



# Metodología de estimación de emisiones por la disposición final de residuos sólidos urbanos

## Introducción

El presente informe detalla la metodología empleada para estimar las emisiones por disposición final de residuos sólidos urbanos, la cual se corresponde con las directrices del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC), en su capítulo “Desechos” o “Residuos” (término mayormente empleado en México) y se basa en el uso de un modelo de descomposición de primer orden (IPCC, 2006). Este modelo se aplicó a nivel de sitio de disposición final (SDF), de manera que se tienen estimaciones para cada uno de los 2,250 sitios de disposición en el país, de acuerdo a la última versión del Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Demarcaciones Territoriales de la Ciudad de México, (CNGMD 2023) del INEGI, la cual fue publicada en 2024, sin embargo, fue elaborado a partir de información recabada correspondiente al año 2022 (INEGI, 2023).

## Datos de actividad

Los datos de actividad de base son las cantidades de residuos sólidos urbanos (RSU) que se depositan en los sitios de disposición final. El CNGMD contiene información de las cantidades de residuos depositados por cada sitio de disposición, identificados con su clave geográfica, el municipio de origen de estos residuos, y el municipio y estado en donde se encuentra el SDF en cuestión. Para el año 2022, el CNGMD reporta 2,250 SDF en todo el país. Además de la versión 2023, se procesaron datos de los censos de 2017, 2019 y 2021. En cada caso, la información corresponde al año anterior (2016, 2018 y 2020 y 2022). La metodología del IPCC requiere la reconstrucción de la serie histórica de RSU depositados, por lo que, para datos anteriores a 2016, se hizo una proyección hacia atrás en el tiempo, tomando como variable explicativa la población por cada estado.

A continuación, se enumeran los pasos seguidos para determinar la serie histórica por cada SDF.

1.- Con base en la información de las versiones del CNGMD consultadas, se determinó la cantidad de RSU depositados en cada SDF en los años 2016, 2018, 2020 y 2022. Los años intermedios (2017, 2019 y 2021), se estimaron de acuerdo a interpolación lineal con datos de los años disponibles. La interpolación lineal se realizó igualmente cuando, para un mismo SDF, se tenían datos de un año anterior (por ejemplo, 2016), y un año posterior, aun cuando en el medio existiera un año censal con vacíos de información (por ejemplo, datos de 2020 del sitio, pero no datos de 2018).



2.-Para cada base de datos de los Censos analizados, se extrajo la fecha en que el sitio de disposición final inicio operaciones. Es importante mencionar, sin embargo, que no todos los sitios de disposición cuentan con información de fecha de inicio. Para sitios que sí cuentan con esta información, y con fecha de inicio de operación anteriores a 2016, generalmente se tienen registros en todos los Censos, sin embargo, en ocasiones las fechas difieren entre cada uno. La asignación de fecha de inicio en este caso, se llevó a cabo cruzando datos de disposición disponibles con las fechas de inicio (la fecha de inicio tiene que ser anterior al dato de disposición más antiguo), y en caso de que este criterio no fuera aplicable, se tomó la fecha reportada en el Censo más antiguo. Finalmente, para sitios sin datos de fecha de inicio en ninguna versión del Censo, se tomó el promedio estatal de los sitios con datos. Siguiendo este procedimiento, se determinaron 1,948 sitios con al menos un dato de fecha de inicio, y 302 sitios cuya fecha de inicio se asignó con promedios estatales.

3.-La reconstrucción de la serie histórica se llevó a cabo relacionando la disposición final con la población de cada estado. Los datos de población históricos se tomaron de CONAPO (CONAPO, 2023). Para cada SDF, se consideró el dato más antiguo reportado o estimado como se describe en el punto uno, relacionando la disposición de dicho año con la población del estado correspondiente. De esta forma, se construyeron índices estatales de población tomando como referencia los años 2016, 2018, 2020 y 2022. La reconstrucción de las cantidades de RSU depositados de manera anual en cada SDF se llevó a cabo hasta el año de inicio de operaciones asignado. La serie histórica estimada abarca el periodo de 1980 a 2022, que será igualmente el periodo de estimación de las emisiones de metano.

Para la composición de los residuos depositados se tomaron los valores reportados en el Inventario nacional (Gobierno de México. SEMARNAT-INECC, 2022), los cuales a su vez provienen del Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos 2020 (DBGIR 2020), publicada por SEMARNAT (SEMARNAT, 2020). De acuerdo al DBGIR, se consideran 6 categorías de residuos con potencial de generar metano, los cuales son comida, jardín, madera y paja, pañales, papel y textiles, además de la categoría “otros”, que se considera está conformada por residuos que no aportan para la generación de metano. Los valores se dan para cada estado y categoría de residuos (ver Tabla 1).

Tabla 1. Composición de RSU por estado

Estado	Comida	Jardín	Papel	Madera y paja	Textiles	Pañales	Otros (No identificados)
Aguascalientes	45.1%	11.3%	16.5%	0.3%	0.8%	2.8%	23.2%
Baja California	29.8%	15.5%	13.1%	0.5%	4.1%	2.4%	34.7%
Baja California Sur	26.2%	9.4%	6.5%	1.3%	4.3%	6.5%	45.9%
Campeche	35.6%	18.2%	12.8%	2.9%	2.0%	0.3%	28.2%
Chiapas	64.0%	0.0%	0.6%	1.4%	0.0%	4.4%	29.7%



Estado	Comida	Jardín	Papel	Madera y paja	Textiles	Pañales	Otros (No identificados)
Chihuahua	25.0%	10.0%	15.0%	0.0%	0.0%	10.0%	40.0%
Coahuila	34.9%	3.9%	18.5%	2.6%	4.7%	0.0%	35.4%
Colima	47.3%	0.0%	8.7%	0.0%	3.3%	9.2%	31.5%
Durango	30.7%	9.9%	16.3%	1.1%	5.4%	6.4%	30.2%
Guanajuato	25.3%	18.3%	9.4%	0.2%	1.8%	6.8%	38.3%
Guerrero	25.7%	27.4%	15.8%	0.9%	0.9%	3.5%	25.8%
Hidalgo	32.8%	6.6%	13.4%	0.0%	1.5%	10.4%	35.2%
Jalisco	65.8%	2.2%	7.5%	0.0%	0.8%	0.0%	23.8%
Estado de México	37.1%	8.7%	2.9%	0.5%	2.1%	9.7%	38.9%
Michoacán	30.0%	10.0%	15.0%	10.0%	0.0%	5.0%	30.0%
Morelos	50.9%	4.9%	8.0%	0.4%	2.4%	10.5%	22.9%
Nayarit	53.8%	3.3%	12.3%	0.5%	1.0%	6.0%	23.1%
Nuevo León	58.6%	3.3%	14.0%	0.2%	2.3%	3.1%	18.6%
Oaxaca	35.6%	10.4%	3.1%	0.2%	1.7%	14.3%	34.7%
Puebla	61.3%	0.7%	15.5%	0.4%	2.9%	0.0%	19.3%
Querétaro	33.4%	10.4%	14.3%	0.9%	2.7%	4.3%	34.1%
Quintana Roo	42.1%	0.0%	7.9%	0.0%	4.9%	6.9%	38.4%
San Luis Potosí	30.7%	9.9%	16.3%	1.1%	5.4%	6.4%	30.2%
Sinaloa	23.5%	23.8%	20.7%	1.8%	3.0%	0.4%	26.8%
Sonora	46.0%	8.6%	13.2%	0.7%	3.9%	7.4%	20.2%
Tabasco	30.6%	18.2%	12.8%	2.9%	2.0%	1.3%	32.2%
Tamaulipas	56.0%	0.0%	18.0%	1.0%	2.0%	0.0%	23.0%
Tlaxcala	35.8%	13.7%	12.8%	0.5%	1.2%	3.1%	32.9%
Veracruz	42.7%	10.9%	6.8%	1.0%	1.0%	2.5%	35.1%
Yucatán	32.0%	2.0%	1.5%	0.0%	1.0%	10.0%	53.5%
Zacatecas	53.0%	15.0%	2.0%	0.0%	2.0%	17.0%	11.0%

Fuente: (Gobierno de México. SEMARNAT-INECC, 2022)

## Parámetros

Los valores de carbono orgánico degradable (**COD**), la fracción del carbono orgánico degradable que se descompone (**DOC<sub>r</sub>**), el factor de corrección para el metano (**MCF**) y la fracción de metano en biogás producido (F) se tomaron de valores por defecto del IPCC en las directrices del 2006 y el Refinamiento 2019 para el sector Residuos. De igual manera, estos valores son los utilizados en el Inventario Nacional 2019. La fracción de metano en el gas generado se consideró en 0.5 (50%) (ver Tabla 2).



Tabla 2. Valores de COD y CODf

Tipo de Residuo	COD	CODf
Comida	0.15	0.7
Jardín	0.2	0.7
Papel	0.4	0.5
Madera y paja	0.43	0.1
Textiles	0.24	0.5
Pañales	0.24	0.5

Para la asignación de los valores del factor de oxidación (**Ox**) se considera la información del CNGMD 2023 respecto a la frecuencia con la que se cubren los residuos en cada sitio particular. De acuerdo a esto, corresponde un valor Ox de 0.1 (o 10%) para sitios que se cubren de manera diaria, dos veces por semana y tres veces por semana. En caso contrario (frecuencia con que se cubren los residuos mayor a 3 veces a la semana, respuesta al Censo de “no aplica” o sin información), el valor Ox es 0. Los valores corresponden a valores por defecto de las directrices del IPCC 2006 (IPCC, 2006).

De acuerdo a información del CNGMD 2023, se clasificaron a los SDF en una de tres categorías, en función de las características constructivas, de infraestructura y operativas reportadas en el Censo, considerando los requerimientos de la NOM-083-SEMARNAT-2003; estas categorías son rellenos sanitarios, sitios controlados y sitios no controlados (tiraderos a cielo abierto). Para asignar el valor del MCF, se consideró que los rellenos sanitarios entran en la clasificación IPCC “sitio gestionado anaeróbico” y los sitios controlados en “Gestionado, semiaeróbico”. En cuanto a los tiraderos a cielo abierto, se clasificarían como “Sitio no gestionado”. Sin embargo, las directrices del IPCC indican valores de MCF diferenciados para esta última clasificación de acuerdo a la profundidad de las capas de residuos y del nivel de la capa freática. No se tiene información de estas variables para los sitios, por tanto, los tiraderos a cielo abierto se agruparon bajo la clasificación IPCC “SEDS no categorizados”, cuyo MCF es un promedio entre sitios no gestionados profundos y poco profundos (ver Tabla 3).

Tabla 3. Valores de MCF

Tipo de SDF	MCF
Relleno sanitario	1
Sitio controlado	0.5
Sitio no controlado	0.6

Los valores de la constante de reacción  $k$  se tomaron del Inventario Nacional, los cuales a su vez se derivan del Modelo Mexicano de Biogás Version 2.0 (U.S. EPA and SCS Engineers, 2009), y están dados por cada tipo de residuo y por estado (Ver tabla 4).



Tabla 4. Constante de reacción k

Estado	Alimenticios, otros orgánicos y 20% de pañales	Vegetales, poda, papel higiénico	Papel, cartón y textiles	Madera, caucho, piel, huesos y paja.
Aguascalientes	0.160	0.075	0.032	0.016
Baja California	0.100	0.050	0.020	0.010
Baja California Sur	0.100	0.050	0.020	0.010
Campeche	0.300	0.130	0.050	0.025
Chiapas	0.300	0.130	0.050	0.025
Chihuahua	0.100	0.050	0.020	0.010
Coahuila	0.100	0.050	0.020	0.010
Colima	0.220	0.100	0.040	0.020
Durango	0.100	0.050	0.020	0.010
Guanajuato	0.160	0.075	0.032	0.016
Guerrero	0.220	0.100	0.040	0.020
Hidalgo	0.160	0.075	0.032	0.016
Jalisco	0.220	0.100	0.040	0.020
Estado de México	0.160	0.075	0.032	0.016
Michoacán	0.220	0.100	0.040	0.020
Morelos	0.220	0.100	0.040	0.020
Nayarit	0.220	0.100	0.040	0.020
Nuevo León	0.150	0.070	0.030	0.015
Oaxaca	0.220	0.100	0.040	0.020
Puebla	0.160	0.075	0.032	0.016
Querétaro	0.160	0.075	0.032	0.016
Quintana Roo	0.300	0.130	0.050	0.025
San Luis Potosí	0.100	0.050	0.020	0.010
Sinaloa	0.220	0.100	0.040	0.020
Sonora	0.100	0.050	0.020	0.010
Tabasco	0.300	0.130	0.050	0.025
Tamaulipas	0.150	0.070	0.030	0.015
Tlaxcala	0.160	0.075	0.032	0.016
Veracruz	0.300	0.130	0.050	0.025
Yucatán	0.300	0.130	0.050	0.025
Zacatecas	0.100	0.050	0.020	0.010

Fuente: (Gobierno de México. SEMARNAT-INECC, 2022)



Se utilizaron las ecuaciones básicas del modelo de descomposición de primer orden del IPCC, considerando las suposiciones por defecto de las Directrices, esto es, que la generación de metano comienza el 1° de enero del año siguiente a la deposición de residuos en los SDF, con un tiempo de retardo promedio de 6 meses. No se consideraron en las estimaciones cantidades de metano recuperado, ya sea para quema en antorcha o para aprovechamiento energético. Los resultados arrojan las cantidades de metano generado de manera anual en cada uno de los 2,250 SDF registrados en 2022, abarcando un periodo de tiempo que va de 1980 hasta 2022. El periodo de tiempo para cada SDF particular dependerá de la fecha de inicio de operaciones considerada.

## Referencias

- CONAPO, 2023. Conciliación Demográfica de 1950 a 2019 y Proyecciones de la población de México y de las entidades federativas 2020 a 2070.
- Gobierno de México. SEMARNAT-INECC, 2022. México: Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero, 1990-2019. Gobierno de México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. e Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, Ciudad de México.
- INEGI, 2023. Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Demarcaciones Territoriales de la Ciudad de México 2023.
- IPCC, 2006. Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Preparado por el Programa de Inventarios de Gases de Efecto Invernadero. Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. y Tanabe K. (eds). IGES, Japón.
- SEMARNAT, 2020. Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Ciudad de México.
- U.S. EPA, SCS Engineers, 2009. User 's Manual Mexico Landfill Gas Model.