulares o cuadrados, impermeabilizados; pueden ser prefabricados o contruidos con ladrillo, mortero y cemento. Los tanques pueden ser desplantados al nivel de piso, estar semienterrados o enterrados completamente. Se alimenta el agua en estas cámaras y se evita la introducción de oxígeno del aire a la unidad. En el tanque los sólidos suspendidos se sedimentan y se digieren anaeróbicamente; en la superficie se acumulan natas y grasas, que ayudan a conservar la condición anaerobia. Su eficiencia es del 50%.
Gestión Integral de Residuos.	Conjunto articulado e interrelacionado de acciones normativas, operativas, financieras, de planeación, administrativas, sociales, educativas, de monitoreo, supervisión y evaluación, para el manejo de residuos, desde su generación hasta la disposición final, a fin de lograr beneficios ambientales, la optimización económica de su manejo y su aceptación social, respondiendo a las necesidades y circunstancias de cada localidad o región.
Gas de efecto invernadero (GEI).	Componente gaseoso de la atmósfera, natural o antropógeno, que absorbe y emite radiación en determinadas longitudes de onda del espectro de radiación terrestre emitida por la superficie de la Tierra, por la propia atmósfera y por las nubes.
Humedales (Wetland).	Conocidos como humedales o pantanos, son sistemas de tratamiento natural del agua en el sentido de que la depuración se logra mediante la vegetación existente.
Incineración.	Cualquier proceso para reducir el volumen y descomponer o cambiar la composición física, química o biológica de un residuo sólido, líquido o gaseoso, mediante oxidación térmica, en la cual todos los factores de combustión, como la temperatura, el tiempo de retención y la turbulencia, pueden ser controlados, a fin de alcanzar la eficiencia, eficacia y los parámetros ambientales previamente establecidos.

Lagunas Aireadas.	Son variantes de las lagunas de estabilización donde las reacciones se aceleran con la introducción de aire por medios mecánicos, como en el caso de los lodos activados. La principal función de este proceso es la degradación de la materia orgánica; su eficiencia varía del 80 al 90%.
Lagunas de Estabilización.	Estanques naturales o artificiales, normalmente construidos en tierra. Dependiendo del propósito del tratamiento y del tipo de actividad biológica que en ellas se realiza, las lagunas se pueden clasificar en lagunas anaerobias (para remoción de sólidos suspendidos y de materia orgánica concentrada), lagunas facultativas (para remoción de materia orgánica y microorganismos patógenos) y lagunas aeróbicas (para remoción de microorganismos patógenos y de materia orgánica soluble). En estas lagunas los procesos de depuración se realizan en forma lenta y con eficiencias menores, en comparación con los procesos mecanizados; sus eficiencias medias van de 75 al 85%.
Manejo Integral.	Las actividades de reducción en la fuente, separación, reutilización, reciclaje, coprocesamiento, tratamiento biológico, químico, físico o térmico, acopio, almacenamiento, transporte y disposición final de residuos, individualmente realizadas o combinadas de manera apropiada, para adaptarse a las condiciones y necesidades de cada lugar, cumpliendo objetivos de valorización, eficiencia sanitaria, ambiental, tecnológica, económica y social.
Lodos.	Son sólidos con un contenido variable de humedad, provenientes del desazolve de los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, de las plantas potabilizadoras y de las plantas de tratamiento de aguas residuales, que no han sido sometidos a procesos de estabilización.
Lodos Activados.	Este proceso y sus variantes o modificaciones son los más frecuentemente utilizados en grandes instalaciones. El agua residual previamente sedimentada y el lodo de recirculación se alimentan en la entrada de un tanque de aireación, donde son mezclados por medio de difusores o de aireadores mecánicos para propiciar la degradación de la materia. Tienen eficiencias del 85 al 95%.
Potencial de calentamiento global (PCG)	Compara el forzamiento radiativo de una tonelada de un gas de efecto invernadero en un periodo de tiempo dado (p. ej. 100 años) con una tonelada de CO ₂ .
Primario Avanzado.	Tratamiento conocido también como fisicoquímico, consistente en la adición de químicos, mezclado, floculación y sedimentación; con este proceso se remueven adicionalmente fosfatos. Este tratamiento tiene eficiencias medias de 55 a 65%.
Primario o Sedimentación.	El objetivo de este tratamiento es separar los sólidos sedimentables y el material flotante (detergentes, grasas y aceites, natas y espumas, entre otros materiales), para reducir en contenido de sólidos suspendidos. Se aplica en un tanque circular o rectangular donde se introduce el agua por determinado tiempo para propiciar la separación de los sólidos del líquido. La eficiencia de este sistema es del 30 al 40% con respecto a la DBO.
RAFA o WASB.	Siglas de Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente. Se trata de un reactor donde la depuración se basa en procesos anaerobios y en el que el agua se hace pasar, formando un flujo ascendente, a través de un manto de lodos. Esta unidad presenta cámaras de decantación y digestión anaeróbica sobrepuestas. La alimentación se hace por el fondo del tanque, por medio de tubos, lo que permite el contacto del agua residual con el manto de lodos que se forma previamente. Su eficiencia varía del 55 al 65%.
Reactor Enzimático.	Sistemas de tratamiento, aerobio o anaerobio, donde la depuración se acelera mediante el empleo de enzimas cultivadas en laboratorios, que permiten una mayor degradación de la materia orgánica y la eliminación de contaminantes muy específicos.
Relleno sanitario.	Obra de infraestructura que involucra métodos y obras de ingeniería para la disposición final de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial, con el fin de controlar, a través de la compactación e infraestructura adicionales, los impactos ambientales.
Residuo.	Material o producto cuyo propietario o poseedor desecha y que se encuentra en estado sólido o semisólido, o es un líquido o gas contenido en recipientes o depósitos, y que

puede ser susceptible de ser valorizado o requiere sujetarse a tratamiento o disposición final.

Residuos de Manejo Especial (RME).	Se generan en cualquier actividad relacionada con la extracción, beneficio, transformación, procesamiento y/o utilización de materiales para producir bienes y servicios, y que no reúnan características domiciliarias o no posean alguna de las características de peligrosidad en los términos normativos. También incluye los residuos sólidos urbanos generados por un gran generador en una cantidad igual o mayor a 10 toneladas al año y que requiera un manejo específico para su valorización y aprovechamiento.
Residuos Peligrosos (RS).	Son aquellos que posean alguna de las características de corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad, o que contengan agentes infecciosos que les confieran peligrosidad, así como envases, recipientes, embalajes y suelos que hayan sido contaminados cuando se transfieran a otro sitio.
Residuos Sólidos Urbanos (RSU).	Los generados en las casas habitación, que resultan de la eliminación de los materiales que utilizan en sus actividades domésticas, de los productos que consumen y de sus envases, embalajes o empaques; los residuos que provienen de cualquier otra actividad dentro de establecimientos o en la vía pública que genere residuos con características domiciliarias, y los resultantes de la limpieza de las vías y lugares públicos.
Residuos Peligrosos Biológico-Infecciosos:	Son aquellos materiales generados durante los servicios de atención médica que contengan agentes biológico-infecciosos, y que pueden generar efectos nocivos a la salud y al ambiente.
Sitio controlado.	Sitio inadecuado de disposición final que cumple con las especificaciones de un relleno sanitario en lo que se refiere a obras de infraestructura y operación, pero no cumple con las especificaciones de impermeabilización.
Sitio no controlado.	Sitio inadecuado de disposición final que no cumple con los requisitos establecidos en la Norma que los regule.
Sitio de disposición final.	Lugar donde se depositan los residuos sólidos urbanos y de manejo especial en forma definitiva.
Tanque IMHOFF.	Estructura de concreto reforzado, con dos compartimentos, uno arriba de otro, en los que, respectivamente, se remueven los sólidos sedimentables y se digieren anaeróticamente los contaminantes; los gases que se forman durante la digestión son evacuados por ventanillas o tubos de ventilación. Tienen eficiencias del 50 al 60%.
Tratamiento.	Procedimientos físicos, químicos, biológicos o térmicos, mediante los cuales se cambian las características de los residuos y se reduce su volumen o peligrosidad.
Terciario.	Tratamiento avanzado aplicado para la remoción de uno o varios contaminantes en particular, después de que se han aplicado previamente el pretratamiento y los tratamientos primario y secundario. Entre los principales tratamientos de este tipo se citan: ultrafiltración, microcribas, nitrificación biológica, nitrificación-desnitrificación biológica, desnitrificación biológica por etapas separadas, remoción de fósforo, cloración al punto de quiebre, intercambio iónico, ósmosis inversa, electrodiálisis, adsorción con carbón, lodos activados con adición de carbón activado en polvo, oxidación química, precipitación química y volatilización.
Zanjas de Oxidación.	Tipo particular de reactor, con forma de canales, en el que el proceso de depuración del agua ocurre mediante lodos activados. Los canales forman anillos u óvalos y la aireación se proporciona en algunos puntos a lo largo del reactor, en el que el agua circula a una velocidad de 0.25 a 0.35 m/s. Las aguas residuales pretratadas se alimentan de las zanjas, se airean y se circulan en los canales. Estas unidades tienen tiempos de retención prolongados, generalmente de 20 a 24 horas. Su eficiencia varía del 90 al 95%.

ATENTAMENTE.- MARÍA ELENA LÓPEZ BARRERA.- DIRECTORA GENERAL.- RÚBRICA.