

INVENTARIO DE EMISIONES DE LA CIUDAD DE MÉXICO Y SU ZONA CONURBADA 2022

Contaminantes criterio, tóxicos, gases y compuestos de
efecto invernadero

MEMORIAS DE CÁLCULO



CIUDAD DE MÉXICO
CAPITAL DE LA TRANSFORMACIÓN

**SECRETARÍA DEL
MEDIO AMBIENTE**

INVENTARIO DE EMISIONES DE LA CIUDAD DE
MÉXICO Y SU ZONA CONURBADA

2022

CONTAMINANTES CRITERIO, TÓXICOS Y GASES Y
COMPUESTOS DE EFECTO INVERNADERO

MEMORIAS DE CÁLCULO

Citar este documento como:

Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México. 2025
Memoria de Cálculo del Inventario de Emisiones de la
Ciudad de México y su Zona Conurbada 2022.
Dirección General de Calidad del Aire,
Dirección de Proyectos de Calidad del Aire.
Ciudad de México. 2026.

D.R. © 2026

Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México.
Plaza de la Constitución No. 1, Piso 3,
Col. Centro, alcaldía Cuauhtémoc C.P. 06068,
Ciudad de México

www.sedema.cdmx.gob.mx

www.aire.cdmx.gob.mx



CIUDAD DE MÉXICO
CAPITAL DE LA TRANSFORMACIÓN

SEDEMA
DIRECCIÓN GENERAL
DE CALIDAD DEL AIRE

CONTENIDO

Capítulo 1 FUENTES PUNTUALES	9
Capítulo 2 FUENTES DE ÁREA	27
Capítulo 3 FUENTES MÓVILES	88
Capítulo 4 FUENTES NATURALES	118

TABLA DE CONTENIDOS

Capítulo 1 FUENTES PUNTUALES	9
Emisiones contaminantes	10
Técnicas de estimación de emisiones	11
Contaminantes criterio y gases de efecto invernadero	11
Metodología de estimación de emisiones	12
Emisiones de combustión	12
Uso de factores de emisión	12
Uso de medición directa	13
Emisiones de proceso	14
Uso de factores de emisión	15
Emisiones por uso de grasas y lubricantes	16
Emisiones de hidrofluorocarbonos, HFC	16
Balance de materiales	17
Contaminantes tóxicos	17
Clasificación de sustancias tóxicas	19
Estimación de emisiones de carbono negro	19
Factores de emisión utilizados	20
Capítulo 2 FUENTES DE ÁREA	27
Combustión e Hidrocarburos no quemados (HCNQ)	28
Combustión	28
HCNQ en la combustión de gas LP	30
Fuentes móviles que no circulan por carreteras	31
Operaciones de locomotoras	31
Operación de aeronaves	33
Terminales de autobuses	34
Maquinaria	35
Uso de solventes y productos que los contienen	36
Estimación de emisiones por empleado	36
Estimación de emisiones por consumo	37
Estimación de emisiones per cápita	39
Estimación de emisiones por establecimiento	39
Estimación por longitud de vialidades pavimentadas – Aplicación de Asfalto	42
Distribución, fugas y almacenamiento de combustibles	43
Almacenamiento, distribución y venta de gasolina	43
Carga de combustible en aeronaves	46
Almacenamiento y distribución de gas LP	47
Fugas en instalaciones de gas LP	48
Fuentes industriales y comerciales	49
Panaderías	49
Esterilización en hospitales	50

Ladrilleras	51
Manejo de residuos urbanos	51
Rellenos Sanitarios.....	52
Tratamiento biológico de Residuos	52
Quema de residuos a cielo abierto.....	53
Residuos sólidos no gestionados	54
Aguas Residuales	55
Fuentes misceláneas	57
Mantenimiento de aires acondicionados domésticos.....	57
Incendios en estructuras	58
Incendios forestales.....	59
Quemas controladas	61
Emisiones domésticas.....	62
Vialidades pavimentadas.....	63
Vialidades no pavimentadas	65
Asados al carbón.....	68
Agricultura.....	69
Aplicación de plaguicidas	69
Aplicación de fertilizantes	70
Quemas agrícolas	71
Labranza agrícola.....	73
Ganadería.....	75
Corrales en engorda	75
Emisiones ganaderas de amoníaco	76
Fermentación entérica	77
Manejo de estiércol	78
Actividades de la construcción.....	80
Emisiones por construcción y demolición	80
Construcción de vialidades.....	82
Balance de Energía	83
Especiación de contaminantes tóxicos	84
Capítulo 3 FUENTES MÓVILES	88
Flota vehicular.....	90
Actividad vehicular	94
Cálculo de emisiones	99
Contaminantes tóxicos	104
Emisiones por uso de aires acondicionados	104
Anexo. Fuentes Móviles	106
Capítulo 4 FUENTES NATURALES	118
Vegetación y suelos	119
Erosión eólica del suelo	119
Especiación de compuestos Tóxicos	123

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1. FE de contaminantes criterio, para combustión	20
Tabla 1-2. FE de GEI por combustión	21
Tabla 1-3. FE de las actividades más comunes para COV	21
Tabla 1-4. FE de PM10 para las actividades más comunes	22
Tabla 1-5. Factores de emisión por actividad, emisiones de proceso	24
Tabla 1-6. Factor de emisión de HFC	24
Tabla 1-7. Claves de los perfiles de especiación	24
Tabla 2-1. Factores de emisión por tipo de combustible y sector	28
Tabla 2-2. Factores de emisión de GEI por tipo de combustible y sector	29
Tabla 2-3. Consumo de gas LP por sector en la CDMXyZC	30
Tabla 2-4. Consumo de gas natural por sector en la CDMXyZC	30
Tabla 2-5. Consumo de leña, diésel y carbón por sector en la CDMXyZC	30
Tabla 2-6. Factores de emisión por HCNQ durante la combustión	31
Tabla 2-7. Número de viviendas por tipo de equipamiento en la CDMXyZC	31
Tabla 2-8. Volumen de gas LP en la CDMXyZC 2022	31
Tabla 2-9. Factores de emisión para locomotoras	32
Tabla 2-10. Combustible consumido por locomotoras	32
Tabla 2-11. Reporte de operaciones por aeropuerto	33
Tabla 2-12. Reporte de operaciones comerciales por aeropuerto	33
Tabla 2-13. Reporte de operaciones especiales y consumo de combustible	34
Tabla 2-14. Factores de emisión para operaciones especiales	34
Tabla 2-15. Número de corridas por terminal (centrales e individuales) 2022	35
Tabla 2-16. Archivos de entrada en el modelo MOVES-CDMX	35
Tabla 2-17. Contribución para distribución geográfica de las emisiones en la CDMXyZC, 2022	35
Tabla 2-18. Factores de emisión para limpieza de superficies industriales	36
Tabla 2-19. Factor de emisión por Lavado en seco – gas nafta	37
Tabla 2-20. Número de establecimientos y empleados	37
Tabla 2-21. Factores de emisión por uso de recubrimientos arquitectónicos	38
Tabla 2-22. Factores de emisión para la pintura de tránsito	38
Tabla 2-23. Factores de emisión para pinturas en aerosol	39
Tabla 2-24. Factores de emisión per cápita	39
Tabla 2-25. Población de la Ciudad de México y su Zona Conurbada 2022	39
Tabla 2-26. Número de establecimientos	40
Tabla 2-27. Factores de emisión de COV para artes gráficas	40
Tabla 2-28. Número de establecimiento de repintado automotriz	40
Tabla 2-29. Factores de emisión por tipo de recubrimiento para repintado automotriz	41
Tabla 2-30. Factor de emisión para lavado en seco	41
Tabla 2-31. Factores de emisión para recubrimientos de superficies industriales	42
Tabla 2-32. Variables para el cálculo de emisiones por aplicación de asfalto	42
Tabla 2-33. Cantidad de mezcla asfáltica aplicada e infraestructura de carretera	42
Tabla 2-34. Factores de emisión para la distribución de gasolinas por etapa	46
Tabla 2-35. Consumo de gasolina en la CDMXyZC [m ³ /año]	46
Tabla 2-36. Propiedades y factor de emisión de la turbosina por Aeropuerto	47
Tabla 2-37. Volumen mensual de carga de combustible en aeronaves	47
Tabla 2-38. Factores de emisión por almacenamiento y distribución de gas LP	47
Tabla 2-39. Gas LP almacenado y distribuido en la CDMXyZC	48
Tabla 2-40. Factores de emisión por fugas domésticas de gas LP	49
Tabla 2-41. Factores de emisión por fugas en los sectores industrial y servicios	49
Tabla 2-42. Factores de emisión de COT [t/establecimiento-año]	50
Tabla 2-43. Número de establecimiento por entidad 2022	50
Tabla 2-44. Factores de emisión COT para esterilización en hospitales	50
Tabla 2-45. Ladrillos fabricados y combustible consumido por entidad	51

Tabla 2-46. Factores de emisión por fabricación y manejo de materiales	51
Tabla 2-47. Residuos orgánicos tratados por compostaje y digestión anaerobia	52
Tabla 2-48. Factores de emisión para compostaje y digestión anaerobia	52
Tabla 2-49. Cantidad de residuos sólidos quemados	54
Tabla 2-50. Factor de emisión por quema de residuos	54
Tabla 2-51. Datos de entrada al software de IPCC para RSNG	54
Tabla 2-52. Volumen de agua tratada y No tratada en la CDMXyZC	55
Tabla 2-53. Volumen de aguas tratadas, TOW doméstico tratado y sin tratar	56
Tabla 2-54. Agua residual industrial tratada, TOW industrial tratado y sin tratar	56
Tabla 2-55. Aires acondicionados por entidad	57
Tabla 2-56. Factores de emisión para incendios en estructuras y en vehículos	58
Tabla 2-57. Número de incendios por tipo de estructura y entidad federativa	58
Tabla 2-58. Material estructural susceptible a ser combustible	59
Tabla 2-59. Factores de Emisión por especie afectada	60
Tabla 2-60. Carga de combustible y factor de emisión por incendios forestales	60
Tabla 2-61. Superficie afectada por entidad	60
Tabla 2-62. Suelo afectado de pastos por alcaldía en la CDMX	61
Tabla 2-63. Suelo afectado por tipo de vegetación y municipio EDOMEX	61
Tabla 2-64. Categorías y factores de emisión de amoníaco (NH ₃)	62
Tabla 2-65. Factores de emisiones para partículas y CO ₂	62
Tabla 2-66. Dato de actividad de la categoría	63
Tabla 2-67. Valores de carga de material (sL)	64
Tabla 2-68. Días con más de 0.254 mm de precipitación por temporada	64
Tabla 2-69. Factores de emisión promedio para tráfico intenso	64
Tabla 2-70. Factores de emisión promedio para tráfico escaso	64
Tabla 2-71. Porcentaje de KRV en Vialidades de tráfico intenso y escaso	64
Tabla 2-72. Valores de las constantes de la ecuación para partículas	65
Tabla 2-73. Porcentaje promedio de humedad del material superficial del suelo	66
Tabla 2-74. Factores de emisión por temporada	66
Tabla 2-75. Porcentaje de terracería por alcaldía y municipios de la CDMXyZC	67
Tabla 2-76. Consumo de carne y carbón en la CDMXyZC	68
Tabla 2-77. Factores de emisión para asados al carbón	69
Tabla 2-78. Información técnica y factores de emisión de los plaguicidas aplicados	69
Tabla 2-79. Superficie por cultivo por entidad	69
Tabla 2-80. Cantidad de plaguicida aplicado por entidad y cultivo	70
Tabla 2-81. Datos técnicos y factor de emisión para estimación de NH ₃	70
Tabla 2-82. Superficie fertilizada por cultivo y entidad	71
Tabla 2-83. Suelo agrícola afectado por tipo de cultivo CDMX [ha]	72
Tabla 2-84. Suelo agrícola afectado por tipo de cultivo EDOMEX [ha]	72
Tabla 2-85. Factor de emisión y carga de combustible por tipo de cultivo [t/t]	72
Tabla 2-86. Factores de emisión para labranza agrícola por tipo de cultivo	73
Tabla 2-87. Superficie sembrada y cosechada [ha]	74
Tabla 2-88. Factores de emisión de partículas en corrales de engorda	76
Tabla 2-89. Población de ganado bovino en corrales de la CDMXyZC	76
Tabla 2-90. Factores de emisión de amoníaco por tipo de ganado	77
Tabla 2-91. Población ganadera en la CDMXyZC	77
Tabla 2-92. Factores de emisión de metano por fermentación entérica	78
Tabla 2-93. Parámetros para obtener el promedio anual de excreción de N por cabeza	79
Tabla 2-94. Factor de emisión de N ₂ O para cada especie	79
Tabla 2-95. Factores de emisión de metano por manejo de estiércol	80
Tabla 2-96. Superficie construida y volumen de residuos de la construcción generados en CDMX	80
Tabla 2-97. Volumen de demolición y cantidad total desechada de residuos en CDMX	81
Tabla 2-98. Factores de emisión para actividades globales de la construcción	81
Tabla 2-99. Factor de emisión por actividad de demolición [lb/ft ³]	82

MEMORIA DE CÁLCULO

Tabla 2-100. Factores de emisión para carga y descarga de materiales por temporada	82
Tabla 2-101. Obtención de factor de conversión de energía	84
Tabla 2-102. Consumo energético en la CDMXyZC durante 2022	84
Tabla 2-103. Lista por categoría de los perfiles de especiación base COT	85
Tabla 2-104. Listado de categorías de los perfiles de especiación base PM10	87
Tabla 3-1. Flota vehicular por tipo de combustible y tecnología para la CDMXyZC, 2022	90
Tabla 3-2. Flota vehicular por tipo de combustible y tecnología para la CDMX, 2022	91
Tabla 3-3. Flota vehicular por tipo de combustible y tecnología para el EDOMEX, 2022	91
Tabla 3-4. Flota vehicular por tipo de combustible y tecnología en Tizayuca, 2022	91
Tabla 3-5. Flota vehicular por año modelo de la CDMXyZC, 2022	92
Tabla 3-6. Flota vehicular por año modelo de la CDMX, 2022	92
Tabla 3-7. Flota vehicular por año modelo para el Estado de México, 2022	93
Tabla 3-8. Flota vehicular por año modelo para Tizayuca, 2022	93
Tabla 3-9. Actividad diaria por año modelo para vehículos ligeros	95
Tabla 3-10. Actividad de la flota vehicular	95
Tabla 3-11. Días de circulación utilizados para la obtención de kilómetros recorridos	96
Tabla 3-12. KRV por tipo de vehículo y año modelo para la CDMXyZC, 2022	96
Tabla 3-13. KRV por tipo de vehículo y año modelo para la CDMX, 2022	97
Tabla 3-14. KRV por tipo de vehículo y año modelo para el Estado de México, 2022	98
Tabla 3-15. KRV por tipo de vehículo y año modelo para la Tizayuca, 2022	98
Tabla 3-16. Clasificación vehicular requerida en MOVES	99
Tabla 3-17. Factores de emisión HCNM, CO ₂ , CO y NO _x para vehículos a GN y GLP	101
Tabla 3-18. Factores de emisión ponderados para vehículos a gasolina en la CDMX, 2022	102
Tabla 3-19. Factores de emisión ponderados para vehículos a diésel en la CDMX, 2022	102
Tabla 3-20. Factores de emisión ponderados para vehículos a gasolina para el EDOMEX, 2022 ...	103
Tabla 3-21. Factores de emisión ponderados para vehículos a diésel para el EDOMEX, 2022	103
Tabla 3-22. Factores de emisión ponderados para vehículos a gasolina para la CDMXyZC, 2022 .	103
Tabla 3-23. Factores de emisión ponderados para vehículos a diésel para la CDMXyZC, 2022	104
Tabla 3-24. Flota vehicular que usa aire acondicionado en la CDMXyZC 2022	105
Tabla 3-25. Ejemplo de cálculo para obtener emisiones de aire acondicionado de autos particulares	105
Tabla 3-26. Emisión de PM10 por año modelo y tipo de vehículo de la CDMXyZC 2022	106
Tabla 3-27. Emisión de PM2.5 por año modelo y tipo de vehículo de la CDMXyZC 2022	107
Tabla 3-28. Emisión de SO ₂ por año modelo y tipo de vehículo de la CDMXyZC 2022	108
Tabla 3-29. Emisión de CO por año modelo y tipo de vehículo de la CDMXyZC 2022	109
Tabla 3-30. Emisión de NO _x por año modelo y tipo de vehículo de la CDMXyZC 2022	110
Tabla 3-31. Emisión de COT por año modelo y tipo de vehículo de la CDMXyZC 2022	111
Tabla 3-32. Emisión de COV por año modelo y tipo de vehículo de la CDMXyZC 2022	112
Tabla 3-33. Emisión de tóxicos por año modelo y tipo de vehículo de la CDMXyZC 2022	113
Tabla 3-34. Emisión de CN por año modelo y tipo de vehículo de la CDMXyZC 2022	114
Tabla 3-35. Emisión de CO ₂ por año modelo y tipo de vehículo de la CDMXyZC 2022	115
Tabla 3-36. Emisión de CH ₄ por año modelo y tipo de vehículo de la CDMXyZC 2022	116
Tabla 3-37. Emisión de N ₂ O por año modelo y tipo de vehículo de la CDMXyZC 2022	117
Tabla 4-1. Contaminante por año, mes, día y celda	119
Tabla 4-2. Alcaldías y municipios de la CDMXyZC por región	120
Tabla 4-3. Valor promedio de variables meteorológicas por región	121
Tabla 4-4. Parámetros para el cálculo de erosión eólica por temporada y región	122
Tabla 4-5. Contaminantes tóxicos generados por la vegetación	123
Tabla 4-6. Perfil de especiación para erosión eólica	123

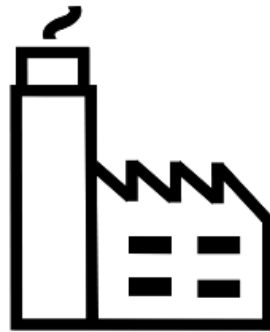
ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1. Etapas para el cálculo de emisiones de combustión	12
Figura 1-2. Etapas para el cálculo de emisiones de proceso.....	15
Figura 1-3. Metodología general de cálculo de emisiones tóxicas	18
Figura 2-1. Etapas de emisión de COV en estaciones de servicio.....	43
Figura 3-1. Proceso de desarrollo del inventario de fuentes móviles de la CDMXyZC, 2022	89
Figura 3-2. Información requerida por MOVES	100
Figura 3-3. Administración de tablas de entrada en MOVES	100

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1-1. FE, combustión, emisión sin control	12
Ecuación 1-2. FE, combustión, emisión con control.....	13
Ecuación 1-3. FE, combustión, emisión total	13
Ecuación 1-4. Medición directa, emisión sin control	13
Ecuación 1-5. Medición directa, emisión con control.....	13
Ecuación 1-6. Medición directa, emisión total	13
Ecuación 1-7. FE, proceso, emisión sin control	15
Ecuación 1-8. FE, proceso, emisión con control	15
Ecuación 1-9. FE, proceso, emisión total	15
Ecuación 1-10. Emisiones de proceso, grasas y lubricantes	16
Ecuación 1-11. Emisiones de proceso, HFC	16
Ecuación 1-12. Emisión de la especie n, asociada a la sustancia i	19
Ecuación 1-13. Emisión de especie pura.....	19
Ecuación 1-14. Emisión de Carbono negro, asociada a la emisión de PM2.5	19
Ecuación 3-1. FE, combustión, emisión sin control	89
Ecuación 3-2. Cálculo de los kilómetros recorridos (KRV)	96
Ecuación 3-3. Cálculo de las emisiones de HFC.....	105
Ecuación 4-1. Cálculo de emisión de contaminante por partículas	121
Ecuación 4-2. Cálculo del factor climático.....	122

Capítulo 1 FUENTES PUNTUALES



FUENTES PUNTUALES

El inventario de emisiones de fuentes puntuales de la Ciudad de México y su Zona Conurbada (CDMXyZC) del año 2022, se integra de la estimación de industrias, comercios y servicios regulados. Respecto a industria, está integrado por 1,455 establecimientos, de los cuales, 845 se encuentran ubicados en la Ciudad de México (CDMX), 567 en el Estado de México (EDOMEX) y 43 en el municipio de Tizayuca, Hidalgo. En cuanto a los comercios y servicios, se tiene registro de un total de 4,430 establecimientos, de éstos, 4,387 están ubicados en la Ciudad de México y reportaron su desempeño ambiental ante la Secretaría de Medio Ambiente del Gobierno de la Ciudad de México (SEDEMA); por su parte, el Estado de México compartió la información de 40 establecimientos mientras que el municipio de Tizayuca reportó 3 establecimientos regulados.

Para las emisiones de las fuentes fijas de jurisdicción local de la CDMX, se utilizaron los datos del Anexo A (Emisiones a la atmósfera) y Anexo E (Registro y Transferencia de Contaminantes, RETC) de la Licencia Ambiental Única para la Ciudad de México (LAU-CDMX).

Con respecto a las emisiones de jurisdicción federal de la CDMXyZC, la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) realizó las estimaciones de contaminantes criterio a partir de los datos reportados en las Cédulas de Operación Anual (COA) de cada establecimiento.

Por su parte, el Instituto Estatal de Energía y Cambio Climático compartió las emisiones de contaminantes criterio de los establecimientos de jurisdicción local de los 59 municipios conurbados, mismas que se estimaron de los datos registrados en las Cédulas de Operación Integral (COI). Para la estimación de las emisiones de jurisdicción local del municipio de Tizayuca, la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales del estado de Hidalgo (SEMARNATH), proporcionó la base industrial 2020 con las emisiones estimadas a partir de los reportes de la Cédula de Operación Anual (COA) y que se proyectaron a 2022 utilizando la tasa de crecimiento del producto interno bruto (PIB) para cada sector industrial.

Emisiones contaminantes

Las emisiones se pueden clasificar por la forma en la que son emitidas en emisiones conducidas y no conducidas:

Las **emisiones conducidas** son las descargas de emisiones a la atmósfera canalizadas a través de ductos o chimeneas. La conducción de las emisiones y la instalación de plataformas y puertos de muestreo permite realizar mediciones en fuente.

Las **emisiones no conducidas**, también conocidas como emisiones fugitivas, son descargas de emisiones a la atmósfera que no son canalizadas por medio de ductos o chimeneas, sino que se descargan directamente a la atmósfera. Este tipo de emisiones no se cuantifican con muestreos directos en fuente, se cuantifican por métodos indirectos, como el uso de factores de emisión o de balances de materiales.

También, dependiendo del origen a las emisiones, se pueden clasificar en emisiones de combustión y emisiones de proceso.

Las **emisiones de combustión** provienen de la quema de combustibles en equipos de combustión, generando contaminantes como el dióxido de carbono, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, partículas, compuestos orgánicos volátiles, entre otros, dependiendo del combustible utilizado. A nivel industrial, los combustibles más comúnmente usados son el gas natural (GN), gas licuado del petróleo (GLP), diésel, gasolina, entre los principales.

Las **emisiones de proceso** provienen de otras actividades que no involucran la quema de combustible, tales como, manejo de materiales, limpieza y desengrase, uso de solventes, entre otras.

Para mitigar o controlar las emisiones, se pueden utilizar equipos o sistemas de control de emisiones, para diferentes contaminantes. Sin embargo, no se pueden controlar la totalidad de las emisiones pues la eficiencia de los equipos no llega a ser del 100%. Las emisiones que se generan se pueden clasificar como emisiones controladas y emisiones sin control. Las **emisiones controladas** son aquellas que no son liberadas a la atmósfera por la acción del equipo de control y las **emisiones sin control** son las que se dan a la salida del equipo de control, que el equipo no logró retener o controlar.

Técnicas de estimación de emisiones.

La cuantificación de las emisiones se realiza a través de métodos de estimación directos e indirectos.

Métodos directos: utilizan equipos especializados para recolectar muestras de los gases emitidos a través de chimeneas y medir la concentración de los contaminantes analizados.

Métodos indirectos: utilizan información asociada al proceso para la determinación de las emisiones producidas, tal como el consumo de materias primas que se someten a un proceso productivo, o el consumo de combustible utilizado, así como factores de emisión asociados. En esta categoría se encuentra también la estimación de emisiones por balance de materiales.

Contaminantes criterio y gases de efecto invernadero.

Los contaminantes criterio son aquellos para los cuales se han establecido criterios y límites máximos permisibles de concentración en el aire ambiente. Estos criterios se basan en investigaciones científicas que evalúan los efectos de estos contaminantes en la salud humana y el bienestar de la población. Los principales contaminantes criterio evaluados en este inventario son las partículas suspendidas (partículas suspendidas totales PST, partículas con diámetro aerodinámico menor a 10 micras y 2.5 micras, PM10 y PM2.5 respectivamente), el dióxido de azufre (SO₂), el monóxido de carbono (CO), los óxidos de nitrógeno (NO_x), y los compuestos orgánicos volátiles, COV.

Los gases de efecto invernadero (GEI), son contaminantes gaseosos que tienen la capacidad de absorber y reemitir el calor en la atmósfera y son los responsables del calentamiento global acelerado. Los principales GEI son el dióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄), el óxido nitroso (N₂O), los gases fluorados, HFC, además del carbono negro, que es un contaminante climático de vida corta que junto con los GEI conforma a los Gases y Compuestos de Efecto Invernadero (GyCEI).

Metodología de estimación de emisiones.

A continuación, se describe la metodología general para la estimación de emisiones.

Emisiones de combustión.

El siguiente diagrama muestra el procedimiento de cálculo de emisiones por combustión.

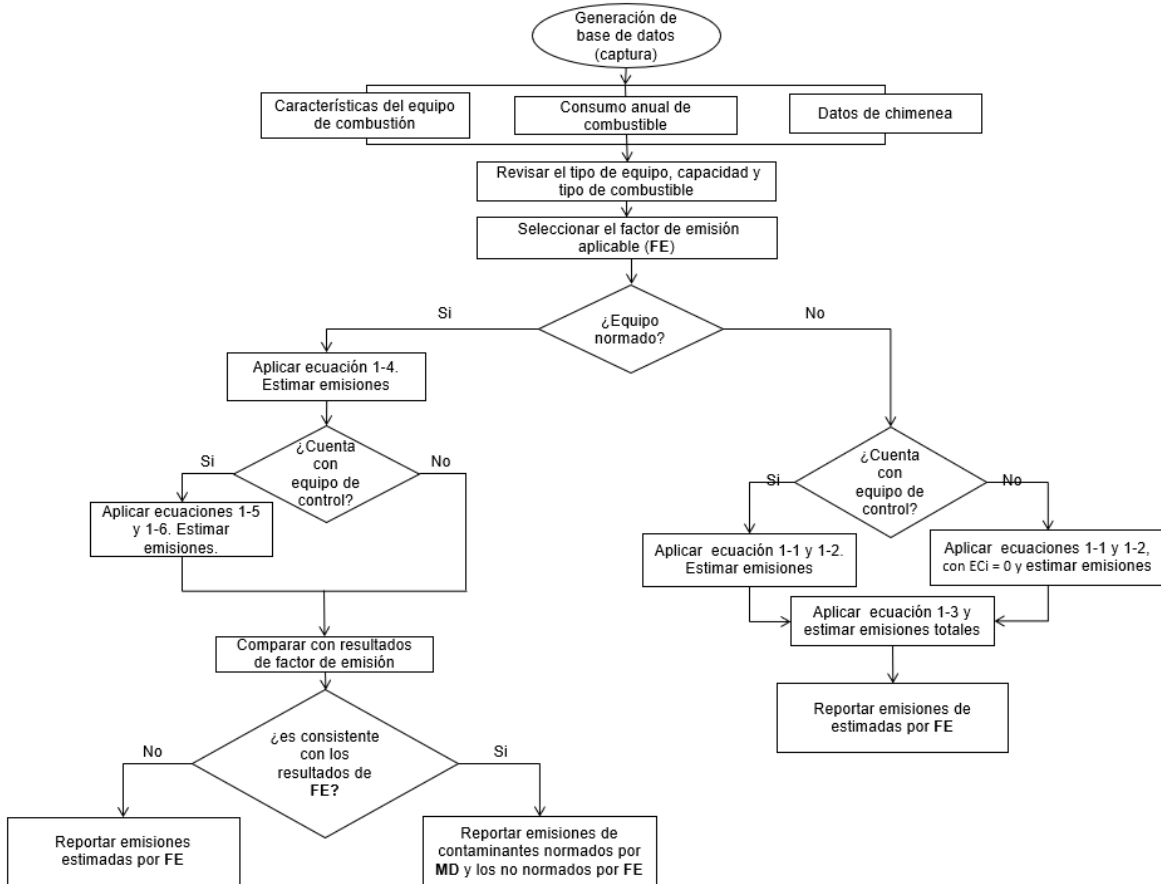


Figura 1-1. Etapas para el cálculo de emisiones de combustión

Uso de factores de emisión.

Para calcular las emisiones utilizando **factores de emisión (FE)**, es necesario conocer el tipo de equipo y su capacidad térmica, el tipo y cantidad de combustible que utiliza y el factor de emisión asociado.

Cuando se instala un equipo de control, dado que la eficiencia de control es menor al 100%, una parte de las emisiones no se controla, y se conoce como emisión sin control. Mientras que aquellas emisiones que el equipo pudo retener y/o evitar que se emitan a la atmósfera, se denominan emisiones con control. Para estimarlas se deben emplear las siguientes ecuaciones:

Ecuación 1-1. FE, combustión, emisión sin control

$$E_{SC,i} = A_k \cdot FE_{i,k} \cdot (1 - EC_i/100) \cdot 10^{-3}$$

Ecuación 1-2. FE, combustión, emisión con control

$$E_{CC,i} = A_k \cdot FE_{i,k} \cdot (EC_i/100) \cdot 10^{-3}$$

Ecuación 1-3. FE, combustión, emisión total

$$E_{total,i} = E_{SC,i} + E_{CC,i} = A_k \cdot FE_{i,k}$$

Dónde:

- $E_{SC,i}$ = emisión sin control de contaminante i, [t/año]
 $E_{CC,i}$ = emisión con control de contaminante i, [t/año]
 $E_{total,i}$ = emisión total de contaminante i, [t/año]
 A_k = volumen de combustible k, [m³/año]
 $FE_{i,k}$ = factor de emisión del contaminante i, del combustible k, [kg/m³]
 EC_i = eficiencia de control del contaminante i, [%]
 10^{-3} = factor de conversión de kilogramos a toneladas.

Nótese que cuando no se tiene instalado un equipo de control, la eficiencia de control EC_i y la emisión con control $E_{CC,i}$ son iguales a cero. Cabe mencionar que, para los GEI, no se tienen identificados equipos de control de emisiones en las industrias evaluadas.

Uso de medición directa.

Para determinar la emisión proveniente del muestreo en fuente, se utiliza la información contenida en los reportes de los estudios de emisiones, realizados por un laboratorio autorizado. Se requiere conocer las características de la chimenea por donde es emitido el contaminante, tales como el diámetro, la geometría, la altura, la distancia entre puertos (para validación del estudio), así como las horas de operación del equipo. Las ecuaciones que se utilizan son las siguientes:

Ecuación 1-4. Medición directa, emisión sin control

$$E_{SC,k,i} = H_k \cdot Gv_k \cdot C_{i,k} \cdot fc \cdot 10^{-9}$$

Ecuación 1-5. Medición directa, emisión con control

$$E_{CC,k,i} = E_{SC,k,i} \cdot \eta_i / (100 - \eta_i)$$

Ecuación 1-6. Medición directa, emisión total

$$E_{tot,k,i} = E_{CC,k,i} + E_{SC,k,i}$$

Dónde:

- $E_{SC,k,i}$ = emisión del contaminante i, del equipo k, sin control, [t/año]
 $E_{CC,k,i}$ = emisión del contaminante i, del equipo k, con control, [t/año]
 $E_{tot,k,i}$ = emisión total del contaminante i, del equipo k, [t/año]
 H_k = horas al año trabajadas por el equipo k, [h/año]
 Gv_k = gasto volumétrico del equipo k, a condiciones normales de presión y temperatura en base seca [m³/h]
 $C_{i,k}$ = concentración del contaminante i, del equipo k, en [ppm_v] o en [mg/m³] para partículas
 10^9 = factor de conversión de miligramos a toneladas
 η_i = eficiencia de control del contaminante i, del equipo de control, [%]
 fc = factor de conversión de la concentración de partes por millón-volumen a miligramos por metro cúbico:

Contaminante	Factor de conversión, fc
PST, PM10 o PM2.5	1
SO ₂	2.62
CO	1.14
NO _x	1.88

Nótese que cuando no se cuenta con un equipo de control, η_i y $E_{CC,k,i}$ son iguales a cero (0) y, por lo tanto, $E_{tot,k,i} = E_{SC,k,i}$.

Cuando se estiman emisiones por medición directa con los resultados del muestreo en fuente, para contaminantes normados (PST, CO, NO_x y/o SO₂), los resultados obtenidos se comparan con los resultados de la estimación por factor de emisión, para validación del muestreo, es decir, que los resultados no estén sobre o subestimados. Cuando los resultados son consistentes, se opta por tomar los resultados obtenidos por la medición directa. Sin embargo, no siempre existen factores de emisión aplicables o datos de actividad disponibles o con la desagregación adecuada.

Cabe mencionar que la metodología para estimar emisiones de proceso por medición directa es la misma, por lo que se utilizan estas mismas ecuaciones.

Emisiones de proceso

Las emisiones de procesos industriales son generadas durante la transformación de la materia prima en los productos finales, por el uso de solventes en mantenimiento para limpieza y desengrase, así como por el uso de gases fluorados, principalmente hidrofluorocarbonos (HFC), aunque también se pueden emitir perfluorocarbonos (PFC), hexafluoruro de azufre (SF₆) y trifluoruro de nitrógeno (NF₃). Los comercios y servicios también generan emisiones de proceso, por el uso de insumos con contenido de COV. Para el cálculo de emisiones por proceso, además del uso de factores de emisión y muestreo en fuente, se pueden utilizar el método de balance de materiales (BM).

Para poder realizar el cálculo por factores de emisión, se requiere identificar:

- la actividad o equipo generador de emisiones,
- las materias primas utilizadas,
- los productos obtenidos,
- los equipos de control instalados.

La siguiente figura muestra los pasos para el cálculo de emisiones por proceso.

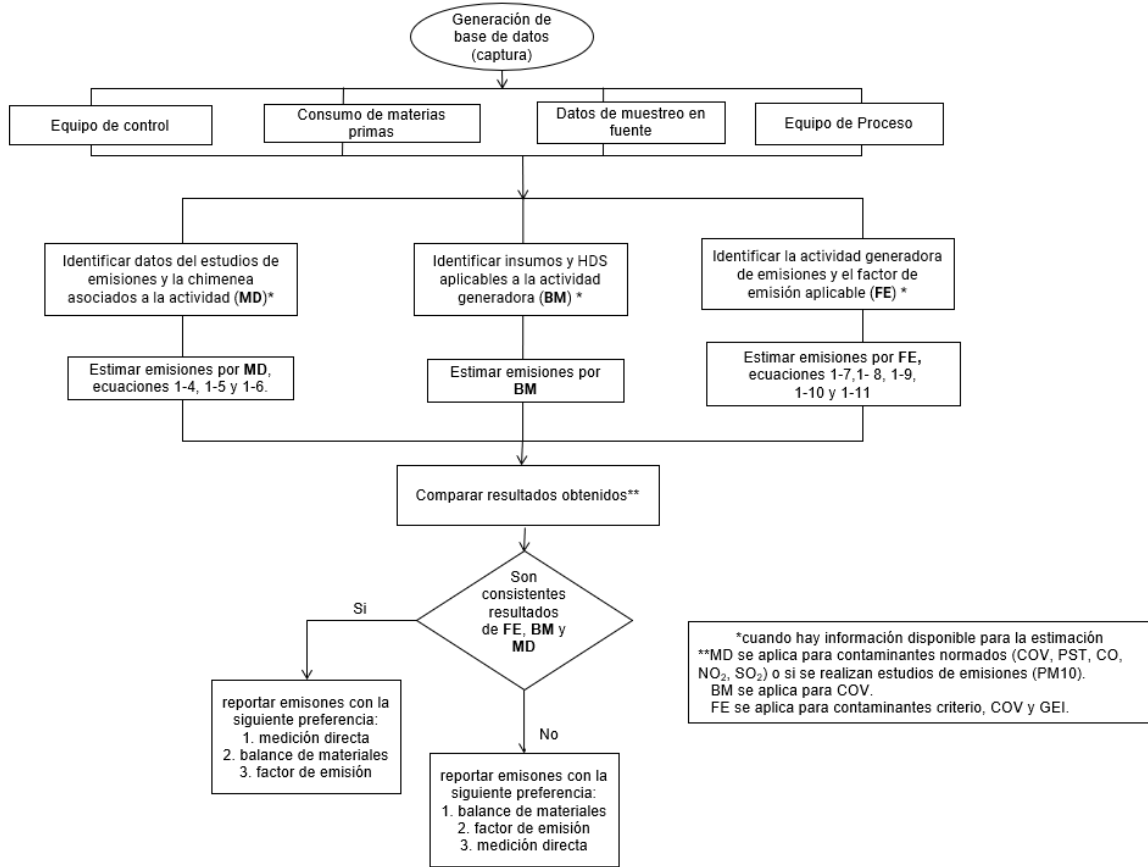


Figura 1-2. Etapas para el cálculo de emisiones de proceso.
 FE: Factor de Emisión, BM: Balance de Materia, MD: Medición Directa

Uso de factores de emisión.

La metodología es similar a la utilizada en la estimación de emisiones de combustión. Sin embargo, cuando se utilizan factores de emisión para la cuantificación de emisiones de proceso, es necesario tener en cuenta las características de cada proceso productivo, para elegir correctamente el factor de emisión y homologar las unidades del dato de actividad relacionado a la materia prima o producto, con las unidades del factor de emisión.

Para el cálculo de emisiones se utiliza las siguientes ecuaciones:

Ecuación 1-7. FE, proceso, emisión sin control

$$E_{SC,i} = A \cdot FE \cdot (1 - EC_i/100)$$

Ecuación 1-8. FE, proceso, emisión con control

$$E_{CC,i} = A \cdot FE \cdot (EC_i/100)$$

Ecuación 1-9. FE, proceso, emisión total

$$E_{Total,i} = E_{SC,i} + E_{CC,i} = A \cdot FE$$

Dónde:

- $E_{SC,i}$ = emisión del contaminante i, sin control, [t/año]
 $E_{CC,i}$ = emisión del contaminante i, con control, [t/año]
 $E_{Total,i}$ = emisión total del contaminante i, [t/año]
A = actividad, materia prima o producto, [(unidades de actividad)/año]
FE = factor de emisión, [t/(unidades de actividad)]
 EC_i = eficiencia del sistema de control del contaminante i, [%].

Nota: *Unidades de actividad* se refiere a la medida cuantitativa de la actividad que resulta en la liberación de emisiones contaminantes a la atmósfera. Es decir, son las unidades de la actividad que genera la emisión.

Hay procesos para los cuales existen metodologías establecidas para la estimación de sus emisiones. A continuación se describe la metodología utilizada para cada uno de ellos.

Emisiones por uso de grasas y lubricantes

Algunas empresas utilizan grasas y lubricantes, que durante su uso emiten CO₂. Para estimar sus emisiones se empleó la metodología descrita en el capítulo 5. *Uso de productos no energéticos de combustibles y solventes* (IPCC, 2006). La ecuación para calcular las emisiones por uso de lubricantes y aceites es la siguiente:

Ecuación 1-10. Emisiones de proceso, grasas y lubricantes

$$E_{CO_2} = LC \cdot CC_{lub} \cdot ODU_{lub} \cdot 44/12$$

Dónde:

- E_{CO_2} = emisión de CO₂, [t/año]
LC = consumo total del lubricante, [TJ]
 CC_{lub} = contenido de carbono de los lubricantes, [t/TJ]. (20 t/TJ)
 ODU_{lub} = factor ODU, adimensional. Para lubricantes 0.2; para grasas 0.05.
44/12 = relación de masa del CO₂/carbono

Emisiones de hidrofluorocarbonos, HFC

Los hidrofluorocarbonos (HFC) son compuestos que contienen átomos de hidrógeno, flúor y carbono, clasificados como gases de efecto invernadero que tienen un potencial de calentamiento global (PCG) considerablemente mayor al del CO₂. Son utilizados principalmente en equipos de refrigeración y aires acondicionados. La metodología para estimar emisiones de HFC se obtuvo de las Directrices del IPCC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, que describen los niveles para estimar las emisiones de HFC, de acuerdo a la información con la que se cuenta para estimar esta categoría. En este inventario se utilizó el método de nivel 2 que toma en cuenta el consumo de HFC y la emisión fugitiva a lo largo del tiempo. Para la estimación de las emisiones de HFC se utiliza la siguiente ecuación:

Ecuación 1-11. Emisiones de proceso, HFC

$$E_{carga} = M \cdot k / 100$$

Dónde:

- E_{carga} = emisiones de HFC, [t/año]
M = cantidad de HFC cargado en los equipos, (por subaplicación), [t/año]
K = factor de emisión por pérdidas de HFC, [%].

La metodología para estimar las emisiones de GEI de los procesos industriales, se obtuvo de las directrices del IPCC para los inventarios de gases de efecto invernadero, volumen III *Procesos industriales y uso de productos* (IPCC, 2006).

Balance de materiales

Si bien, los balances de materiales son aplicables a diferentes procesos, para el desarrollo del inventario de emisiones, se acota su uso a la estimación de emisiones de COV. El balance de materiales se entiende como una desagregación de un insumo en sus diferentes componentes, identificando aquellos que son considerados como COV. La cantidad utilizada de estos insumos se consideran como las “entradas” del balance, las cuales se pueden emitir al aire, controladas por un equipo o transferirse a otros medios como agua, residuos y/o productos. Estas emisiones o transferencias se consideran como las “salidas” del balance.

Para la estimación de emisiones por balance de materiales, se sigue la metodología establecida en la NADF-011-AMBT-2018. Además, existe una Guía de usuario desarrollada para realizar el balance de materiales y el reporte del Informe de Desempeño Ambiental de la Manifestación Ambiental Única (MAU-CDMX), que se puede consultar en <https://mau.sedema.cdmx.gob.mx/>.

Contaminantes tóxicos

Las emisiones de COT, PM10 o PM2.5 se componen de diferentes especies químicas. La especiación es el proceso de identificar y cuantificar las especies químicas individuales que componen una emisión. Para ello, se usan perfiles de especiación que son una representación de la composición de una emisión, en el que se indica la proporción de cada especie individual presente. Las diferentes especies tienen distintos impactos en la salud humana y el medio ambiente. Algunas son consideradas como **especies tóxicas**. A partir de la actividad principal de la empresa y a los insumos reportados, es posible identificar la actividad emisora para asignar un perfil de especiación asociado a dicha actividad.

Los perfiles de especiación pueden provenir de varias fuentes, según la información disponible:

- 1) Especies puras, es decir, el 100% de la emisión corresponde a una única especie.
- 2) Ficha técnica u hoja de seguridad del material donde especifique las especies que componen el material en cuestión y su fracción por especie.
- 3) Perfiles de emisión por actividad específica, giro industrial o combustible utilizado.

La metodología general de cálculo de emisiones tóxicas se resume en la siguiente figura:

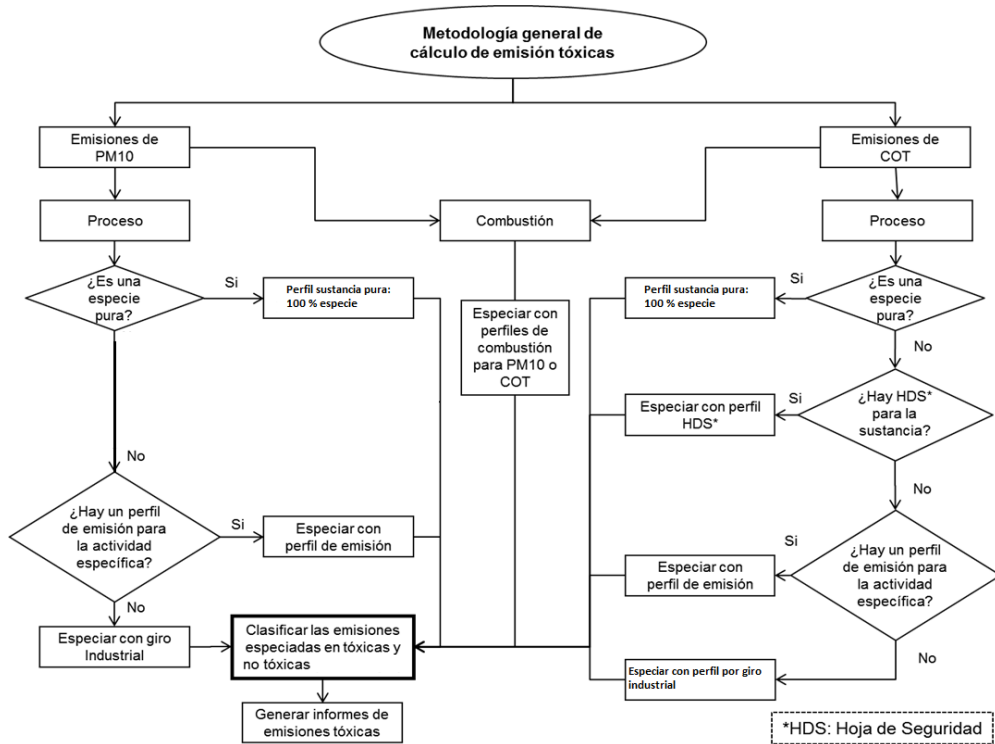


Figura 1-3. Metodología general de cálculo de emisiones tóxicas

Cuando las empresas proporcionan la hoja de seguridad de los insumos que utiliza, o bien, es un insumo de uso común y se cuenta con una hoja de seguridad, se especifican dichas sustancias por este método. Por ejemplo, la composición del thinner.

Un perfil de especificación se forma de las n especies (e_n) que componen a una sustancia y su respectiva fracción (f_{in}). Se debe cumplir que la suma de las fracciones sea igual a 1 (100%).

Perfil de especificación de la sustancia i	
Especie	Fracción
e_1	f_{i1}
e_2	f_{i2}
...	...
e_n	f_{in}

En muchos casos, las hojas de seguridad presentan rangos de composición, en esos casos se toma el valor máximo y se ajustan las fracciones como sigue: si la suma de las fracciones es menor a 1, se asume que el faltante corresponde a otras especies no identificadas, no tóxicas. Si la suma es mayor a 1, el perfil se normaliza y se ajustan las fracciones proporcionalmente a 1.

Una emisión $E_{COT/PM10}$ esta asociada a una actividad, por lo que se le asigna un perfil de especificación. La emisión de cada especie individual se obtiene al multiplicar la emisión a especiar (combustión o proceso), por la fracción de cada especie identificada en el perfil de especificación asociado:

Ecuación 1-12. Emisión de la especie n, asociada a la sustancia i

$$E_{en} = f_{i,n} \cdot E_{COT/PM10}$$

Dónde:

E_{en} = Emisión de la especie n, [t/año],
 $f_{i,n}$ = Fracción de la especie n, del perfil de especiación i, [adimensional],
 $E_{COT/PM10}$ = Emisión de PM10 o COT a especiar, [t/año].

Para especies puras, se considera la emisión de la materia prima o solvente que fue emitida sin alteración o mezcla. Por ejemplo, la emisión de acetona para limpieza o de alcohol etílico para esterilización. En estos casos, la fracción de la especie es igual a 1 y la emisión de la especie es igual a la emisión de COT/PM10.

Ecuación 1-13. Emisión de especie pura

$$E_{en} = E_{COT/PM10}$$

Clasificación de sustancias tóxicas

Una vez obtenida la emisión especiada, se clasifican como tóxicas (o no tóxicas), considerando los listados internacionales de sustancias tóxicas. Para el presente inventario se consideraron 177 especies como tóxicas. Para clasificar tóxicos se consultaron los siguientes listados:

- Toxics Release Inventory (TRI) Program, de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (U.S. EPA.)
- Lista original de compuestos tóxicos a la atmósfera, publicados por la U.S. EPA.

Los perfiles de especiación se obtuvieron de diferentes fuentes:

- CEIDARS: Sistema de Desarrollo y Reporte de Inventarios de Emisiones de California, por sus siglas en inglés.
- SPECIATE: base de datos de perfiles de especiación de compuestos orgánicos volátiles y de materia particulada de la U.S. EPA.
- Perfiles de emisión locales.

Estimación de emisiones de carbono negro

El carbono negro forma parte de las PM2.5, por lo tanto, las emisiones de carbono negro de las fuentes puntuales se obtuvieron a partir del cálculo de las emisiones de PM2.5, aplicando las fracciones correspondientes al carbono negro de sus perfiles de especiación.

La metodología general de estimación de emisiones de las fuentes puntuales es similar a la estimación de contaminantes tóxicos (metales), ya que se utilizan perfiles de especiación de PM2.5. Ver Figura 1-3.

Ecuación 1-14. Emisión de Carbono negro, asociada a la emisión de PM2.5

$$E_{CN} = F_{CN} \cdot E_{PM2.5}$$

Donde

E_{CN} = es la emisión de carbono negro, [t/año],

F_{CN} = es la fracción de carbono negro, del perfil de especiación, [adimensional],

$E_{PM2.5}$ = es la emisión de PM2.5 a especiar, [t/año]

Factores de emisión utilizados

Los FE de combustión para contaminantes criterio se obtuvieron principalmente de la base de datos *AP-42 Air Pollutants Emission Factors V.I. Stationary Point and Area Sources* (U.S. EPA, 2024).

Tabla 1-1. FE de contaminantes criterio, para combustión

Capacidad	Combustible	Unidad	PST	PM10	PM2.5	SO ₂	CO	NO _x	COT	COV	NH ₃
Boiler < 10 ⁸ BTU/h ó 3000 C.C.	GLP-Industrial ^a	kg/m ³	0.1	2.4E-2	2.4E-2	2.0E-3	0.9	1.7	0.1	0.1	N/A
	GN-Industrial ^a	kg/m ³	1.2E-4	1.2E-4	1.2E-4	9.6E-6	1.3E-3	1.6E-3	1.8E-4	8.8E-5	5.1E-5
	DI-Industrial ^a	kg/m ³	0.2	0.1	0.1	0.9	0.6	2.4	0.1	0.1	0.1
	CBP-Industrial ^a	kg/m ³	4.9	3.0	1.1	75.4	0.6	6.6	0.2	0.1	0.1
	CBL-Industrial ^a	kg/m ³	1.2	0.7	0.3	37.7	0.6	6.6	0.2	0.1	0.1
	GO-Industrial ^a	kg/m ³	0.8	0.5	0.2	0.9	0.6	2.4	3.0E-2	2.4E-2	0.1
	LE ^a	kg/t	15.3	15.3	15.3	0.2	115.4	1.4	41.5	21.9	N/A
	PED-Industrial ^a	kg/m ³	4.9	3.0	1.1	75.4	0.6	6.6	0.2	0.1	0.1
	GA ^a	kg/m ³	1.5	1.5	1.5	1.3	15.0	24.7	31.9	26.4	N/A
	CPE ^a	kg/t	1.7	1.3	0.8	127.1	0.3	10.5	3.5E-2	3.5E-2	N/A
Hornos residenciales	BIO-Industrial ^a	kg/m ³	1.2E-4	1.2E-4	1.2E-4	9.6E-6	1.3E-3	1.6E-3	1.8E-4	8.8E-5	5.1E-5
	CCA ^a	kg/t	40.0	9.2	2.4	108.3	0.3	11.0	0.1	3.0E-2	0.3
	GLP-CyS ^a	kg/m ³	0.1	2.4E-2	2.4E-2	2.0E-3	0.9	1.7	0.1	0.1	N/A
	GN-CyS ^a	kg/m ³	1.2E-4	1.2E-4	1.2E-4	9.6E-6	6.4E-4	1.5E-3	1.8E-4	8.8E-5	5.1E-5
	DI-CyS ^a	kg/m ³	0.2	0.1	0.1	0.9	0.6	2.2	0.3	0.2	0.1
	CBP-CyS ^a	kg/m ³	4.9	3.0	1.1	75.4	0.6	5.6	0.2	0.1	0.1
	CBL-CyS ^a	kg/m ³	1.2	0.7	0.3	37.7	0.6	6.6	0.2	0.1	0.1
	GO-CyS ^a	kg/m ³	0.8	0.5	0.2	0.9	0.6	2.4	0.1	4.1E-2	0.1
	PED-CyS ^a	kg/m ³	4.9	3.0	1.1	75.4	0.6	5.6	0.2	0.1	0.1
	BIO-CyS ^a	kg/m ³	1.2E-4	1.2E-4	1.2E-4	9.6E-6	6.4E-4	1.5E-3	1.8E-4	8.8E-5	5.1E-5
N/A	GLP-Alimentos ^b	kg/m ³	3.9E-4	1.1E-4	1.1E-4	0.5	0.8	0.5	0.9	0.8	N/A
	GLP-Boiler ^b	kg/m ³	3.1E-4	8.4E-5	8.4E-5	0.2	1.1	1.1	0.1	0.1	N/A
	GLP-Crematorios ^c	kg/m ³	0.4	0.4	0.4	0.1	1.2	1.4	0.1	0.1	N/A
	LE-Alimentos ^d	kg/t	7.1	7.1	6.8	0.1	105.8	1.5	18.9	18.2	N/A
	CAV ^e	kg/t	1.7	1.7	0.7	N/A	42.5	N/A	N/A	N/A	N/A

CC=caballos caldera, N/A=no aplica.

^a U.S. EPA (2024) y Radian International, LLC. (1997).

^b IMP, SEDEMA. (2016).

^c EMEP, EEA (2019) y U.S. EPA (2024).

^d Barrera-Huertas, H. (2017) y Domingo, J. (2017)

^e González, J. (2016).

Los factores de emisión de GEI del IPCC están expresados en unidades de kilogramos por terajoule (kg/TJ), sin embargo, se utilizó el poder calorífico para poder expresarlos en kilogramo por metro cúbico (kg/m³) para combustibles líquidos o gaseosos y kilogramos por tonelada (kg/t) para combustibles sólidos, para facilitar el cálculo.

MEMORIA DE CÁLCULO

Tabla 1-2. FE de GEI por combustión

Capacidad	Combustible	Unidad	CH ₄	CO ₂	N ₂ O
Boiler < 10 ⁸ BTU/h ó 3000 CC	GLP-Industrial ^a	kg/m ³	2.6E-02	1,648.2	2.6E-03
	GN-Industrial ^a	kg/m ³	3.8E-05	2.1	3.8E-06
	DI-Industrial ^a	kg/m ³	0.1	2,826.7	2.3E-02
	CBP-Industrial ^a	kg/m ³	4.2E-02	3,240.3	2.5E-02
	CBL-Industrial ^a	kg/m ³	4.2E-02	3,240.3	2.5E-02
	GO-Industrial ^a	kg/m ³	0.1	2,826.7	2.3E-02
	LE ^a	kg/t	0.4	1,622.4	5.8E-02
	PED-Industrial ^a	kg/m ³	0.1	2,926.3	2.4E-02
	GA ^a	kg/m ³	0.1	2,446.6	2.1E-02
	CPE ^a	kg/t	0.1	3,365.5	2.1E-02
	BIO-Industrial ^a	kg/m ³	2.0E-05	1.1	2.0E-06
	CCA ^a	kg/t	2.7E-02	2,508.9	4.0E-02
	Hornos residenciales	GLP-CyS ^a	kg/m ³	0.1	1,648.2
GN-CyS ^a		kg/m ³	1.9E-04	2.1	3.8E-06
DI-CyS ^a		kg/m ³	0.4	2,826.7	2.3E-02
CBP-CyS ^a		kg/m ³	0.4	3,240.3	2.5E-02
CBL-CyS ^a		kg/m ³	0.4	3,240.3	2.5E-02
GO-CyS ^a		kg/m ³	0.4	2,826.7	2.3E-02
LE ^a		kg/t	0.4	1,622.4	5.8E-02
PED-CyS ^a		kg/m ³	0.1	2,926.3	2.4E-02
GA ^a		kg/m ³	0.1	2,446.6	2.1E-02
BIO-CyS ^a		kg/m ³	1.0E-04	1.1	2.0E-06
NA	GLP-Alimentos ^b	kg/m ³	0.1	1,472.8	2.6E-03
	GLP-Boilers ^b	kg/m ³	3.1E-02	1,552.5	2.6E-03
	LE-Alimentos ^c	kg/t	7.1	1,714.7	5.8E-02
	CAV ^d	kg/t	5.9	3,326.4	3.0E-02

CC= caballos caldera, N/A= no aplica.

a. Directrices IPCC 2006 Vol. 2 Cap. 2

b. IMP, SEDEMA. (2016).

c. Barrera-Huertas, H. (2017) y Domingo, J. (2017)

d. González, J. (2016).

Los factores de emisión de proceso se obtuvieron de la base de datos del *WebFIRE* (U.S. EPA, 2024a). Para la clasificación de los factores de emisión, la U.S. EPA desarrolló un código basado en categorías de emisión y descripción de procesos, conocido como *Source Code Clasification* (SCC), de esta manera, los factores de emisión están asociados a un código SCC específico para las distintas actividades realizadas en la industria. A continuación, se presentan los factores de emisión más comúnmente usados en este inventario.

Tabla 1-3. FE de las actividades más comunes para COV

Actividad general	Actividad específica	SCC	Nombre SCC	FE (kg)	Unidad de medida
Impresión	Impresión flexográfica	4-05-003-01	Impresión: flexográfica	322.50	t tinta usado
	Fotograbado	4-05-005-01	Fotograbado: 2754		
	impresión litográfica	4-05-004-01	Litografía: 2752		
	Impresión materiales diversos	4-02-011-11	Impresión de telas: Rodillo		
	Impresión rotograbado	4-05-003-14	Impresión: flexográfica: limpieza con alcohol propílico		
	Mezclado de tintas	4-05-005-99	Disolvente tinta: otro no especificado		
Diluyente de tinta	Laminación imprenta	4-02-011-01	Operación de recubrimiento	907.18	t solvente consumido
	Diluyente de tinta (acetato de etilo)	4-05-005-03	Disolvente tinta: acetato de etilo		
	Diluyente de tinta (alcohol isopropílico)	4-05-003-05	Disolvente tinta (alcohol isopropílico)		
	Diluyente de tinta (sin insumo específico)	4-05-005-99	Disolvente tinta: otro no especificado		
Pintado de automóviles	Mezcla de pintura (automotriz)	4-02-016-03	Mezcla de recubrimiento	90.72	t recubrimiento en disolvente usado
	Pintura base solvente (automotriz)	4-02-016-06	Operación de acabado		

Inventario de Emisiones de la Ciudad de México y su Zona Conurbada 2022

Actividad general	Actividad específica	SCC	Nombre SCC	FE (kg)	Unidad de medida
	Preparación de superficie	4-02-016-21	Primer: Solvente - Automóviles	6.58	vehículo producido
Manufactura de plásticos	Elaboración de láminas plásticas	3-08-010-04	Producción de láminas, polimerizado	1.59	t plástico procesado
	Extrusión	3-08-010-02	Extrusora	0.03	t plástico extruido
Fabricación de productos metálicos	Estiramiento de alambre en frío	3-08-010-07	Moldeadora	0.03	t plástico procesado
Manufactura de productos de hule	Vulcanizado	3-01-026-01	General	2.36	t producto producido
Fermentado de masa	Fermentado de masa (panadería grande)	3-02-032-01	Pan horneado: proceso de esponjado-masa	5.00	t pan horneado
	Fermentado de masa (panadería pequeña)	3-02-032-02	Pan horneado: masa sin mezcla	0.50	t pan horneado
Producción de cerveza	Fermentado (cerveza)	3-02-009-08	Tanque de fermentación: relleno	0.26	1000 barriles cerveza
	Enfriado de Mosto (cerveza)	3-02-009-25	Enfriador de mosto	0.01	1000 barriles cerveza
	Cocción (cerveza)	3-02-009-22	Cocción cereal	0.003	1000 barriles cerveza
	Llenado de botellas y barriles (cerveza)	3-02-009-26	Buque trub	0.11	1000 barriles cerveza
Tostado de café	Tostado de café	3-02-002-21	Tostador continuo de combustión indirecta - Gas natural (incluye emisiones de combustión)	0.64	t frijoles alimentado
Uso de solventes en laboratorios	Análisis de laboratorio	3-20-999-98	Otros no clasificados	8.62	galones material procesado
Recubrimiento de superficies / Mantenimiento	Pintura base solvente (mantenimiento)	4-02-001-01	Pintura: base solvente	508.02	t mezcla de revestimiento aplicado
	Barniz/goma laca (mantenimiento)	4-02-003-01	Barniz / goma laca	453.59	t mezcla de revestimiento aplicado
	Laca (mantenimiento)	4-02-004-01	Laca	698.53	t mezcla de revestimiento
	Pintura base agua	4-02-002-01	Pintura: base agua	111.58	t mezcla de revestimiento
	Thinner adelgazador de pintura	4-01-003-13	Thinner	1,000.00	t solvente consumido
	Aplicación de pintura a piezas metálicas	4-02-025-01	Operación de recubrimiento	907.18	t recubrimiento en disolvente usado
Limpieza de superficies con solventes / Mantenimiento	Limpieza general (sin insumo específico)	4-01-003-99	Otros no clasificados		
	Limpieza con percloroetileno	4-01-001-03	Percloroetileno		
	Limpieza con stoddard				
	Limpieza y desinfección de superficies (sin insumo específico)	4-01-003-03	Stoddard (solvente del petróleo)		
	Limpieza con alcohol isopropílico	4-01-003-07	Alcohol isopropílico		
	Limpieza con acetona	4-01-003-10	Acetona	907.18	t solvente consumido
	Limpieza con Metil etil cetona	4-01-003-08	Metil etil cetona		
	Limpieza con alcohol etílico	4-07-158-10	Alcohol etílico: pérdida de trabajo		
	Limpieza flexográfica (alcohol propílico)	4-05-003-14	Impresión: flexográfica: limpieza con alcohol propílico		
Limpieza con thinner	4-01-003-13	Thinner	1000	t solvente consumido	

Tabla 1-4. FE de PM10 para las actividades más comunes

Actividad general	Actividad específica	SCC	Nombre SCC	FE (kg)	Unidad de medida
Manejo y vaciado de polvos finos	Vaciado de harina en tolva (elaboración de pan)	3-02-032-03	Horneado de pan: vaciado de harina en tolva	0.0013	t material procesado
	Vaciado, mezclado y manejo de polvos (alimentos)				
Manejo y vaciado de polvos finos	Vaciado tolva arena y agregados	3-05-011-08	Peso carga de tolva de arena y agregados		
	Manejo de polvos, colorantes y pigmentos (textil)	3-01-014-02	Manejo de pigmentos	7.7111	t pigmento procesado
	Manejo de pigmentos (en general)				
	Transferencia de polvos finos a otros procesos	3-05-016-07	Transferencia de materia prima y transporte	0.0816	t caliza procesado
	Mezclado de pigmentos (excluye textiles y alimentos)	3-01-020-05	Mezcla de pigmentos	0.7711	t pigmento producido

MEMORIA DE CÁLCULO

Actividad general	Actividad específica	SCC	Nombre SCC	FE (kg)	Unidad de medida
Manejo de granos y cereales	Recepción de granos	3-02-008-02	Recepción de grano	0.0077	t grano recibido
Limpieza de materia prima	Limpieza de centeno	3-02-005-03	Centeno: limpieza previa / manipulación	0.2041	t grano procesado
	Limpieza de maíz	3-02-007-44	Maíz seco: limpieza de casa	0.7893	t grano recibido
	Limpieza o extracción de almidón en carbohidratos u otros insumos	3-02-014-01	Operaciones combinadas	1.7781	t almidón producido
Molienda de materia prima	Molienda de trigo	3-02-007-34	Trigo: Casa de molino	15.8757	t grano procesado
	Molienda de granos de café	3-02-007-01	General	0.6577	t grano procesado
Cocción, horneado y secado de producto	Cocción de maíz	3-02-008-01	General	1.3608	t grano procesado
	Secado de alimentos para consumo humano	3-02-040-01	Secador	0.2994	t material secado
	Horneado de piezas para curado	3-03-008-01	Proceso general	18.9601	t hierro producido
	Secado de fibras duras y cordelería (textil)	3-07-007-03	Secado con partículas de madera	0.1588	t material procesado
	Secado en horno (pegamento y sellado de materiales)	3-05-012-01	Horno regenerativo (fibra tipo lana)	9.4801	t material procesado
Enfriado de producto	Enfriado de producto (alimentos)	3-02-008-06	Enfriador de partículas	0.0454	t grano recibido
Almacenamiento de materia prima	Almacenamiento de malta y otras materias primas (cerveza)	3-02-005-02	Transferencia / transmisión	0.2631	t grano procesado
Corte de producto	Recorte de papel y cartón. Corte de piezas (Excluye papel y cartón)	3-07-008-05	Planificación / recorte: escape de ciclón	0.4082	ft ³ /min-año flujo de aire promedio procesado
		3-03-009-32	Ensambladura	0.0454	t material producido
Pulido, raspado y lijado de producto	Cabina de pulido (metálico)				
	Raspado de llantas (hule)				
	Lijado (piezas metálicas y plástico)	3-07-008-06	Lijado: escape de ciclón	0.9072	ft ³ /min-año flujo de aire promedio procesado
Lijado en aserraderos y carpinterías (Madera)	Lijado de lámina de autopartes (equipos de transporte)	3-09-002-02	Abrasivo de arena Velocidad del viento 5 mph	12.2470	1000 libras abrasivo usado
	Prensado de materiales diversos	3-04-003-98	Otros no clasificados	0.6252	t materia prima procesado
Prensado de producto	Soldadura por arco de metal	3-09-052-54	E70S Electrodo	2.3587	1000 libras electrodo consumido
	Soldadura y ensamblado	3-09-051-44	E7018 Electrodo	8.3461	1000 libras electrodo consumido
Pintado de automóviles	Pintura en polvo con horneado (piezas metálicas)	4-02-016-01	Aplicación principal / Electrodeposición / Dip / aerosol	2.9030	t recubrimiento en disolvente usado
Fabricación de productos metálicos	Encementado y pegado de clavo	3-04-003-98	Otros no clasificados	0.6252	t materia prima procesado
	Sinterizado	3-03-008-19	Proceso de sinterización	0.0544	t material producido
Fabricación y secado de mezclas asfáltica	Hormigón Asfáltico (Incluye secado)	3-05-002-45	Planta de mezcla por lotes: elevadores calientes, mamparas, contenedores, mezclador y secador NG Rot	2.0412	t mezcla de asfalto caliente producido
	Mezclado por lotes (mezcla asfáltica)				
	Tambor de secado (mezcla asfáltica)	3-05-002-05	Tambor secador: Planta de mezcla de tambor	2.9030	t mezcla de asfalto caliente producido
Tostado de café	Tostado de café	3-02-002-21	Tostador - Gas natural (incluye emisiones de combustión)	0.1856	t frijoles alimentado

Los factores de emisión empleados para el cálculo de las emisiones de CO₂ por proceso, se obtuvieron de los capítulos 2, 3 y 4 de las Directrices del IPCC 2006 para los inventarios nacionales de GEI, vol. III *Procesos industriales y uso de productos*, así como del capítulo 9 del AP-42, para la producción de cerveza.

Tabla 1-5. Factores de emisión por actividad, emisiones de proceso

Sector	Fuente	Actividad	FE	Unidad
312 Industria de las bebidas y del tabaco	AP-42. Capítulo 9. Industrias alimenticias y agrícolas	Producción de cerveza	11.793	kg de CO ₂ /1000 barriles de cerveza
		Tanque de envejecimiento Línea de llenado	20.865	

Los factores de emisión empleados para el cálculo de HFC se obtuvieron del capítulo 7, cuadro 7.9 Directrices del IPCC 2006 para los inventarios nacionales de GEI, vol. III Procesos Industriales y uso de productos, que se presentan a continuación:

Tabla 1-6. Factor de emisión de HFC

Sector / actividad generadora de HFC	Subaplicación (asociado con base en la actividad generadora de HFC)	Factor de emisión k (%)
Reparación y mantenimiento a sistemas de refrigeración	Refrigeración industrial y comercial, incluido alimentos a baja temperatura	1.75
Mantenimiento a vehículos (aire acondicionado)	Aire acondicionado automotriz	0.35
Fabricación de refrigeradores	Refrigeradores nuevos	1.75

Una vez estimadas las emisiones, para obtener las emisiones tóxicas, así como las emisiones de carbono negro, se utilizaron los siguientes perfiles de especiación. Cabe mencionar que con las hojas de seguridad que las empresas reportan, se especian los insumos reportados y que contienen COV y se genera una base de perfiles de especiación.

Tabla 1-7. Claves de los perfiles de especiación

Clave	Nombre del perfil	Combustión/Proceso	Fuente perfil COT	Fuente perfil PM10 y PM2.5
GPc01	Combustión combustóleo ligero	Combustión	external combustion boiler-residual oil ^a	fuel combustion-residual ^b
GPc02	Combustión combustóleo pesado	Combustión	external combustion boiler-residual oil ^a	fuel combustion-residual ^b
GPc03	Combustión coque de petróleo	Combustión	external combustion boiler-coke oven gas ^a	coal/coke combustion ^b
GPc04	Combustión carbón mineral	Combustión	coal-fired boiler-industrial ^a	uncontrolled coal-fired power plant composite ^a
GPc05	Combustión diésel	Combustión	external combustion boiler-distillate oil ^a	fuel combustion-distillate ^b
GPc06	Combustión gasolina	Combustión	Industry Average (circa 1990) Gasoline Exhaust ^a	stat. i.c. engine-gasoline ^b
GPc07	Combustión gas L.P.	Combustión	IMP-SEDEMA (2016), Combustión gas LP	gaseous material combustion ^b
GPc08	Combustión gas natural	Combustión	external combustion boiler-natural gas ^a	NG combustion-simplified ^a
GPc09	Combustión petróleo diáfano	Combustión	external combustion boiler-residual oil ^a	fuel combustion-residual ^b
GPc10	Combustión gasóleo	Combustión	external combustion boiler-distillate oil ^a	fuel combustion-distillate ^b
GPc11	Combustión Biogás	Combustión	external combustion boiler-natural gas ^a	NG combustion-simplified ^a
GPc15	Combustión leña	Combustión	residential wood combustion ^a	residential wood combustion-simplified ^a
GPc16	Combustión carbón vegetal	Combustión	biomass burning-charcoal burning ^a	underfired charbroiler-chicken ^a
GPp01	Industria de la carne	Proceso	Consumer and Commercial Products: Miscellaneous Products: Pressurized Food Products ^a	Food and Agriculture-Average ^a
GPp02	Elaboración de productos lácteos	Proceso	Consumer and Commercial Products: Miscellaneous Products: Pressurized Food Products ^a	Food and Agriculture-Average ^a
GPp03	Elaboración de conservas alimenticias	Proceso	Consumer and Commercial Products: Miscellaneous Products: Pressurized Food Products ^a	Food and Agriculture-Average ^a
GPp04	Molienda de cereales y otros productos agrícolas	Proceso	fermentation processes ^a	feed and grain operations ^b
GPp05	Elaboración de productos de panadería	Proceso	APCD-California, 1999 CARB, Baking operations, Air Pollution Control District of San Diego, 1999	feed and grain operations ^b
GPp06	Molienda de nixtamal y fabricación de tortillas	Proceso	fermentation processes ^a	feed and grain operations ^b
GPp07	Fabricación de aceites y grasas comestibles	Proceso	Consumer and Commercial Products: Miscellaneous Products: Pressurized Food Products ^a	Food and Agriculture-Average ^a
GPp08	Fabricación de cocoa, chocolate y artículos de confitería	Proceso	Consumer and Commercial Products: Miscellaneous Products: Pressurized Food Products ^a	Food and Agriculture-Average ^a
GPp09	Elaboración de otros productos alimenticios para el consumo humano	Proceso	Consumer and Commercial Products: Miscellaneous Products: Pressurized Food Products ^a	Food and Agriculture-Average ^a
GPp10	Elaboración de alimentos preparados para animales	Proceso	Consumer and Commercial Products: Miscellaneous Products: Pressurized Food Products ^a	feed and grain operations ^b
GPp11	Industria de las bebidas alcohólicas	Proceso	fermentation processes ^a	feed and grain operations ^b
GPp12	Industria del tabaco	Proceso	fermentation processes ^a	food and agriculture-average ^a
GPp13	Industria textil de fibras duras y cordelería de todo tipo	Proceso	Textile Products-General Fabric Operations-Dyeing and Curing ^a	Industrial Manufacturing-Average ^a
GPp14	Hilado, tejido y acabado de fibras blandas.	Proceso	textile products-general fabric operations-tenter frame ^a	industrial manufacturing-average ^a
GPp15	Confección con materiales textiles (incluye fabricación de tapices y alfombras de fibras blandas)	Proceso	textile products-general fabric operations-tenter frame ^a	industrial manufacturing-average ^a

MEMORIA DE CÁLCULO

Clave	Nombre del perfil	Combustión/ Proceso	Fuente perfil COT	Fuente perfil PM10 y PM2.5
GPp16	Fabricación de tejidos de punto	Proceso	textile products-general fabric operations-tenter frame ^a	industrial manufacturing-average ^a
GPp17	Confección de prendas de vestir	Proceso	textile products-general fabric operations-tenter frame ^a	industrial manufacturing-average ^a
GPp18	Industria del cuero, pieles y sus productos (Excluye calzado y prendas de vestir)	Proceso	aerosol coatings: vinyl/fabric/leather/polycARB coatings ^a	industrial manufacturing-average ^a
GPp19	Industria del calzado. Excluye de hule y/o plástico	Proceso	Consumer and Commercial Products: Household Products: Shoe and Leather Care Products	Industrial Manufacturing-Average ^a
GPp20	Fabricación de productos de aserradero y carpintería. (Excluye muebles)	Proceso	pulp and paper industry-average (EPA 9013)	wood products-sawing-composite ^a
GPp21	Fabricación de envases y otros productos de madera y corcho (Excluye muebles)	Proceso	wood furniture coating ^a	wood products-sawing-composite ^a
GPp22	Fabricación y reparación de muebles principalmente de madera (Incluye colchones)	Proceso	wood furniture coating ^a	wood products-sawing-composite ^a
GPp23	Manufactura de celulosa, papel y sus productos	Proceso	pulp and paper industry-average (EPA 9013) ^b	pulp and paper industry ^a
GPp24	Imprentas, Editoriales e industrias conexas	Proceso	printing/publishing-average (EPA 9026) ^b	pulp and paper industry ^a
GPp25	Petroquímica básica	Proceso	petrochemical mfg. ^a	chemical manufacturing-average ^a
GPp26	Fabricación de sustancias químicas básicas (Excluye las petroquímicas básicas)	Proceso	Composite of 3 Fugitive Emission Profiles from Chemical Mfg. Facilities ^a	Chemical Manufacturing-Average ^a
GPp27	Industria de las fibras artificiales y/o sintéticas	Proceso	plastics production-average (EPA 9005) ^b	chemical manufacturing-average ^a
GPp28	Industria farmacéutica	Proceso	consumer products: various external health use products ^b	Chemical Manufacturing-Average ^a
GPp29	Fabricación de otras sustancias y productos químicos	Proceso	Consumer and Commercial Products: Personal Care Products: Health Use Products ^a	Chemical Manufacturing-Average ^a
GPp30	Industria del coque. Incluye otros derivados del carbón mineral y del petróleo	Proceso	chemical manufacturing-cARBon black production ^a	petroleum refining ^b
GPp31	Industria del hule	Proceso	rubber/misc. plastics product - average (EPA 9014) ^b	Chemical Manufacturing-Average ^a
GPp32	Elaboración de productos de plástico	Proceso	plastics production-average (EPA 9005) ^b	chemical manufacturing-average ^a
GPp33	Alfarería y cerámica (Excluye materiales de construcción)	Proceso	mineral products-average (EPA 9011) ^b	mineral products-average ^a
GPp34	Fabricación de materiales de arcilla para la construcción	Proceso	mineral products-average (EPA 9011) ^b	mineral products-average ^a
GPp35	Fabricación de vidrio y productos de vidrio	Proceso	mineral products-average (EPA 9011) ^b	glass melting furnace ^b
GPp36	Fabricación de cemento, cal, yeso y otros productos a base de minerales no metálicos.	Proceso	mineral products-average (EPA 9011) ^b	Vega et al. (2001), average chemical composition of fugitive dust samples
GPp37	Industria básica del hierro y del acero	Proceso	primary metal production-average (EPA 9009) ^b	primary metal production-average ^a
GPp38	Industrias básicas de metales no ferrosos. Incluye el tratamiento de combustibles nucleares	Proceso	primary metal production-average (EPA 9009) ^b	primary metal production-average ^a
GPp39	Fundición y moldeo de piezas metálicas, ferrosas y no ferrosas	Proceso	secondary metal production-average (EPA 9010) ^b	secondary metal production-average ^a
GPp40	Fabricación de estructuras metálicas, tanques y calderas industriales	Proceso	industrial point source fabricated metal products-1993 ^a	secondary metal production-average ^a
GPp41	Fabricación y reparación de muebles metálicos	Proceso	industrial point source, fabricated metal products-1993 ^a	secondary metal production-average ^a
GPp42	Fabricación de otros productos metálicos (Excluye maquinaria y equipo)	Proceso	industrial point source, fabricated metal products-1993 ^a	secondary metal production-average ^a
GPp43	Fabricación, reparación y/o ensamble de maquinaria y equipos, c/s motor eléctrico integrado (Incluye maquinaria agrícola)	Proceso	industrial point source, fabricated metal products-1993 ^a	secondary metal production-average ^a
GPp44	Fabricación, reparación y/o ensamble de maquinaria y equipo c/s motor eléctrico integrado (Incluye armamento)	Proceso	industrial point source, fabricated metal products-1993 ^a	secondary metal production-average ^a
GPp45	Fabricación y/o ensamble de máquinas de oficina, calculo y procesamiento informático	Proceso	industrial point source, fabricated metal products-1993 ^a	secondary metal production-average ^a
GPp46	Fabricación y/o ensamble de maquinaria, equipo y accesorios eléctricos. Incluye para la generación de energía eléctrica	Proceso	industrial point source, fabricated metal products-1993 ^a	secondary metal production-average ^a
GPp47	Fabricación y/o ensamble de equipo electrónico de radio, televisión, comunicaciones y de uso médico	Proceso	industrial point source, fabricated metal products-1993 ^a	secondary metal production-average ^a
GPp48	Fabricación y/o ensambles de aparatos y accesorios de uso doméstico. Excluye los electrónicos	Proceso	industrial point source, fabricated metal products-1993 ^a	secondary metal production-average ^a
GPp49	Industria automotriz	Proceso	automotive painting-downwind ground-based compositions ^a	industrial manufacturing-average ^a
GPp50	Fabricación, reparación y/o ensamble de equipo de transporte y sus partes. Excluye automóviles y camiones	Proceso	automotive painting-downwind ground-based compositions ^a	industrial manufacturing-average ^a
GPp51	Fabricación, reparación y/o ensamble de instrumentos y equipo de precisión (Incluye instrumental quirúrgico. Excluye los electrónicos)	Proceso	automotive painting-downwind ground-based compositions ^a	secondary metal production-average ^a
GPp52	Otras industrias manufactureras	Proceso	industrial processes-average (EPA 9003) ^b	industrial manufacturing-average ^a
GPp53	Operaciones de grano y procesamiento de semillas oleaginosas	Proceso	oilseed processing ^a	feed and grain operations ^b
GPm01	Uso de productos de cuidado personal	Proceso	Consumer and Commercial Products: Personal Care Products: Health Use Products ^a	NA
GPm02	Pigmento Industria Textil	Proceso	textile products - average (EPA 9016) ^b	HDS, expand-3d textile color
GPm03	Tostado de café	Proceso	Species unknown- all category composite ^b	COFFEE ROASTING ^b
GPm04	humos de soldadura	Proceso	NA	metal fabrication-welding ^a
GPm05	Manejo de residuos y desechos, y servicios de remediación - Proceso	Proceso	NA	NA
GPm06	Fotografado - evaporación de solvente	Proceso	Evaporation- gravure printing- general solvent ^b	NA
GPm07	Evaporación en impresión flexográfica	Proceso	Evaporation- flexographic printing press- n-propyl alcohol ^b	NA
GPm08	Evaporación de solventes en impresión	Proceso	Printing evaporation loss- general ^b	NA

Inventario de Emisiones de la Ciudad de México y su Zona Conurbada 2022

Clave	Nombre del perfil	Combustión/ Proceso	Fuente perfil COT	Fuente perfil PM10 y PM2.5
GPm09	Terminales de almacenamiento y reparto de combustibles	Proceso	Mugica, 2002, Receptor Model Source Apportionment of NMHC in Mexico City.	NA
GPm10	Limpieza y desengrase	Proceso	Degreasing - All Processes/All Industries ^a	NA
GPm11	Uso de productos para el cuidado automotriz	Proceso	Consumer and Commercial Products: Automotive Aftermarket Products: All Automotive Aftermarket Products	NA
GPm12	Recubrimiento de superficies industriales - esmalte compuesto	Proceso	Surface Coating Operations (Industrial) ^a	NA
GPm13	Recubrimiento de superficies arquitectónicas	Proceso	Architectural surface coatings- composite solvent ^b	NA
GPm14	Fabricación de Pinturas y Recubrimientos	Proceso	paint & coat mfg ^a	NA
GPm15	Otros no definidos	Proceso	NA	NA

a. SPECIATE 5.1

b. CEIDARS (ARB, 2013)

Capítulo 2 FUENTES DE ÁREA



FUENTES DE ÁREA

A continuación, se describen las metodologías utilizadas para la estimación de emisiones de contaminantes criterio, tóxico y gases y compuestos de efecto invernadero (CyGEI) de las categorías que se incluyen en las fuentes de área y que son reportadas en el Inventario de Emisiones 2022.

Así mismo, se indican ajustes realizados a los factores de emisión, el uso de modelos de emisiones, parámetros meteorológicos, datos de calidad de los combustibles que se distribuyen en la zona de estudio y las fuentes de información de los datos de actividad.

Para el cálculo de dióxido de carbono equivalente se consideran los potenciales de calentamiento que se reportan en el Quinto Informe de Evaluación del IPCC, 2013¹: CO₂=1, CH₄=28 y N₂O=265.

Combustión e Hidrocarburos no quemados (HCNQ)



En este grupo de categorías se estimaron las emisiones generadas por combustión de gas LP, gas natural, leña, diésel y carbón vegetal, en los sectores: agrícola, residencial, industrial y comercios y servicios no regulados², y las emisiones de hidrocarburos no quemados (HCNQ) en instalaciones de gas LP.

Combustión

El cálculo de emisiones por combustión se realizó en función del tipo de combustible aplicando la siguiente ecuación:

$$E_{ik} = FE_{ik} * C_k$$

Donde:

- E_{ik}= Emisión de contaminante (i) asociado al combustible (k)
- FE_{ik}= Factor de emisión del contaminante (i) asociado al combustible (k)
- C_k= Volumen de combustible consumido (k)

Para las industrias no reguladas se calcularon emisiones únicamente para calderas y hornos industriales pequeños menores a 100 millones de BTU (*British Thermal Units*) por hora, considerando que no cuentan con equipo para control de emisiones. En la Tabla 2-1 se presentan los factores de emisión por combustible, sector y contaminante.

Tabla 2-1. Factores de emisión por tipo de combustible y sector

Combustible	Sector	Factores de emisión [t/m ³]								
		PM10	PM2.5	SO ₂	CO	NO _x	COT	COV	NH ₃	CN
GLP	Residencial estufas ¹	3.90E-0	3.90E-0	4.50E-0	8.27E-0	4.95E-0	8.60E-0	7.90E-0	N/.	2.29E-0
	Residencial calentadores ¹	3.10E-0	3.10E-0	1.51E-0	1.14E-0	1.11E-0	1.10E-0	7.00E-0	N/.	2.29E-0

1 Myhre, G., et al. (2013). Anthropogenic and natural radiative forcing. En R.K. Pachauri y L.A. Meye (Eds.), Climate Change 2013: The Physical Science Basis. (pp.659-740), Cambridge University Press.
https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5_Chapter08_FINAL.pdf

2 En las fuentes de área se reportan las emisiones de industrias y comercios y servicios no regulados, es decir, establecimientos que por su tamaño o actividad no están obligados a presentar Licencia Ambiental Única o Cédula de Operación Integral.

MEMORIA DE CÁLCULO

Combustible	Sector	Factores de emisión [t/m³]								
		PM10	PM2.5	SO ₂	CO	NO _x	COT	COV	NH ₃	CN
GN	Comercial-Institucional, Industrial, Agrícola ³	5.99E-0	5.99E-0	1.28E-0	6.39E-0	1.11E-0	8.50E-0	6.82E-0	N/.	4.43E-0
	Residencial ⁵	1.22E-0	1.22E-0	9.60E-0	6.40E-0	1.50E-0	1.76E-0	8.80E-0	7.84E-0	8.15E-0
	Comercial-institucional, industrial ⁵	1.22E-0	1.22E-0	9.60E-0	1.34E-0	1.60E-0	1.76E-0	8.80E-0	7.84E-0	8.15E-0
Leña	Residencial ⁴	3.20E-0	3.08E-0	1.04E-0	5.36E-0	9.07E-0	1.89E-0	1.82E-0	N/.	1.31E-0
Diésel	Industrial ⁶	1.30E-0	9.96E-0	8.52E-0	6.00E-0	2.16E-0	2.99E-0	2.48E-0	9.60E-0	7.37E-0
Carbón	Comercial-institucional ^{2,7}	1.77E-0	7.30E-0	1.68E-0	4.25E-0	9.17E-0	3.00E-0	3.00E-0	N/.	1.20E-0

1. IMP-SEDEMA (2016). Diagnóstico de equipos a gas LP y actualización de factores de emisión de fugas y combustión de gas LP en viviendas. Informe del proyecto FAP CPSF/0126/2016-FA, preparado por el Instituto Mexicano del Petróleo (IMP) para la SEDEMA.

2. U.S. EPA (1999). Emisiones de los Aparatos de cocina de los vendedores ambulantes (Asadores al carbón), estudio realizado para Baja California, Mexicali en 1999. Consultado en: <https://www3.epa.gov/ttn/catc1/cica/files/spanrep3.pdf>.

3. U.S. EPA (2008). Air Emissions Factors and Quantification AP 42 (5th ed.). Volume 1, Chapter 1. External Combustion Sources, 1.5 Liquefied Petroleum Gas Combustion, table 1.5-1. Emission Factors for lpg Combustion. U.S. Environmental Protection Agency (U.S. EPA). Consultado en: <https://www3.epa.gov/ttn/chieff/ap42/ch01/final/c01s05.pdf>.

4. Barrera-Huertas H. (2017). Evaluación de emisiones atmosféricas de dos prototipos de estufas rurales ahorradoras de energía (PATSARI, ONIL). Cartel de la 1era. Reunión de la Red Temática de Contaminación Atmosférica y Mitigación del Cambio Climático. Ciudad de México: Centro de Ciencias de la Atmósfera de la Universidad Nacional Autónoma de México

5. U.S. EPA (2008). Compilation of Air Emissions Factors. AP-42 Sección 1.4 Combustión de GN, actualizado a Julio 2008, Tabla 1.4-1 y 1.4-2 Factores de emisión para combustión de GN. Sitio web: <https://www3.epa.gov/ttn/chieff/ap42/ch01/final/c01s04.pdf>

6. U.S. EPA (2010). Compilation of Air Emissions Factors. AP-42 Fifth Edition, Volume 1, Chapter 1. External combustion sources, 1.3 Fuel oil combustion. Corregido en 2010. US Environmental Protection Agency (U.S. EPA). Consultado en mayo de 2022, de: https://www.epa.gov/sites/default/files/2020-09/documents/1.3_fuel_oil_combustion.pdf.

7. González, J. (2017). Factores de emisión de CO y CN emitidos por la quema de carbón vegetal. derivados de la combustión de maderas provenientes del bosque del Ajusco. Proyecto de integración de Ingeniería Ambiental. Universidad Autónoma Metropolitana.

El factor de emisión del dióxido de azufre (SO₂) por combustión de gas LP varía respecto al contenido de azufre y de hidrocarburos presentes en el combustible, se ajustó considerando que es una mezcla de propano (C₃H₈) y butano (C₄H₁₀), con una proporción aproximada de 58% y 12% respectivamente (IMP-SEDEMA, 2016), y se determinó mediante la siguiente ecuación (Radian International, LLC, 1997):

$$FE_{SO_2} = [X(0.010 S) + Y(0.09 S)] * 0.12$$

Donde:

FE_{SO_2} = Factor de emisión de SO₂ [kg/m³]

X= Factor de propano contenido en el gas LP

Y= Factor de butano contenido en el gas LP

S= Contenido de azufre en el gas LP [0.3186gr/100ft³]

0.12= Factor de conversión de [lb/1,000 gal] a [kg/m³]

Para estimar las emisiones de gases de efectos invernadero (GEI), se emplearon factores de emisión por tipo de combustible específicos para cada sector (Ver Tabla 2-2).

Tabla 2-2. Factores de emisión de GEI por tipo de combustible y sector

Combustible	Sector	Factores de emisión [t/m³]		
		CO ₂	CH ₄	N ₂ O
GLP	Residencial Estufas ²	1.47	5.92E-05	2.612E-06
	Residencial calentadores ²	1.55	3.14E-05	2.612E-06
	Comercial-Institucional, Agrícola ¹	1.65	1.31E-04	2.61E-06
Industrial ¹	2.61E-05			
GN	Residencial, Comercial-Institucional ¹	2.12E-03	1.89E-07	3.781E-09
	Industrial ¹		3.78E-08	
Leña	Residencial ²	1.36	3.33E-03	5.79E-05
Diesel	Industrial ¹	2.82	1.14E-04	2.29E-05

Combustible	Sector	Factores de emisión [t/m ³]		
		CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Carbón	Comercial-institucional [t/t] ¹	3.30	5.90E-03	2.95E-05

1 IPCC (2006). Directrices del IPCC 2006 para los inventarios de gases de efecto invernadero. Volumen 2, Capítulo 2. Energía combustión estacionaria, cuadros 2.3, 2.4 y 2.5. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Consultado en: http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/2_Volume2/V2_2_Ch2_Stationary_Combustion.pdf.

2 Padilla, Torres-J, et al. (2019). Determination of emission factors for climate forces and air pollutants from improved wood-burning cookstoves in México. Energy for Sustainable Development, Volume 50, páginas 61-68. Consultado en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0973082618309116?via%3Dihub>

3 IMP-SEDEMA (2016). Diagnóstico de equipos a gas LP y actualización de factores de emisión de fugas y combustión de gas LP en viviendas. Informe del proyecto FAP CPSF/0126/2016-FA, preparado por el Instituto Mexicano del Petróleo (IMP) para la SEDEMA.

Las siguientes tablas presentan la cantidad de combustible utilizado para combustión por sector.

Tabla 2-3. Consumo de gas LP por sector en la CDMXyZC

Entidad	[m ³ /año]					Total
	Residencial	Comercios Servicios	Industrial	Transporte	Agrícola	
CDMX	819,604	130,914	71,871	179,506	3,490	1,205,385
EDOMEX	1,325,036	245,123	138,371	285,290	5,546	1,999,367
Tizayuca	16,039	2,728	431	3,487	68	22,753
CDMXyZC	2,160,679	378,765	210,674	468,283	9,104	3,227,504

Fuente: Secretaría de Energía. Sistema de información en Energía, SIE-SENER, ventas internas de gas LP por sector y por entidad federativa para el año 2022, y ajuste con información de LAU, COI y COA

Tabla 2-4. Consumo de gas natural por sector en la CDMXyZC

Entidad	[m ³ /año]			Total
	Residencial	Comercios Servicios	Industrial	
CDMX	94,874,524	44,381,516	1,283,039,878	1,422,295,919
EDOMEX	61,990,860	20,752,062	3,264,632,689	3,347,375,612
Tizayuca	2,094,131	707,031	110,283,510	113,078,673
CDMXyZC	158,959,516	68,834,610	4,657,956,077	4,880,750,203

Fuente: Secretaría de Energía. Sistema de información en Energía, SIE-SENER, ventas internas de GN por sector y por entidad federativa para el año 2022.

Tabla 2-5. Consumo de leña, diésel y carbón por sector en la CDMXyZC

Entidad	Consumo por sector		
	Leña Residencial ¹ [t/año]	Diésel Industrial ² [m ³ /año]	Carbón comercial ³ [t/año]
CDMX	3,385	25,475	1,649.49
EDOMEX	31,577	N/A	2,674.06
Tizayuca	2,026	N/A	31.09
CDMXyZC	36,988	25,475	4,354.63

1 SEDEMA (2024). Proyección a partir de Estudio sobre la evolución nacional del consumo de leña y carbón vegetal en México 2009-2024, (Masera, O., Guillardí, A., Arias, T., Guerrero, G., Patiño, P., 2010). Centro de Investigaciones en Ecosistemas, Universidad Nacional Autónoma de México y datos de población rural en la CDMXyZC.

2 SEDEMA (2024a). Consumo de diésel industrial reportado en la Licencia Ambiental Única 2022.

3 SEDEMA (2024b). Proyección de consumo de carbón de comercios de alimentos en la vía pública al año 2022, a partir de datos del Sistema de Comercio en la Vía Pública 2017 (SISCOVIP).

HCNQ en la combustión de gas LP

Los hidrocarburos no quemados (HCNQ) son aquellos gases que no logran quemarse durante el proceso de combustión, así como en el proceso de encendido y apagado de los equipos de los siguientes sectores: residencial, comercios y servicios, industrial y agrícola. Los factores de emisión utilizados se muestran en la Tabla 2-6.

Tabla 2-6. Factores de emisión por HCNQ durante la combustión

Sector	FE COV	FE COT	Unidades
Residencial, Estufas ²	3.04E-04	3.07E-04	[t/equipo]
Residencial, Calentadores ²	2.33E-04	2.35E-04	
Industria, agrícola, comercial ¹	0.0147	0.0150	[t/t GLP]

1 PEMEX-IMP (1997). "Efectos de los componentes del Gas Licuado de Petróleo en la acumulación de Ozono en la Atmósfera de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México" en la Memoria técnica del estudio, PEMEX, Gas y Petroquímica Básica, Subgerencia de Regulaciones y Medio Ambiente, pp. 9-77;

2 IMP-SEDEMA (2016). Diagnóstico de equipos a gas LP y actualización de factores de emisión de fugas y combustión de gas LP en viviendas. Informe del proyecto FAP CPSF/0126/2016-FA, preparado por el Instituto Mexicano del Petróleo (IMP) para la Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México (SEDEMA).

El dato de actividad para el sector residencial es el número de equipos (ver Tabla 2-7): estufas, calentadores, tanques portátiles y estacionarios mientras que, para los sectores de servicio, industria agrícola se considera el combustible consumido (ver Tabla 2-8).

Tabla 2-7. Número de viviendas por tipo de equipamiento en la CDMXyZC

Equipo	Viviendas		
	CDMX	EDOMEX	Tizayuca
Estufas-Cilindros	1,545,752	2,351,958	32,322
Estufas-Estacionarios	780,296	644,713	8,860
Calentadores-Cilindro	1,075,108	1,332,198	18,308
Calentadores-Estacionario	771,590	625,844	8,601
Tanque portátil	1,565,857	2,409,035	33,107
Tanque estacionario	790,445	660,359	9,075
Estufas-Pilotos	314,076	524,097	7,202
Calentadores-Pilotos	1,600,274	1,681,550	23,109

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del estudio Diagnóstico de equipos a gas LP y actualización de factores de emisión de fugas y combustión de gas LP en viviendas (IMP-SEDEMA, 2016) y número de viviendas (ENIGH, 2022).

Tabla 2-8. Volumen de gas LP en la CDMXyZC 2022

Entidad	Combustible disponible [m ³]					Total
	Residencial	Comercios-Servicios	Industrial	Transporte	Agropecuario	
CDMX	898,710	241,418	124,001	179,506	3,543	1,447,178
EDOMEX	1,428,327	250,306	197,075	285,290	5,631	2,165,952
Tizayuca	17,459	3,051	2,409	3,487	69	26,475
CDMXyZC	2,344,496	494,098	323,485	468,283	9,242	3,639,604

Fuente: Elaboración propia con información de Sistema de información Energética (SIE-SENER); Fuentes fijas: consumos reportados en la Licencia Ambiental Única de la CDMX 2022 y el consumo de combustible de comercios y servicios no regulados obtenidos del Laboratorio de Microdatos de INEGI 2016, proyectados a 2022, con datos de DENUE.

Fuentes móviles que no circulan por carreteras

En esta categoría se estimaron las emisiones de fuentes móviles que se desplazan por vía férrea (locomotoras), por vía aérea (aviones), los autobuses de pasajeros que se encuentran en las terminales y la maquinaria fuera de ruta.

Operaciones de locomotoras

Se realizó la estimación de emisiones por el proceso de combustión interna en locomotoras foráneas y de patio, con la siguiente ecuación:

$$E = FE * A_i$$

Donde:

E= Emisión del contaminante [t/año]

FE= Factor de emisión del contaminante, [t contaminante/m³ de combustible] o [t contaminante/ TJ]

A_i= Dato de actividad, consumo por tipo de combustible, [m³/año] o [TJ/año]

En la Tabla 2-9 se presentan los factores de emisiones de contaminantes criterio y de GEI.

Tabla 2-9. Factores de emisión para locomotoras

PM10	PM2.5 ³	SO ₂	FE criterio ¹ [t/m ³]				COV	CN	FE GEI ² [kg/TJ]		
			CO	NO _x	COT	CO ₂			CH ₄	N ₂ O	
0.0012	0.00115	0.00058	0.0070	0.0336	0.0019	0.0019	0.0005	74,100.00	4.15	28.60	

¹ CCA (2001). Efectos ambientales y estrategias de mitigación en los corredores de comercio y transporte de América del Norte, Informe Final, Comisión para la Cooperación Ambiental de América del Norte (CCA). Consultado en: <http://www3.cec.org/islandora/es/item/1644-north-american-trade-and-transportation-corridors-es.pdf>. 2 ipcc (2006). Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, Vol. 2, Cap. 3. Combustión Móvil, sección3.4. Ferrocarriles. Pág. 3.43. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Consultado en: http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/2_Volume2/V2_3_Ch3_Mobile_Combustion.pdf. 3 ARB (2013). California Emission Inventory Development and Reporting System (CEIDARS). Speciation profiles used in arb modeling – Particulate Matter and Organic Gas Speciation Profiles [base de datos]. California Air Resources Board (ARB). Consultado en 2024, de: <https://ww2.arb.ca.gov/speciation-profiles-used-carb-modeling>.

El factor de emisión para el dióxido de azufre reportado en la Tabla 2-9, se calculó con el contenido de azufre y la densidad de diésel que se distribuye en la Ciudad de México.

$$FE_{SO_2} = \text{Densidad} \left(\frac{\text{Kg}}{\text{L}} \right) * \% \text{ peso de azufre} * 2 \frac{\text{Kg SO}_2}{\text{Kg S}} = 5.82 \times 10^{-4} \frac{\text{t SO}_2}{\text{m}^3 \text{ de diesel}}$$

Donde:

ρ= Densidad de diésel (0.83128 kg/l)

% S= Porcentaje del contenido de azufre en el diésel (0.000350%)

Fuente: DOF (2016). Norma Oficial Mexicana NOM-016-CRE-2016 Especificaciones de calidad de los petrolíferos. Tabla 7. Diario Oficial de la Federación, México.

En la Tabla 2-10 se presenta el consumo de diésel por tipo de locomotora (foránea o de patio).

Tabla 2-10. Combustible consumido por locomotoras

Entidad	Tipo de locomotora					
	Patio [m ³ /año]	Patio [TJ/año]	Foráneas [m ³ /año]	Foráneas [TJ/año]	Total [m ³ /año]	Total [TJ/año]
CDMX	215	8	2,006	77	2,221	85
EDOMEX	1,785	68	16,660	636	18,448	704
CDMXyZC	2,000	76	18,666	712	20,666	788

Fuentes:1) Ferrovalle (2023). Consumo de combustible por tipo de locomotora 2022. Información recibida mediante oficio el día 19 de diciembre de 2023; 2) ARTF (2023). Número de locomotoras por tipo, gasto de combustible y estadísticas del movimiento de carga. Dirección General de Estudios, Estadística y Registro Ferroviario Mexicano. Agencia Reguladora de Transporte Ferroviario (ARTF). Información recibida mediante oficio el 19 de octubre de 2023.

Operación de aeronaves

Para la estimación de emisiones por la operación de aeronaves, se utilizan los datos del Servicio a la Navegación en el Espacio Aéreo Mexicano (SENEAM), que considera tanto operaciones comerciales como especiales, de los dos aeropuertos que se ubican en la CDMXyZC; posteriormente, para determinar el número de operaciones especiales se realiza la resta del total de operaciones de cada aeropuerto (dato SENEAM) y los datos estadísticos de operaciones de cada aeropuerto (AICM y AIFA).

Operaciones Comerciales

Para la estimación de emisiones por la operación de aeronaves se empleó el Sistema de Modelado de Emisiones y Dispersión (EDMS, por sus siglas en inglés), desarrollado por el Programa de Investigación y Desarrollo (R&D) de la Oficina de Medio Ambiente y Energía de la Administración Federal de Aviación (FFA, por sus siglas en inglés) de Washington, D.C. El EDMS es configurado con variables meteorológicas locales, capa de mezclado y el número de operaciones de aterrizaje y despegue por tipo de aeronave. El modelo cuantifica las emisiones del total de operaciones reportadas por el SENEAM (comerciales y especiales), posteriormente se hace una desagregación de estas.

Operaciones Especiales

Las operaciones especiales se determinan al obtener la diferencia del número de total de operaciones reportadas por el SENEAM (Tabla 2-11) y las operaciones comerciales y especiales reportadas en las estadísticas de los Aeropuertos Internacionales Benito Juárez (AICM) y Felipe Ángeles (AIFA), ver Tabla 2-12.

Tabla 2-11. Reporte de operaciones por aeropuerto

Aeropuerto	Llegadas	Salidas	Total
AICM	194,242	196,899	391,141
AIFA	5,598	5,937	11,535

Fuente: SENEAM (2023). Número de operaciones por aeropuerto 2022

Tabla 2-12. Reporte de operaciones comerciales por aeropuerto

Mes	AICM			AIFA		
	Nacional	Internacional	Total	Nacional	Internacional	Total
Enero	19,706	9,072	28,778	N/A	N/A	N/A
Febrero	17,054	7,863	24,917	N/A	N/A	N/A
Marzo	20,239	9,079	29,318	135	3	138
Abril	21,295	9,549	30,844	352	4	356
Mayo	21,509	9,889	31,398	365	6	371
Junio	21,014	9,891	30,905	351	5	356
Julio	22,146	10,142	32,288	334	4	338
Agosto	22,639	10,170	32,809	597	23	620
Septiembre	20,715	9,220	29,935	1,296	31	1,327
Octubre	21,556	9,686	31,242	1,780	86	1,866
Noviembre	20,625	9,805	30,430	1,698	86	1,784
Diciembre	20,696	10,350	31,046	1,713	127	1,840
Total	249,194	114,716	363,910	8,621	375	8,996

Fuente: AICM (2022). Estadística y movimiento operacional del Aeropuerto Internacional Benito Juárez Ciudad de México. Consultado en julio de 2024 de <https://www.aicm.com.mx/estadisticas>
 AIFA (2022). Estadísticas y movimiento operacional del Aeropuerto Internacional Felipe Ángeles. Consultado julio 2024 de <https://aifa.aero/aifacorporativo.html#estadisticas>.

A partir de las emisiones totales que cuantifica el modelo Sistema de Modelado de Emisiones y Dispersión (EDMS), se obtiene un factor de emisión por operación (LTO), para cada contaminante, y se obtuvieron las emisiones de vuelos especiales. Respecto a las emisiones de GEI, se utilizaron factores de emisión del IPCC 2006 y el combustible consumido dentro de la capa de mezclado (10%), ver Tabla 2-13 y Tabla 2-14.

Tabla 2-13. Reporte de operaciones especiales y consumo de combustible

Aeropuerto	Número de Operaciones	Consumo energético [TJ/año]
AICM	27,231	431.33
AIFA	2,539	40.22

Fuente: Determinación propia con información recibida por la Dirección de Combustibles de Aeropuertos y Servicios Auxiliares, (ASA, s/f) y datos de SENEAM, AICM y AIFA 2022

Tabla 2-14. Factores de emisión para operaciones especiales

Factores de emisión	Aeropuerto	
	AICM	AIFA
Obtenidos con el modelo EDMS [t/LTO]		
PM10 ¹	3.23E-05	3.73E-05
PM2.5 ¹	3.23E-05	3.73E-05
SO ₂ ¹	3.94E-04	4.38E-04
CO ¹	5.40E-05	9.12E-03
NOx ¹	4.24E-03	4.24E-03
COT ¹	1.30E-03	2.24E-03
COV ¹	1.30E-03	2.22E-03
CN ³	4.84E-06	5.59E-06
Tóxicos ¹	5.69E-04	1.03E-03
Factores de emisión (IPCC 2006) [t/TJ]		
CO ₂ ²	7.15E+01	
CH ₄ ²	5.00E-04	
N ₂ O ²	2.00E-03	

Fuentes: 1) Factores de emisión determinados a partir del modelo Sistema de Modelado de Emisiones y Dispersión (EDMS); 2) IPCC (2006). Directrices del IPCC 2006, para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Volumen 2, Energía; Capítulo 3. Combustión Móvil. 3) CEIDARS (2007). California Emission Inventory and Reporting System, profile 1412 Aircraft-Jet fuel.

Terminales de autobuses

En las terminales de autobuses las emisiones de contaminantes se atribuyen a la combustión interna de los motores a diésel de las unidades (con motor encendido). Las emisiones se estimaron con el Modelo MOVES-CDMX, considerando el número de corridas anuales para cada una de las terminales centrales e individuales localizadas dentro de la CDMX, no se reportan terminales en municipios conurbados.

Se realizó una proyección del número de corridas considerando los datos estadísticos de la Secretaría de Comunicaciones y Transporte 2010-2017 (SCT, 2022), debido a que en la Estadística Básica del Autotransporte Federal 2022 se reportó únicamente el total de pasajeros. Para obtener el número de corridas realizadas por cada autobús según su edad vehicular, se utilizó la flota de autobuses federales por año modelo reportada en el inventario de fuentes móviles 2022.

Tabla 2-15. Número de corridas por terminal (centrales e individuales) 2022

Centrales	No. de corridas	Alcaldía	Individuales	No. de corridas	Alcaldía
Norte	785,640	Gustavo A. Madero	ADO Coyoacán	7,770	Coyoacán
Oriente	495,657	Venustiano Carranza	ADO Cuauhtémoc	830	Cuauhtémoc
Poniente	575,549	Álvaro Obregón	ADO Iztapalapa	3,930	Iztapalapa
Sur	289,989	Coyoacán	ADO Venustiano Carranza	10,653	Venustiano Carranza
Total	2,146,835		Total	23,183	

Para las corridas que se realizaron en el modelo MOVES-CDMX y obtener las emisiones de cada terminal de autobuses se alimentaron los archivos presentados en la Tabla 2-16.

Tabla 2-16. Archivos de entrada en el modelo MOVES-CDMX

Tabla	Contenido
AVFT	Distribución de los vehículos según su combustible utilizado y tecnología
SourceTypeAgeDistribution	Distribución de los vehículos por año modelo
FuelFormulation	Características físicas y químicas de los combustibles
FuelSupply	Información sobre consumo anual de los combustibles
FuelUsageFraction	Fracción de consumo de combustible comercializada en la región
Link	Ciudad, municipio, longitud, volumen de tráfico por hora, tipo de camino
LinkSourceTypeHour	Indica el tipo de vehículos estimados, así como la fracción por hora
offNetworkLink	Vehículos y la fracción de tiempo en modos starting and extended idling
opModeDistribution	Define los modos de operación de los vehículos
ZoneMonthHour	Promedios horarios mensuales de temperatura y humedad relativa

Maquinaria

Para estimar las emisiones de esta categoría se utilizó la herramienta HEMAQ proporcionada por el Programa Clima y Aire Limpio en Ciudades de América Latina – Plus (CALAC+), se alimentó la flota nacional al año 2022, que se obtuvo a partir de la depuración de la base de datos proporcionada por la Agencia Nacional de Aduanas, mediante script desarrollado por la misma CALAC+.

La herramienta HEMAQ incluye factores de emisión por tipo de maquinaria y tecnología, factor de carga, desgaste, todos ellos tomados de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos; para la actividad se utilizan datos nacionales determinados en el estudio “Caracterización de la Actividad Anual y las emisiones de Fuentes Móviles fuera de Carretera utilizadas en el Agro y en la Construcción en México (SEMARNAT-INECC-CONACYT, 2018). La herramienta permite seleccionar el nivel de actividad, así como el contenido de azufre en el diésel. Para cada año inventario se actualizarán la flota y los indicadores que se utiliza para desagregar las emisiones por entidad. En la siguiente tabla se presentan estos indicadores.

Tabla 2-17. Contribución para distribución geográfica de las emisiones en la CDMXyZC, 2022

Rubro	CDMX	EDOMEX	Tizayuca
Construcción	10.57%	4.01%	0.10%
Agrícola	0.08%	1.18%	0.01%
Industrial	4.39%	7.46%	0.13%
Forestal	N/A	0.70%	N/A
Minera	0.53%	N/A	0.002%

Fuente: Determinación de la SEDEMA a partir de Valor Agregado Bruto y del Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas de la Industria de la Construcción, de la Industria Manufacturera y del sector minero; del Anuario Estadístico Forestal y Cartografía Serie VI de INEGI; y de la superficie sembrada y cosechada del SIAP.

Uso de solventes y productos que los contienen

La estimación de emisiones de compuestos orgánicos totales (COT) y de compuestos orgánicos volátiles (COV) por el uso de solventes y productos que los contienen es diferente para cada categoría evaluada; sin embargo, se agrupan dependiendo de los datos de actividad disponibles:

- Estimación por empleado
- Estimación por consumo
- Estimación per cápita
- Estimación por número de establecimientos
- Estimación por longitud de vialidades

Para la estimación de todas las categorías se empleó la siguiente ecuación general:

$$E_{ij} = DA * FE_{ij}$$

Donde:

E_{ij} = Emisión contaminante (i) referido a la actividad j [t/año]

DA= Dato de actividad dependiendo del grupo o categoría evaluada

FE_{ij} = Factor de emisión del contaminante (i) referido a la actividad (j) [t/año]

Estimación de emisiones por empleado

Esta sección incluye el cálculo de emisiones de las siguientes categorías:

- Limpieza de superficies industriales, las emisiones se generan por el uso y/o aplicación de solventes orgánicos (destilados de petróleo, hidrocarburos clorados, cetonas, alcoholes, entre otros) que se seleccionan dependiendo del coeficiente de solubilidad, sustancia a remover, toxicidad, inflamabilidad y velocidad de evaporación, entre los principales. Se utilizan para remover grasas, aceites, ceras, depósitos de carbón, óxidos y alquitranes.
- Lavado en seco de ropa con gas nafta.

Limpieza de superficies industriales

Para esta categoría, se utilizó la relación de emisiones COT/COV descrita en los “Manuales del Programa de Inventarios de Emisiones en México” (Radian Internacional, LLC., 1997); el número de empleados de la industria manufacturera se tomó del Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (INEGI, 2022). Para no duplicar las emisiones, se ajustó con el número de empleados reportados por las fuentes puntuales en la Licencia Ambiental Única o Informe de desempeño Ambiental (LAU o IDA) y en las Cédulas de Operación Anual e Integral (COA y COI). Los factores de emisión se muestran en la Tabla 2-18.

Tabla 2-18. Factores de emisión para limpieza de superficies industriales

FE COT [kg/Empleado-año]	FE COV [kg/Empleado-año]
65	39

Fuente: Radian Internacional, LLC (1997). Manuales del programa de inventarios de emisiones de México (vol. II-VI) elaborado para la Asociación de Gobernadores del Oeste, Denver, Colorado, USA. Sección 6.5 Limpieza de superficies en la industria. Consultado en 2024 de <https://www3.epa.gov/ttn/carc/dir1/areainv5.pdf>.

Lavado en seco – gas nafta

Las emisiones por el consumo de gas nafta se determinan con factores de emisión por empleado que se reportan en los “Manuales del programa de Inventarios de Emisiones en México” (Radian International, LLC., 1997), en este se especifica que sólo los procesos de lavado en seco que usan derivados de petróleo tendrán emisiones de COV y que estas constituyen el 100% de los COT.

Tabla 2-19. Factor de emisión por Lavado en seco – gas nafta

Unidades	FE COT/COV
[t/empleado-año]	0.816

Fuente: Radian International, LLC (1997). Manuales del Programa de Inventarios de Emisiones de México, Volumen V. Consultado en 2019, de https://www3.epa.gov/ttnecat1/cica/other3_s.html.

Para determinar el número de empleados se utilizó el número de establecimientos que utilizan gas nafta a partir de información proporcionada por la SEMARNAT, en la que se considera que el 23% de los establecimientos reportados en el DENU, sector 812210, que incluye a lavanderías y tintorerías, son tintorerías y el 0.35% utilizan gas nafta y que en promedio los pequeños establecimientos cuentan con 2.5 empleados (Tabla 2-20).

Tabla 2-20. Número de establecimientos y empleados

Entidad	Establecimientos gas nafta	Número de empleados
CDMX	21	57
EDOMEX	15	43
Tizayuca	N/A	N/A
CDMXyZC	36	100

Fuente: INEGI. (2022). Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE). Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Consultado en enero de 2024, de: <https://www.inegi.org.mx/app/mapa/denue/default.aspx>

Estimación de emisiones por consumo

En este apartado se consideran las categorías de: recubrimiento de superficies arquitectónicas, pinturas en aerosol y pintura de tránsito, mismas que se describen a continuación:

- Recubrimiento de superficies arquitectónicas: las emisiones se atribuyen a la aplicación de pintura, barniz y/o laca en edificaciones;
- Aplicación de pintura de tránsito y pinturas en aerosol: actividades que se realizan al aire libre y sin control de emisiones, todo el solvente contenido en el producto se evapora durante su uso.

El volumen de producto utilizado se proyectó a 2022 a partir del Informe Anual del Mercado Mexicano de Pinturas (ANAFAPyT, 2018), el porcentaje de variación del Producto Interno Bruto de la industria química 2018-2022 para la CDMXyZC (PIB, 2024)³.

³ INEGI. (2018). Producto Interno Bruto por Entidad Federativa (PIBE). Año Base 2018. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Consultado el 15 de abril de 2025, de: <https://www.inegi.org.mx/programas/pibent/2018/#tabulados>

Recubrimientos de superficies arquitectónicas

A partir del consumo anual nacional de estos productos se determinaron las emisiones de COV por tipo de pintura y solvente, se utilizaron los contenidos de COV especificados en fichas técnicas para cada tipo de recubrimiento (SEDEMA, 2024) y se obtuvo un factor de emisión por vivienda (Tabla 2-21), con este y el número de viviendas se calcularon las emisiones de la CDMXyZC. Las emisiones de COT se calculan con la relación COV/COT, definida en los Manuales del Programa de Inventarios de Emisiones de México (Radian International, LLC, 1997).

Tabla 2-21. Factores de emisión por uso de recubrimientos arquitectónicos

Tipos de producto	Recubrimientos arquitectónicos	FE COV [t/vivienda] ¹	Relación COV/COT ²
Pinturas emulsionadas	Vinílicas	2.62E-05	94.5%
	Vinil-acrílicas	9.27E-04	94.5%
	Otros (ejem. Adhesivos, selladores, etc.)	4.54E-05	96.8%
Esmaltes	Base de agua	1.36E-05	94.5%
	Base solvente	1.12E-03	96.8%
	Otros	5.20E-06	96.8%
Acabados	Texturizados	9.72E-05	96.8%
Impermeabilizantes elastómeros	Base de agua	1.22E-04	94.5%
	Base solvente	1.05E-05	96.8%

Fuentes: 1) Elaboración propia con datos proyectados del Informe Anual del Mercado Mexicano de Pinturas (ANAFAPYT, 2018), el número de viviendas de la ENIGH, 2022 y el Producto Interno Bruto de la industria química (INEGI, 2024). 2) Radian International, LLC (1997). Manuales del programa de inventarios de emisiones de México, Volumen V, Desarrollo de inventarios de emisiones de fuentes de área. Radian International, LLC 1997, 6.3, Recubrimiento de Superficies Arquitectónicas, pág. 6.11.

Pintura de tránsito

El consumo para la CDMXyZC se determinó considerando el dato nacional de venta de pinturas para señalización a 2022, y el Producto Interno Bruto (PIB) de la industria química por entidad. En la Tabla 2-22 se presenta el consumo de pintura y el factor de emisión de COV; el contenido de COV en pinturas utilizadas en la CDMX es el reportado por la Secretaría de Obras y Servicios (SOBSE) y para el resto de la zona conurbada, se revisaron fichas técnicas del producto. Para el factor de emisión de COT, se utilizó la relación presentada por Radian International, LLC., (1997), en donde: COV=98.8% COT.

Tabla 2-22. Factores de emisión para la pintura de tránsito

Entidad	Tipo de pintura	Consumo [litros/año]	FE COV [t/l]
CDMX	Base solvente	978,285	0.0003
EDOMEX		1,038,179	0.0004
Tizayuca		9,377	
CDMX	Base de agua	375,878	0.0001
EDOMEX		398,890	0.0001
Tizayuca		3,603	

Pinturas en aerosol

El consumo local se estimó a partir de las ventas nacionales y el PIB de la industria química y la población, con lo que se determinó el consumo por segmento doméstico e industrial. A partir de fichas técnicas consultadas por la SEDEMA, se obtuvo un contenido de COV promedio para las pinturas en aerosol, para determinar los COT se utilizaron dos

relaciones: una para aerosoles industriales y otra para aerosoles domésticos, ambas obtenidas de los Manuales del Programa de Inventarios de Emisiones de México (Radian International, LLC 1997), ver Tabla 2-23.

Tabla 2-23. Factores de emisión para pinturas en aerosol

Tipo de aerosol	FE COV [t/l]	%COV en COT
Industrial	0.0007	98.8%
Doméstico		69%

Estimación de emisiones per cápita

Incluye seis categorías, se actualizaron los factores de emisión para cuatro categorías disponibles en la hoja de cálculo de la EPA “Wagon Wheel”, y para las demás categorías se empleó el porcentaje de incremento del producto interno bruto como método de ajuste al factor emisión (ver Tabla 2-24), la población considerada se presenta en la Tabla 2-25.

Tabla 2-24. Factores de emisión per cápita

Categoría	Factor de emisión [kg/hab-año]	
	COT	COV
Adhesivos y selladores ²	1.218	0.840
Plaguicidas domésticos ¹	1.190	0.821
Productos de consumo doméstico ²	1.423	0.982
Productos de cuidado personal ²	1.886	1.302
Productos misceláneos ¹	0.044	0.030
Productos para el cuidado automotriz ¹	0.896	0.619

Fuentes: 1) Radian International, LLC (1997) Manuales del programa de inventarios de emisiones de México, Volumen V, Desarrollo de inventarios de emisiones de fuentes de área, 6.9 Uso comercial y doméstico de solventes, pág. 6.37.
2) Pechan (2007). Solvent VOC Emission Factors Calculated by EPA. 3) EPA (2022). Wagon Wheels Emission Factors spreadsheet.

Tabla 2-25. Población de la Ciudad de México y su Zona Conurbada 2022

Entidad	Población
CDMX	9,237,645
EDOMEX	12,709,442
Tizayuca	174,170
Total	22,121,257

Fuente: CONAPO (2023). Proyecciones de la población de México y de las entidades federativas. Población a mitad de año, 1950-2070 Consejo Nacional de Población (CONAPO). Consultado en diciembre de 2023, de <https://datos.gob.mx/busca/dataset/proyecciones-de-la-poblacion-de-mexico-y-de-las-entidades-federativas-2020-2070/resource/1d3a38bd-3282-4c96-bc67-45cf14e14acb>

Estimación de emisiones por establecimiento

Las categorías que se estimaron son las siguientes:

- Artes gráficas: impresión de periódicos, revistas, libros, entre otros materiales. La composición de las tintas es variable, pero todas están constituidas por componentes básicos: pigmentos, aglutinantes y solventes.
- Repintado automotriz: las emisiones se generan por la limpieza, el resanado, pintado y pulido de las partes automotrices y dependen del contenido de solvente en el producto utilizado.
- Lavado en seco: limpieza de ropa con solventes orgánicos no acuosos como el percloroetileno.

- Recubrimiento de superficies industriales: aplicación de pintura, barniz y/o laca en los interiores y exteriores de los establecimientos.

Artes gráficas

Se estimaron las emisiones para establecimientos de 0 a 5 y de 6 a 10 empleados, obtenidos del Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas, sector 323 Impresión e industria conexas (INEGI, 2022) presentados en la Tabla 2-26.

Tabla 2-26. Número de establecimientos

Entidad	Número de establecimientos	
	de 0-5 empleados	de 6-10 empleados
CDMX	2,649	411
EDOMEX	1,404	81
Tizayuca	18,	2
CDMXyZC	4,071	494

Fuente: INEGI. (2022). Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE). Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Consultado en enero de 2024, de: <https://www.inegi.org.mx/app/mapa/denue/default.aspx>

Se obtuvieron factores de emisión por tamaño de establecimiento a partir de las ventas nacionales reportadas en la Encuesta Mensual de la Industria Manufacturera 2022 y el contenido de COV presente en cada tipo de tinta, según las fichas técnicas anexas a la Licencia Ambiental Única de la CDMX.

Tabla 2-27. Factores de emisión de COV para artes gráficas

Tipo de tinta	FE por tamaño de establecimiento [t/año]	
	0-5 empleados	6-10 empleados
Flexografía	0.31	0.69
Offset	0.23	0.52
Rotograbado	0.34	0.77
Serigrafía	0.02	0.05

Fuente: Determinación de factores de emisión propia, a partir de volumen de ventas por clase de actividad y producto de la Encuesta Mensual de la Industria Manufacturera (EMIM, 2022) y contenidos promedio de COV de tintas de acuerdo con datos de fichas técnicas contenidas en el anexo "A" de la Licencia Ambiental Única de la CDMX 2018.

Repintado automotriz

El dato de actividad se obtuvo del DENUE, sectores 811121 y el 811129 (INEGI, 2022) a partir del número de establecimientos de hojalatería, pintura, instalación de cristales y otras reparaciones de automóviles y camiones; se consideran establecimientos de hasta 5 empleados y de 6 a 10 empleados (Tabla 2-28).

Tabla 2-28. Número de establecimiento de repintado automotriz

Entidad	Número de establecimientos	
	0-5 Empleados	6-10 Empleados
CDMX	2,194	121
EDOMEX	3,064	78
Tizayuca	49	1
CDMXyZC	5,307	200

Fuente: INEGI. (2022). Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE). Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Consultado en enero de 2024, de: <https://www.inegi.org.mx/app/mapa/denue/default.aspx>

Para la determinar los factores de emisión se utilizó el consumo nacional de recubrimientos y el contenido de COV en cada tipo de producto, obtenido de fichas técnicas de la SEMARNATH (Tabla 2-29).

Tabla 2-29. Factores de emisión por tipo de recubrimiento para repintado automotriz

Producto	Factor de Emisión COV [t/año]	
	0-5 Empleados	6-10 Empleados
Primarios	0.285	0.642
Acabados de color		
Lacas	0.018	0.041
Esmaltes alquidáticos	0.066	0.149
Esmaltes acrílicos	0.186	0.419
Base color		
Base solvente	0.108	0.243
Base agua	0.005	0.011
Transparentes o claras	0.203	0.457

Fuente: SEMARNATH (2020). Contenido de COV basado en diversas fichas técnicas. Información proporcionada mediante correo electrónico, el 15 de septiembre de 2020.

Se utilizó la relación $COV=98.8\% COT$, presentada en los Manuales del Programa de Inventarios de Emisiones de México de Radian International, LLC (1997) para determinar la emisión de los COT.

Lavado en seco - Percloroetileno

El factor de emisión por tamaño de establecimiento para el lavado en seco con percloroetileno (PERC), se obtiene considerando lo siguiente:

- Que el 22.7% de los establecimientos del sector de lavanderías y tintorerías reportadas en el DENU (INEGI, 2022), utilizan PERC para la actividad (López, E., 2019).
- El dato de importación de percloroetileno reportado en la Balanza Comercial de Mercancías de México (INEGI, 2024), y el porcentaje de PERC que se utilizó para la actividad (8%).

Tabla 2-30. Factor de emisión para lavado en seco

Factores de Emisión por tamaño de establecimiento [t/año]	
0 a 5 empleados	6 a10 empleados
0.045	0.100

Recubrimiento de superficies industriales

Los factores de emisión se calcularon a partir del consumo nacional de los diferentes productos utilizados para este fin, el contenido de COV presentes en ellos según fichas técnicas SEDEMA (2024) y el número de Unidades económicas de la industria manufacturera reportadas en el DENU (INEGI, 2022).

Para evitar la sobreestimación de las emisiones se realiza el ajuste con los datos de emisiones de la actividad reportadas por las fuentes fijas.

Tabla 2-31. Factores de emisión para recubrimientos de superficies industriales

Tipo de recubrimiento	FE COV [t/establecimiento-año]
Primario base agua	2.11E-05
Primario base solvente	1.09E-02
Acabados base agua	5.91E-04
Acabados base solvente	1.87E-02
Recubrimientos 100 sólidos	7.85E-05

Las emisiones de COT se obtienen al dividir las emisiones de COV entre 0.988, según lo descrito en los “Manuales del programa de Inventarios de Emisiones en México” (Radian International, LLC., 1997).

Estimación por longitud de vialidades pavimentadas – Aplicación de Asfalto

Para el cálculo de las emisiones generadas por la aplicación de asfalto se utilizan la siguiente ecuación:

$$E = (\text{Masa de asfaltado})(\% \text{ peso de asfalto en mezcla})(\text{Densidad diluyente})(\% \text{ de evaporación del diluyente})$$

Donde:

E= Emisión de COT [t/año]

% peso de asfalto en mezcla = porcentaje del peso de asfalto para el tipo de mezcla

Densidad del diluyente= densidad para el tipo de mezcla

% de evaporación del diluyente= porcentaje de evaporación del diluyente para el tipo de mezcla

Tabla 2-32. Variables para el cálculo de emisiones por aplicación de asfalto

Variable	Mezcla templada
% peso de asfalto en la mezcla ¹	6.50%
Densidad del diluyente como %peso ²	0.20%
% diluyente evaporado ¹	95.00%

Fuente: 1) Radian International LLC (1997). Manuales del programa de inventarios de emisiones de México (Volumen V). Elaborado para la Asociación de Gobernadores del Oeste Denver, Colorado. USA. Consultado en febrero 2024, de: <https://www3.epa.gov/ttn/catc1/cica/files/areainv5.pdf>.

2) Planta de Asfalto de la CDMX (2024). Cantidad y características de asfalto aplicado 2022. Información proporcionada por la Dirección General de la Planta de Asfalto de la Secretaría de Obras y Servicios

La Ciudad de México y el Municipio de Tizayuca, proporcionaron la cantidad de mezcla asfáltica aplicada, para el Estado de México se determinó un **factor de emisión en toneladas por km de vialidad a partir de la estimación de emisiones de COT en la CDMX (0.00428 [t/km])**. En la Tabla 2-33 se presentan los datos de actividad y la longitud de las vialidades pavimentadas por entidad:

Tabla 2-33. Cantidad de mezcla asfáltica aplicada e infraestructura de carretera

Entidad	Asfalto aplicado [t/año]	Longitud vial [km]
CDMX ¹	550,123.30	15,884
EDOMEX	N/D	26,267
Tizayuca ²	2,605.45	291

Fuente: 1) Planta de Asfalto de la CDMX (2024). Cantidad y características de asfalto aplicado 2022. Información proporcionada por la Dirección General de la Planta de Asfalto de la Secretaría de Obras y Servicios, mediante oficio de fecha 7 de septiembre de 2024.

2) SOPOTH (2022a). Aplicación de asfalto durante 2022. Secretaría de Obras Públicas y Ordenamiento Territorial del Estado de Hidalgo. Información recibida vía correo electrónico. Subdirección de Monitoreo Atmosférico del Estado de Hidalgo el 28 de febrero de 2024.

Distribución, fugas y almacenamiento de combustibles

Almacenamiento⁴, distribución y venta de gasolina

En esta categoría se estimaron las emisiones de los compuestos orgánicos provenientes de los vapores que se emiten durante la distribución y venta de gasolina, para cada una de las etapas, considerando el sistema de recuperación de vapores (SRV).

En la siguiente figura se muestran los puntos en donde se generan las emisiones, así mismo, se presenta la metodología para obtener los factores de emisión en cada etapa del proceso de distribución y venta de gasolina.

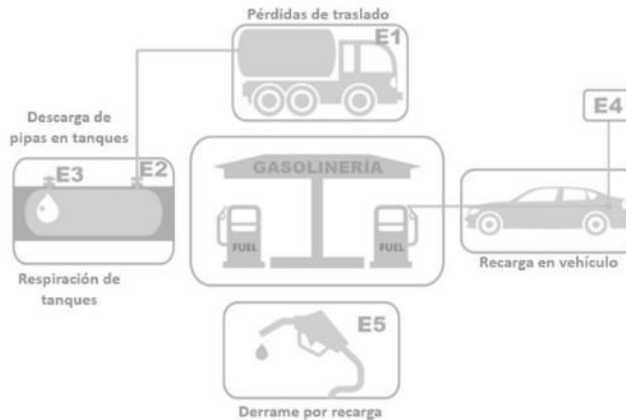


Figura 2-1. Etapas de emisión de COV en estaciones de servicio

Estimación de emisiones por pérdidas de traslado (E1)

La emisión por pérdidas en los vehículos repartidores de gasolina incluye el recorrido de la terminal a la estación de servicio y viceversa (con o sin carga). La emisión depende del grado de venteo, de la hermeticidad del tanque, el ajuste de presión a la válvula de alivio, la presión del tanque al inicio del recorrido, la presión de vapor del combustible transportado y del grado de saturación de vapor del combustible en el espacio del tanque, se estiman con la siguiente ecuación:

$$E_{E1} = \sum_{i=1}^N [(FE_{tc,i,c} + FE_{tv,i,c}) * C_{Vi}]$$

Donde

E_{E1} = Emisión de COT en la etapa E1 [t/año]

$FE_{tc,i,c}$ = Factor de emisión por pérdida en tránsito con producto a la estación de servicio (i) en condiciones de tránsito (c) [5.0E-7 t/m³], (Radian International, LLC 1997)

$FE_{tv,i,c}$ = Factor de emisión de pérdida en tránsito sin producto a la estación de servicio (i) en condiciones de tránsito (c) [6.5E-6 t/m³], (Radian International, 1997)

C_{Vi} = Cantidad de gasolina suministrada a la estación de servicio (i) [m³/año]

N = Número de estación de servicio (i)

⁴ El almacenamiento masivo de gasolinas en las Terminales de Almacenamiento y Distribución (TAD) es una categoría federal y sus emisiones fueron proporcionadas por la SEMARNAT y se reportan como una fuente fija.

Estimación de emisiones por la descarga de pipas a estaciones de servicio (E2)

La descarga de gasolina a tanques subterráneos en la estación de servicio se conoce como carga sumergida con balance de vapor, debido a que cuenta con un Sistema de Recuperación de vapores (SRV)⁵, que recupera los vapores desplazados durante la descarga de gasolina y los lleva de regreso al tanque de la pipa de distribución. Su cálculo se realizó de la siguiente forma:

$$E_{E2} = \sum_{i=1}^N FE_{dp} * C_{vi} \left(1 - \frac{F_c}{100}\right)$$

Donde:

- E_{E2} = Emisión de COT en la E2
- C_{vi} = Cantidad de gasolina suministrada a la estación de servicio (i) [m³/año]
- F_c = Factor de corrección referido a la eficiencia del SRV (factor diferenciado por entidad)⁶
- N = Número de estación de servicio (i)
- FE_{dp} = Factor de emisión por descarga de pipas a la estación de servicio (i)

El factor de emisión de la etapa 2, se estimó considerando las características de la gasolina distribuida en la CDMXyZC y se calculó con la ecuación (Radian International, LLC 1997, pág. 7-2 a 7-15):

$$FE_{dp} = 12.46 \left(S * P * \frac{M}{T} \right) * 0.000119815$$

Donde:

- FE_{dp} = Factor de emisión por descarga de las pipas durante la carga de combustible [t/m³]
- S = Factor de saturación [1 adimensional] (Radian International, LLC, 1997, p. 7-14)⁷
- P = Presión de vapor verdadera del líquido, [psi]
- M = Peso molecular de los vapores, [68 lb/lb-mol]
- T = Temperatura del líquido en la descarga, equivalente a temperatura ambiente, 18.0705 °C.
- 0.000119815 = Factor de conversión de [lb/1,000 gal] a [t/m³]

Estimación de emisiones por respiración de tanques subterráneos (E3)

La cantidad de emisiones depende principalmente de la evaporación y los cambios en la presión barométrica, la frecuencia de extracción de gasolina del tanque también las puede afectar, debido a que el aire fresco que entra incrementa la tasa de evaporación. Estas emisiones se estimaron con la siguiente ecuación:

$$E_{E3} = \sum_{i=1}^N FE_R * C_{vi}$$

⁵ El sistema de recuperación de vapores es un conjunto de accesorios, tuberías, conexiones y equipos especialmente diseñados para recuperar y controlar la emisión de vapores de gasolina producidos en las operaciones de transferencia de este combustible a las estaciones de servicio y estaciones de autoconsumo, que de otra manera serían emitidos a la atmósfera.

⁶ La eficiencia de los SRV varía en función al sistema o tecnología instalada en la estación de servicio y fueron estimados con datos del estudio "Determinación de la exposición personal a contaminantes del aire en tres estaciones de servicio de gasolina en la Zona Metropolitana de Guadalajara, Jalisco" (INECC, 2014).

⁷ Factores de saturación (S) para el cálculo de las pérdidas por recarga de líquidos de petróleo. Carga sumergida: servicio exclusivo de balance de vapor.

Donde:

- E_{E3} = Emisión de COT en la etapa E3 [t/año]
 C_{vi} = Cantidad de gasolina suministrada a la estación de servicio (i) [m³/año]
 FE_r = Factor de emisión de pérdida por respiración del tanque [**1.2E-4 t/m³**], (Radian International, LLC 1997)
 N = Número de estación de servicio (i)

Estimación de emisiones por recarga de gasolina de vehículos (E4)

Durante la recarga de gasolina en vehículos se producen emisiones por desplazamiento, la cantidad de vapores depende de la temperatura de la gasolina, la temperatura del tanque del automóvil, de la presión de vapor Reid del combustible y de la cantidad vendida. Las emisiones se estimaron por medio de la siguiente ecuación:

$$E_{E4} = \sum_{i=1}^n FE_{cg} * C_{vi} * \left(\frac{F_c}{100}\right)$$

Donde:

- E_{E4} = Emisión de COT en la etapa E4 [t/año]
 C_{vi} = Cantidad de gasolina suministrada a la estación de servicio (i) [m³/año]
 F_c = Factor de corrección referido a la eficiencia del SRV (factor diferenciado por entidad)
 N = Número de estación de servicio (i)
 FE_{cg} = Factor de emisión de pérdida por recarga en vehículos

El factor de emisión FE_{cg} se estima con base en las características de la gasolina distribuida en la CDMXyZC, con la siguiente ecuación (Radian International, LLC, 1997, p 7-13):

$$FE_{cg} = 264.2 * [(-5.909) - 0.0949(\Delta T) + 0.0884(T_s) + 0.485(PVR)]$$

Donde:

- FE_{cg} = Factor de emisión no controlada de COT para recarga de combustible [mg/l]
 ΔT = Gradiente de temperatura del tanque del vehículo y del combustible despachado
 T_s = Temperatura del combustible despachado
 PVR = Presión de Vapor de Reid

Estimación de emisiones por derrames de combustible en la recarga E5

La emisión de COT en esta etapa depende de las características comerciales de la estación de servicio, de la configuración del tanque y especialmente de la técnica del operador por recarga de combustible. Las emisiones se estimaron de la siguiente forma:

$$E_{E5} = \sum_{i=1}^N FE_d * C_{vi}$$

Donde:

- E_{E5} = Emisión de COT en la etapa E5 [t/año]
 C_{vi} = Cantidad de gasolina suministrada a la estación de servicio (i) [m³/año]
 FE_d = Factor de emisión por derrames [**8.00E-5 t/m³**], (Radian International, LLC 1997)
 N = Número de estación de servicio (i)

Los factores de emisión por etapa se muestran en la Tabla 2-34 y las ventas de gasolinas en la Tabla 2-35.

Tabla 2-34. Factores de emisión para la distribución de gasolinas por etapa

Etapa	Tipo de gasolina	Entidad	FE [t/m ³]
Etapa 1	Magna/Premium	CDMXyZC ³	7.00E-06
		CDMX ¹	5.28E-04
Etapa 2	Magna	EDOMEX ¹	9.30E-04
		EDOMEX-Tizayuca ²	1.55E-03
	Premium	CDMX ¹	5.36E-04
		EDOMEX ¹	9.25E-04
Etapa 3	Magna/Premium	CDMXyZC ³	1.20E-04
		CDMX ¹	2.09E-04
Etapa 4	Magna	EDOMEX ¹	3.76E-04
		EDOMEX-Tizayuca ²	6.26E-04
	Premium	CDMX ¹	2.15E-04
		EDOMEX ¹	3.72E-04
Etapa 5	Magna/Premium	EDOMEX-Tizayuca ²	6.21E-04
		CDMXyZC ³	8.00E-05

¹ Alcaldías y municipios obligados a contar con SRV conforme a la NOM-004-ASEA-2017.

² Municipios exentos conforme a la NOM-004-ASEA-2017

³ Radian International, LLC (1997). Manuales del programa de inventarios de emisiones de México, volumen V. Desarrollo de Inventarios de emisiones de fuentes de área, capítulo 7.1 Distribución de gasolina, pág. 7-2 a 7-15.

Tabla 2-35. Consumo de gasolina en la CDMXyZC [m³/año]

Tipo de Gasolina	CDMX	EDOMEX	Tizayuca	Total
Magna	2,930,362	5,176,711	34,724	8,141,796
Premium	773,778	928,446	4,653	1,706,877
CDMXyZC	3,704,140	6,105,156	39,377	9,848,673

Fuente: SEDEMA. (2024). Determinación de consumo de gasolina a partir de datos de rendimiento promedio y kilómetros recorridos por tipo de vehículo. Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México (SEDEMA).

Carga de combustible en aeronaves

Las emisiones de hidrocarburos cuando se recarga el tanque de la aeronave dependen de la presión de vapor del combustible y la temperatura del tanque. Las emisiones se calcularon mediante la siguiente ecuación:

$$E_{E2} = FE_{COT,i} * C_i$$

Donde:

E_{E2} = Emisión de COT por recarga del combustible (i)

$FE_{COT,i}$ = Factor de emisión de COT por recarga del combustible (i) [lb/1,000 gal]

C_i = Cantidad de combustible (i) en la recarga [1,000 gal]

El factor de emisión $FE_{COT,i}$ se ajustó a las características del combustible con la siguiente expresión (Radian International, LLC, 1997, p. 7-16):

$$FE_{COT,i} = 12.46 * \left(S * P * \frac{PM}{T} \right)$$

Donde:

$FE_{COT,i}$ = Factor de emisión de COT por recarga del combustible (i) [lb/1,000 gal]

S = Factor de saturación (Radian Internacional, LLC, 1997, p.7-14)

P = Presión de vapor verdadera del combustible (i) a temperatura ambiente [psia]

PM = Peso molecular de los vapores del combustible (i) [lb/lb-mol]

T = Temperatura de la masa del combustible (i) a temperatura ambiente

MEMORIA DE CÁLCULO

Tabla 2-36. Propiedades y factor de emisión de la turbosina por Aeropuerto

Aeropuerto	Factor de Saturación ¹	Presión de Vapor Verdadera (psia) ²	Peso Molecular (lb/lb-mol) ²	Temperatura (R)	Factor de emisión (t COT/m ³)
AICM	1.45	0.0099	130	525	5.31E-06
AIFA		0.0091		522	4.92E-06

Fuente: 1) Radian International, LLC (1997). Manuales del programa de inventarios de emisiones de México. Vol. V desarrollo de inventarios de emisiones de fuentes de área Tabla 7.1-1 Factores de saturación (S) para calcular las pérdidas al cargar líquidos de petróleo. P 7-14. 2) U.S. EPA (1995). Air Pollutant Emission Factors and Quantification AP-42 (5th ed.). Stationary Point and Area Sources, Chapter 7 "Liquid Storage Tanks". Tabla 7.1-2. U.S. Environmental Protection Agency (U.S. EPA). Consultado en 2018, de: <https://www.epa.gov/air-emissions-factors-and-quantification/ap-42-compilation-air-emissions-factors>.

En la Tabla 2-37 se reporta la cantidad de combustible recargado durante el año 2022.

Tabla 2-37. Volumen mensual de carga de combustible en aeronaves

Aeropuerto	Turbosina (m ³)
AICM	1,672,925
AIFA	49,336

ASA. (2024). Volumen mensual de la carga y descarga de combustibles a tanques de almacenamiento 2022. Información proporcionada por la Dirección de Combustibles de Aeropuertos y Servicios Auxiliares. Información proporcionada mediante oficio el 16 de agosto de 2024.

Almacenamiento y distribución de gas LP

La importancia de contabilizar la emisión por el almacenamiento y distribución de este hidrocarburo se debe a que se han identificado altas concentraciones de propano y butano en el ambiente como consecuencia de las emisiones fugitivas de gas LP, mismas que se dan en las terminales de almacenamiento y distribución, durante el almacenamiento, descarga o recarga de auto tanques y recarga de recipientes estacionarios y portátiles, en la Tabla 2-38 se presentan los factores de emisión. La estimación de emisiones de COT se realizó con la siguiente ecuación:

$$E_{COT,i} = F_{COT,i} * DA_j$$

Donde:

$E_{COT,j}$ = Emisión de COT asociada a la actividad (j) [kg/año]

$F_{COT,j}$ = Factor de emisión de COT asociado a la actividad (j)

DA_j = Dato de actividad (j)

Tabla 2-38. Factores de emisión por almacenamiento y distribución de gas LP

Categoría	Actividad	[t COT/t GLP]	[t COV/ t GLP]
Almacenamiento	Almacenamiento	1.07E-04	1.05E-04
	Carga autotanque	2.28E-04	2.24E-04
	Descarga de semirremolques	1.37E-04	1.34E-04
	Llenado de recipientes portátiles	2.60E-04	2.55E-04
Distribución	Estaciones de carburación	2.62E-04	2.57E-04
	Tanques estacionarios	2.29E-04	2.25E-04
	Ventas de tanques portátiles	3.60E-03	3.54E-03

Fuente: PEMEX (1997). "Efectos de los componentes del Gas Licuado de Petróleo en la acumulación de ozono en la atmósfera de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México" en la Memoria técnica del estudio, PEMEX, Gas y Petroquímica Básica, Subgerencia de Regulaciones y Medio Ambiente, 1997. pp. 9-77.

Las emisiones de COV representan el 98.4% de COT (Radian International, LLC, 1997), se consideró un 0.006% de contenido de metano en el gas LP y que no se emiten aldehídos (IMP-SEDEMA, 2016). Los indicadores de actividad que se presentan en la Tabla 2-39 se obtuvieron con las siguientes consideraciones:

- Almacenamiento: volumen de gas LP suministrado por planta de almacenamiento y distribución.
- Carga de autotanques: volumen de gas LP suministrado a tanques estacionarios del sector industrial, comercial, autotransporte y residencial.
- Descarga de semirremolques: el total del gas LP suministrado a las plantas de distribución que se realizó por medio de semirremolques, previamente cargados en las terminales de recibo. Asimismo, el combustible se transfirió a las terminales de almacenamiento y distribución.
- Llenado de recipiente portátil: considera el suministro al sector residencial.
- Estaciones de carburación: Es la cantidad de gas LP suministrado al sector autotransporte.
- Tanques estacionarios: cantidad de gas LP suministrado a tanques estacionarios y es la suma del consumo en el sector residencial, industrial, comercial y servicios.
- Venta de tanques portátiles: es equivalente al llenado de recipientes portátiles en la terminal de almacenamiento, su emisión se da fuera de ella.

Tabla 2-39. Gas LP almacenado y distribuido en la CDMXyZC

Entidad	Almacenamiento de GLP [t/año]			Distribución de GLP [t/año]			
	Almacenamiento	Carga de autotanque	Descarga de semirremolque	Llenado de recipientes portátiles	Estaciones de carburación	Tanques estacionarios	Venta tanque portátil
CDMX	728,007	259,522	728,007	378,184	90,301	259,522	378,184
EDOMEX	1,089,876	295,153	1,089,876	651,169	143,554	295,153	651,169
Tizayuca	13,322	3,608	13,322	7,959	1,755	3,608	7,959
CDMXyZC	1,831,205	558,283	1,831,205	1,037,312	235,610	558,283	1,037,312

Fuente: SIE-SENER (2024). Sistema de información en Energía, ventas internas de gas LP y GN por sector y por entidad federativa para el año 2022. Consultado en enero de 2024, Sitio web: <http://sie.energia.gob.mx/>. Se consideraron ajustes con datos reportados por las fuentes fijas y establecimientos comerciales y de servicios.

Fugas en instalaciones de gas LP

Emisiones de COT y COV

La estimación de emisiones de hidrocarburos por fugas de gas LP se realizó para los sectores: residencial, comercios y servicios e industrial, los factores de emisión se presentan en las Tabla 2-40 y Tabla 2-41 y el volumen de gas LP se presenta en la Tabla 2-8 de este documento; la emisión se calcula con la siguiente ecuación:

$$E_{COT,i} = F_{COT,j} * DA_j$$

Donde:

$E_{COT,j}$ = Emisión de COT asociada a la actividad (j) [kg/año]

$F_{COT,j}$ = Factor de emisión de COT asociado a la actividad (j)

DA_j = Dato de actividad (j)

MEMORIA DE CÁLCULO

Tabla 2-40. Factores de emisión por fugas domésticas de gas LP

Fuente de fuga	COT [t/vivienda]	COV [t/vivienda]
Tanque portátil	1.15E-02	1.14E-02
Conexiones	5.31E-03	5.22E-03
Picteles	6.22E-03	6.12E-03
Válvulas de paso	2.08E-05	2.05E-05
Recipientes portátiles	N/A	N/A
Tanque Estacionario	7.86E-03	7.73E-03
Válvulas de paso	1.83E-05	1.80E-05
Reguladores	7.15E-03	7.04E-03
Recipientes estacionarios	6.84E-04	6.73E-04
Estufas-portátil	2.84E-03	2.79E-03
Estufas-estacionario	1.60E-03	1.58E-03
Estufas-pilotos	2.79E-03	2.75E-03
Calentadores-portátil	4.34E-03	4.27E-03
Calentadores-estacionarios	3.98E-03	3.92E-03
Calentadores-pilotos	6.40E-06	6.30E-06

Fuente: IMP-SEDEMA (2016). Diagnóstico de equipos a gas LP y actualización de factores de emisión de fugas y combustión de gas LP en viviendas. Informe del proyecto FAP CPSF/0126/2016-FA, preparado por el Instituto Mexicano del Petróleo (IMP) para la Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México (SEDEMA).

Tabla 2-41. Factores de emisión por fugas en los sectores industrial y servicios

Sector	COT [t/t GLP]	COV [t/t GLP]
Servicios	6.95E-04	6.84E-04
Industria	2.71E-04	2.67E-04

Fuente: PEMEX (1997). "Efectos de los componentes del Gas Licuado de Petróleo en la acumulación de ozono en la atmósfera de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México" en la memoria técnica del estudio, PEMEX, gas y petroquímica básica, Subgerencia de Regulaciones y Medio Ambiente. pp. 9-77.

Emisiones de metano

Para la estimación de emisiones de metano por fugas en instalaciones y accesorios se empleó la siguiente ecuación:

$$E_{CH_4} = CF_{GLP} * \%V_{GLP} * \delta_{CH_4}$$

Donde:

E_{CH_4} = Emisión de Metano (CH₄), $\left[\frac{CH_4}{año}\right]$

CF_{GLP} = Combustible fugado [m³/año]

$\%V_{GLP}$ = %Volumen de CH₄ en Gas LP=0.01% Volumen de CH₄ (IMP-SEDEMA, 2016)

δ_{CH_4} = Densidad CH₄ = 0.410 [t/m³]

Fuentes industriales y comerciales

Panaderías

La emisión de COT corresponde al etanol liberado como parte del proceso de fermentación de la levadura, depende de la cantidad de azúcar fermentable en la masa, tiempo y temperatura de horneado, el cálculo de emisiones se realizó con la siguiente ecuación:

$$E_{COT,i} = F_{COT,i} * FA$$

Donde:

$E_{COT,j}$ = Emisión de COT [kg/año]

$FE_{COT,j}$ = Factor de emisión de COT [t contaminante/establecimiento-año]

DA_j = Dato de actividad en el área de estudio [habitante/año]

El factor de emisión para la estimación de emisiones por panaderías se calculó con las siguientes consideraciones:

- Se estimó el consumo nacional anual de pan con el dato de consumo *per cápita* (33.5 [kg/año]) reportado por la Cámara Nacional de la Industria Panificadora (Canainpa, 2022) y datos de población al año 2022.
- Con el consumo nacional y el factor de emisión de 8 [kg/Mg de pan producida] (Radian Internacional, LLC, 1997), se estimaron las emisiones nacionales de COT.
- Se obtuvieron factores de emisiones por tamaño de establecimiento a partir de datos nacionales de número de empleados por tamaño de establecimiento y las emisiones nacionales de COT determinadas en el punto anterior. Se asumió que los COV= COT.

Tabla 2-42. Factores de emisión de COT [t/establecimiento-año]

Establecimiento 0 a 5 empleados	Establecimiento 6 a 10 empleados
0.374	0.842

Tabla 2-43. Número de establecimiento por entidad 2022

Entidad	Establecimientos 0 a 5 empleados	Establecimientos 6-10 empleados
CDMX	2,966	388
EDOMEX	5,510	468
Tizayuca	87	7
CDMXyZC	8,563	863

Fuente: INEGI. (2022). Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE). Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Consultado en enero de 2024, de: <https://www.inegi.org.mx/app/mapa/denue/default.aspx>

Esterilización en hospitales

La emisión de COT por esterilización en hospitales fue estimada con un factor de emisión en función al número de camas (U.S. EPA, 2003) con la siguiente ecuación:

$$E_{COT,j} = (\# \text{ de camas del hospital } j) * (\text{factor de emisión})$$

Donde:

$E_{COT,j}$ = Emisión de COT asociada a la unidad médica (j) [t/año]

$FE_{COT,j}$ = Factor de emisión de COT asociado al número de camas del hospital (j) [kg/cama- año] (Tabla 2-43)

DA_j = Número de camas en la unidad médica (j) [cama/año]

1,000 = Factor de conversión de [kg] a [t]

Tabla 2-44. Factores de emisión COT para esterilización en hospitales

Tipo de Hospital	Factor de emisión [t/año-cama]
Grande (+500 camas)	0.00105
Mediano (de 200 a 500 camas)	0.00063
Pequeño (-200 camas)	0.00082

Fuente: Document for the Draft 1999 National Emissions Inventory (Version 3.0) for Criteria Air Pollutants and Ammonia. Area Sources. E. H. Pechan & Associates, Inc. march 3, 2003. U.S. Environmental Protection Agency (U.S. EPA). Consultado en octubre 2024 en: <https://dam.assets.ohio.gov/image/upload/epa.ohio.gov/Portals/27/aqmp/eiu/hosps.pdf>

El dato de actividad fue obtenido de la base de datos de la Secretaría de Salud al año 2022⁸ donde se presenta la información sobre el número de camas de unidades médicas públicas y privadas.

Ladrilleras

Para la estimación de emisiones por producción de ladrillos se consideran dos actividades: la quema de combustible y el manejo de materiales, la actividad no se realizó en la CDMX y en el municipio de Tizayuca; en las Tabla 2-45 y 2-46 se presenta la producción de ladrillos y el consumo de combustible y los factores de emisión.

Tabla 2-45. Ladrillos fabricados y combustible consumido por entidad

Entidad	Consumo de combustible [kg/año]	Cantidad de producto fabricado [piezas]	Peso en crudo del ladrillo [t/año]
CDMX	N/A	N/A	N/A
EDOMEX	4,287,870	8,872,972	31,854

Fuente: IECC. (2024). Producción de ladrillos en el Valle de México. Departamento de Adaptación al Cambio climático del Instituto Estatal de Energía y Cambio Climático, información proporcionada mediante oficio en marzo de 2024.

Tabla 2-46. Factores de emisión por fabricación y manejo de materiales

Fuente	Contaminante	FE	Unidades
1	PM10	0.3856	kg/t producida
	PM2.5	0.3400	
	SO ₂	0.3040	
	CO	0.7260	
	NO _x	0.1680	
	COT	0.0820	
2	CO ₂	0.29185	t/t producida
	CH ₄	0.00092	
3	N ₂ O	4.0000	kg/TJ
4	PM10	6.490	kg/t arcilla
	PM2.5	5.945	

Fuente: 1) U.S. EPA. (1995) Compilation of Air Pollutant Emission Factor. AP-42 Fifth Edition, Volume I, Stationary Point and Area Sources. Section 11.3: Brick and Structural Clay Product Manufacturing.

2) Cárdenas, et al. (2012). Evaluación preliminar del impacto ambiental por la producción artesanal de ladrillo: cambio climático, eficiencia energética y calidad del aire. Informe final del convenio de colaboración INE/ADA-013/2009. Versión actualizada junio 2012. Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa y el Instituto Nacional de Ecología;

3) IPCC (2006). Directrices del IPCC 2006 para los inventarios de gases de efecto invernadero. Volumen 2. Energía, Capítulo 2 Combustión estacionaria, cuadro 2.3 factores de emisión de GEI, valores para madera y desechos de madera.

4) SEMARNATH (2020a). Fuentes de Área. Fuentes Misceláneas. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales del Estado de Hidalgo [presentación]

Manejo de residuos urbanos

Dentro de este conjunto de categorías se estiman las emisiones debidas al manejo y disposición de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) y las Aguas Residuales que se generaron en la CDMXyZC.

⁸ Recursos en Salud 2022, consultado en:

http://www.dgis.salud.gob.mx/contenidos/basesdedatos/da_recursos_gobmx.html

Rellenos Sanitarios

En los rellenos sanitarios, durante el proceso de descomposición de los residuos orgánicos se genera biogás, conformado principalmente por metano (CH₄) y dióxido de carbono (CO₂), además de trazas de compuestos orgánicos volátiles (COV) y monóxido de carbono (CO). De acuerdo con las directrices del IPCC 2006⁹, las emisiones de CO₂ no se reportan en los totales del inventario de emisiones, porque son de origen biogénico.

Para el caso específico de los rellenos sanitarios inactivos Prados de la Montaña y Santa Catarina, el 90% y el 74% respectivamente, de biogás es recuperado y quemado, por lo que sí se reportan emisiones de CO₂ por combustión.

La estimación de emisiones se realizó con el Modelo Mexicano de Biogás (MMB), versión 2 (U.S. EPA, LMOP, 2009), que necesita datos específicos de los sitios de disposición final, la tasa de aceptación anual, año de apertura, año de clausura, capacidad del sitio, porcentaje de residuos cubiertos, entre otros.

La Ciudad de México no cuenta con sitios de disposición final activos, los residuos sólidos generados en la ciudad son enviados a rellenos sanitarios del Estado de México y Morelos.

Se cuantifican las emisiones de rellenos activos y clausurados, estos últimos siguen liberando emisiones residuales por la degradación de la fracción orgánica. Se reportan las emisiones de 11 rellenos activos y 9 cerrados. Durante 2022 la CDMX envió a disposición final poco más de 6,500 toneladas diarias de residuos sólidos, en tanto que el Estado de México, dispuso más de 8 mil toneladas diarias.

Tratamiento biológico de Residuos

La estimación de emisiones de gases de efecto invernadero por el tratamiento de residuos orgánicos se realizó con la metodología del IPCC, 2006; para los contaminantes criterio se utilizó la metodología descrita en los manuales de la Unión Europea 2023. En la Tabla 2-47, se presenta la cantidad de residuos orgánicos tratados por entidad y los factores de emisión se muestran en la Tabla 2-48.

Tabla 2-47. Residuos orgánicos tratados por compostaje y digestión anaerobia

Entidad	Compostaje [t/año]	Digestión anaerobia [t/año]
CDMX ¹	29,267	514
EDOMEX ^{1,2}	418,154	N/A
CDMXyZC	447,421	514

Fuente: 1) SEDEMA (2024). Inventario de Residuos Sólidos, Ciudad de México 2022. Secretaría del Medio Ambiente (SEDEMA). Consultado en: https://www.sedema.CDMX.gob.mx/storage/app/media/DGCPCA/residuos/IRS_2022_Completo.pdf 2) SMAyDS (2024). Datos de generación de residuos del Estado de México, información proporcionada por el Departamento de Seguimiento a sitio de Disposición Final de Residuos vía correo electrónico el 18 de enero de 2024. La CDMX envía a la planta de composta de Bordo Poniente (Texcoco) 395,701 toneladas anuales de fracción orgánica para compostaje.

Tabla 2-48. Factores de emisión para compostaje y digestión anaerobia

Contaminante	FE	Unidades	Fuente
CH ₄	4.015	g/kg desechos	1
N ₂ O	0.33	g/kg desechos	1

⁹ IPCC (2006). Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, Volumen 5 Desechos, Capítulo 3 Eliminación de desechos sólidos; páginas 3-6 y 3.19. Consultado en: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/5_Volume5/V5_3_Ch3_SWDS.pdf

MEMORIA DE CÁLCULO

Contaminante	FE	Unidades	Fuente
CO	0.00056	t/t desechos	2
NH ₃	0.00066	t/t desechos	2
COV	2.464	kg/t desechos	3
CH ₄ biodigestor	0.95	kg/t desechos	4

Fuente: 1) IPCC (2006). Directrices del IPCC 2006 para los inventarios de gases de efecto invernadero. Volumen 5 Desechos, Capítulo 4 Tratamiento biológico de los desechos sólidos, cuadro 4.1. Consultado en septiembre de 2024 de: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/5_Volume5/V5_4_Ch4_Bio_Treat.pdf. 2) EMEP-EEA (2023). Air pollutant emission inventory guidebook 2023. 5.B.1. Biological treatment of waste - composting. Consultado en marzo 2024: <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2023/part-b-sectoral-guidance-chapters/5-waste/5-b-1-biological-treatment/view>. 3) ARB (2015). Emissions Inventory Methodology for Composting Facilities, page 9. California Air Resources Board (ARB). Consultado en: https://ww3.arb.ca.gov/ei/areasrc/composting_emissions_inventory_methodology_final_combined.pdf. 4) SEDEMA (2024). Determinación de la SEDEMA a partir de datos de operación del biodigestor.

Las ecuaciones empleadas se muestran a continuación:

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

Donde:

Emisiones de CH₄ = Total de emisiones de metano durante el año inventario [Gg/año]

M_i= Masa de los desechos orgánicos sometidos al tratamiento biológico i, [Gg]

FE_i= Factor de emisión del tratamiento i, [g/kg de desechos tratados]

i= Preparación de carbono orgánico o digestión anaeróbica

R= recuperación de metano, [%]

$$\text{Emisiones de N}_2\text{O} = \sum_i (M_i * FE_i) * 10^3$$

Donde:

Emisiones de N₂O= Total de emisiones de óxido nitroso durante el año inventario [Gg/año]

M_i= Masa de los desechos orgánicos sometidos al tratamiento biológico i, [Gg]

FE_i= Factor de emisión del tratamiento i, [g/kg de desechos tratados]

i= Preparación de abono orgánico o digestión anaeróbica

Quema de residuos a cielo abierto

De acuerdo con la Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares 2022 (INEGI, 2024), un porcentaje de las viviendas realizan la quema de residuos sólidos a cielo abierto, pudiendo ser comunidades con alto índice de marginación o que no cuentan con servicio de recolección de basura o con sitios de disposición.

La estimación de emisiones se realiza con la metodología y factores de emisión descritos en los artículos "Impacto de la quema de basura en la calidad del aire de la Ciudad de México" (Hodzic et.al, 2012), y "Trazas de emisiones y ligeras absorciones de carbón por quema de leña, estiércol, basura, residuos de cultivos, hornos de ladrillos y otras fuentes" (Yokelson R. et al., 2016). La estimación de emisiones por quema de residuos se realizó con la siguiente ecuación:

$$E_i = \frac{FA * FE_i}{1000}$$

Donde:

E_i= Emisiones del contaminante i [t/año]

FA= Dato de actividad [t de residuos quemados/año]

FE_i= Factor de emisión del contaminante i [g de contaminante /kg de residuos]

1000= Factor de conversión a toneladas

La cantidad de residuos que fueron quemados a cielo abierto (Tabla 2-49) se estimó con el número de viviendas que queman basura¹⁰ y el dato de generación per cápita; se consideró que solo la población rural realiza la actividad (localidades con hasta 2,499 habitantes). En la Tabla 2-50 se presentan los factores de emisión.

Tabla 2-49. Cantidad de residuos sólidos quemados

Entidad	Residuos quemados [t/año]
CDMX	2,214
EDOMEX	63,577
Tizayuca	1,306
CDMXyZC	67,097

Tabla 2-50. Factor de emisión por quema de residuos

Factores de emisión [g/kg residuos]								
PM10 ¹	PM2.5 ²	SO ₂	CO ³	NO _x ²	NH ₃ ²	Carbono Negro ²	CO ₂ ³	CH ₄ ³
8.44	8.00	0.50	84.70	3.00	0.76	0.60	1,602.00	3.97

Fuente: 1) ARB (2024). California Emission Inventory and Reporting System (CEIDARS) – Particulate Matter and Gas Speciation Profiles [base de datos]. California Agency Air Resources Board (ARB). Consultado en 2024, de: <https://ww2.arb.ca.gov/speciation-profiles-used-carb-modeling#specprof>. 2) Hodzic, A., Wiedinmyer, C., Salcedo, D., & Jiménez, J. L. (2012). Impact of trash burning on air quality in Mexico City. *Environmental Science & Technology*, 46(9), 4950-4957. DOI: 10.1021/es203954r. 3) Stockwell, C. E., Christian, T. J., Goetz, J. D., Jayarathne, T., Bhave, P. V., Praveen, P. S., Adhikari S., Maharjan R., DeCarlo P.F., Stone E.A., Saikawa, E., Blake, D.R., Simpson, I.J., Yokelson R.J. & Panday, A. K. (2016). Nepal Ambient Monitoring and Source Testing Experiment (NAMASTE): emissions of trace gases and light-absorbing carbon from wood and dung cooking fires, garbage and crop residue burning, brick kilns, and other sources. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 16(17), 11043-11081. DOI:10.5194/acp-16-11043-2016

Residuos sólidos no gestionados

En el balance de residuos sólidos se consideró que los residuos que no se envían a sitios de disposición final o que no se les da algún tratamiento, son dispuestos en tiraderos a cielo abierto y generan emisiones de metano que se estimaron con el *Inventory Software* del IPCC que incluye las modificaciones del refinamiento 2019 a las Directrices IPCC 2006 para Inventarios nacionales de gases de efecto invernadero 2006¹¹, al cual se alimentan datos de cantidad y composición de los residuos sólidos (ver Tabla 2-51).

Tabla 2-51. Datos de entrada al software de IPCC para RSNG

Tipo de Residuo	Composición de residuos [%] ¹	Cantidad de Residuos No Gestionados		
		CDMX [Gg/año] ²	EDOMEX [Gg/año] ^{2,3}	Tizayuca [Gg/año] ²
Food (organics)	31.80%	94.71	341.1	1.21
Garden	8.60%	25.55	92.04	0.33
Paper	13.40%	39.81	143.39	0.51
Wood	1.90%	5.74	20.69	0.07
Textile	3.90%	11.64	41.94	0.15
Nappies	10.60%	31.64	113.97	0.4
Plastics, other inert	29.70%	88.36	318.24	1.13
Total	100%	297	1,071	3.8

Fuentes: 1) Composición de residuos tomada del Modelo Mexicano de Biogás (MMB), versión 2. 2) Determinación propia a partir del Balance de Residuos Sólidos 2022 y datos de la ENIGH 2022.3) SMAyDS (2024). Datos de la generación de residuos del Estado de México 2022. Secretaría del Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible.

¹⁰ INEGI. (2024). Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares, ENIGH 2022. Total de viviendas por entidad federativa, según forma en la que elimina la basura. Consultado en febrero 2024 en: <https://www.inegi.org.mx/programas/enigh/nc/2022/#Tabulados>

¹¹ IPCC (2024). *Inventory Software* versión 2.910.5858.14567. 4.A Solid Waste Disposal. Descargado en abril de 2024, de: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/software/index.html>

Aguas Residuales

Emisiones COT y COV

Para la estimación de emisiones se utilizó la metodología del Manual de Inventario de Emisiones para México (Radian International, LLC, 1997), la cual presenta la siguiente ecuación:

$$E_{\text{COT}} = \frac{V * FE_{\text{COT}}}{1000}$$

Donde:

E_{COT} = Emisión de COT [t/año]

V= Volumen de agua residual tratada o Volumen de agua no tratada [l/año]

FE_{COT} = Factor de emisión COT

Debido a la ausencia de aldehídos, se asumió que las emisiones de HCT = COT; la emisión de COV = 92% de los COT.

El volumen de aguas residuales tratadas y no tratadas, se reportan en la Tabla 2-52, el factor de emisión de los COT es de 0.000013 [t/m³].

Tabla 2-52. Volumen de agua tratada y No tratada en la CDMXyZC

Entidad	Sector	Agua tratada [m ³ /año]	Agua no tratada [m ³ /año]
CDMX	Municipal	80,493,716	259,286,284
	Industrial	4,865,216	16,914,784
EDOMEX	Municipal	55,675,073	775,223,471
	Industrial	34,675,724	72,033,113
Tizayuca	Municipal	1,103,760	8,209,831
	Industrial	N/A	6,731,335
CDMXyZC	Municipal	137,272,549	1,042,719,586
	Industrial	39,540,941	95,679,232

Fuentes: Determinación propia con datos de la Estadística del Agua en México 2021 (CONAGUA, 2021)¹², Volumen de aguas residuales tratadas y plantas en operación durante 2022 (datos de Comisión Nacional del Agua, Sistema de Aguas de la CDMX y Comisión del Agua del Edo. de México).

Emisiones de GEI

Metano

En el proceso de tratamiento de agua residual se generan emisiones de metano (CH₄). La estimación se realizó con base en la metodología propuesta por el IPCC en su Refinamiento 2019 a las Directrices de IPCC 2006 para los Inventarios Nacionales de GEI, con la siguiente ecuación:

$$E_{\text{CH}_4} = (Bo * MCF) * (TOW - S) - R$$

Donde:

Bo = Capacidad máxima de producción de CH₄ [kg de CH₄/kg de DBO-año] (IPCC, 2019)

MCF = Factor de corrección para el metano (fracción), se asigna considerando el tipo y proceso de la PTAR

TOW = Total de materia orgánica en las aguas residuales (kg de DBO/año)

S = Componente orgánico separado como lodo

R = Recuperación de metano. Valor de referencia 0

¹² CONAGUA, (2021). Estadísticas del Agua en México. Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). Consultado en febrero de 2024 en: https://sinav30.conagua.gob.mx:8080/PDF/EAM_2021.pdf

Estimación de TOW tratado y sin trata de las aguas residuales domésticas se realizó mediante la siguiente fórmula:

$$TOW = DBO_5 * AMC$$

Donde:

TOW= Total de materia orgánica en las aguas residuales del año del inventario, [kg de DBO/año]

DBO₅= DBO promedio anual municipal [kg DBO/l], (SACMEX, 2024)

AMC= Volumen de aguas residuales [l/año]

En la Tabla 2-53 se presenta la estimación del TOW para las aguas tratadas y sin tratar a partir de la DBO₅, reportada por SACMEX para 2022.

Tabla 2-53. Volumen de aguas tratadas, TOW doméstico tratado y sin tratar

	CDMX	EDOMEX	Tizayuca	CDMXyZC	Unidades
Volumen de agua tratada al año	80,493,716	55,675,073	1,103,760	137,272,549	m ³ /año
DBO de agua tratada	27,777,480	19,212,844	380,895	47,371,219	kg DBO/año
DBO de agua no tratada	89,476,792	267,520,963	2,833,121	359,830,849	kg DBO/año

Fuentes: Determinación propia considerando la metodología las Directrices para inventarios nacionales de gases de efecto invernadero (IPCC, 2006¹³) e Información de las PTAR, DBO₅ proporcionada por el Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACMEX).

Estimación de TOW tratado y sin tratar de las aguas industriales, la estimación del TOW industrial se realizó a partir de la siguiente fórmula:

$$TOW = DQO * AIC$$

Donde:

TOW = Total de materia orgánica en las aguas residuales del año del inventario, [kg de DQO/año]

DQO = DQO por tipo de industria [kg DQO/m³] (IPCC, 2019)

AIC = Volumen de Aguas residuales industriales [l/año]

En la Tabla 2-54, se presenta el volumen de agua residual industrial tratada, así como el TOW industrial para aguas tratadas y sin tratar, para obtener el TOW se utilizaron los valores establecidos en el cuadro 6.9 de las Directrices del IPCC 2006.

Tabla 2-54. Agua residual industrial tratada, TOW industrial tratado y sin tratar

	CDMX	EDOMEX	Tizayuca	Total
Agua industrial tratada [m ³ /año]	4,865,216	34,675,724	N/A	39,540,941
TOW total [kg DQO/año]	93,940,278	535,004,449	31,911,238	660,855,956
TOW Tratado [kg DQO/año]	20,984,379	173,853,142	N/A	194,837,521
TOW no tratado [kg DQO/año]	72,955,899	361,151,307	31,911,238	466,018,444

Óxido nitroso (N₂O)

Las emisiones de N₂O se realizó conforme a los lineamientos marcados en el Refinamiento 2019 de la Directrices de IPCC 2006, con la siguiente ecuación:

$$E_{N_2O} = N_{Efluente} * FE_{Efluente} * \frac{44}{28}$$

¹³ IPCC (2006). Determinación propia considerando la metodología las Directrices para inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, volumen 5 Desechos, capítulo 6 Tratamiento y eliminación de aguas residuales. Intergovernmental Panel on climate Change (IPCC).

Donde:

E_{N_2O} = Emisiones de N_2O durante el año inventario [kg N_2O /año]
 N_{efluente} = Nitrógeno en el efluente eliminado en medios acuáticos, [kg N/año]
 F_{efluente} = Factor de emisión para las emisiones de N_2O provenientes de la eliminación en aguas servidas, [kg de N_2O /kg N]
 El factor 44/28 corresponde a la conversión de kg de N_2O -N en kg de N_2O .

Para conocer el contenido de nitrógeno en el efluente eliminado se utilizó la siguiente ecuación (IPCC, 2019):

$$N_{\text{efluente}} = \sum [(TN_{DOM} * T_j) * (1 - NREM)]$$

Donde:

N_{efluente} = cantidad total anual de nitrógeno en los efluentes de aguas residuales, [kg N/año]
 TN_{DOM} = Cantidad de nitrógeno en AR doméstica por vía de tratamiento, [kg N/año]
 T_j = % de uso del sistema de tratamiento durante el año inventario
 $NREM$ = Fracción de remoción de nitrógeno conforme el tipo de tratamiento

$$TN_{DOM} = P_{\text{tratamiento}} * Proteína * F_{NPR} * N_{HH} * F_{NON-CON} * F_{IND-COM}$$

Donde:

$P_{\text{tratamiento}}$ = Población humana que es servida por la vía de tratamiento. [persona/año]
 Proteína = Proteína per cápita anual suministrada, [kg/proteína/año]
 F_{NPR} = Fracción de nitrógeno en la proteína, default = **0.16 kg N/kg proteína**
 N_{HH} = Nitrógeno adicional proveniente de productos químicos para uso doméstico de limpieza que se agregan al agua residual, **el valor por defecto es 1.1**
 $F_{NON-CON}$ = Factor de nitrógeno en proteínas no consumidas eliminadas en el sistema de alcantarillado, [kg N/kg N]
 $F_{IND-COM}$ = Factor de descarga de proteínas industriales y comerciales en la red de alcantarillado, [kg N/kg N]

Fuentes misceláneas

Mantenimiento de aires acondicionados domésticos

La estimación de emisiones por el mantenimiento de aires acondicionados domésticos se realizó con base en las consideraciones del Inventario de Gases de Efecto Invernadero del Estado de Baja California, 2007.

- Carga inicial del sistema de enfriamiento del aire acondicionado es de 1.5 kg de HCFC-22 por equipo.
- La recarga debida al mantenimiento representa 15% de la carga inicial.
- Se asumió que solo el 10% del total de aires acondicionados instalados en los hogares se les da mantenimiento.
- Para el HCFC-22 se considera un potencial de calentamiento de 1,760.
- El número de aires acondicionados se obtuvieron de la Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares 2022 (INEGI, 2022).

Tabla 2-55. Aires acondicionados por entidad

Entidad	Hogares con sistemas de aire acondicionado	Sistemas de aire acondicionado con mantenimiento
CDMX	44,851	4,485
EDOMEX	41,101	4,110
Tizayuca	653	65
CDMXyZC	86,605	8,660

Fuente: Determinación propia a partir de Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares (ENIGH) 2022 nueva serie. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2022).

Incendios en estructuras

Los incendios en estructuras (casa habitación, hoteles, departamentos y comercios, entre otros) emiten contaminantes por la combustión del material consumido proveniente de la estructura, mobiliario y decoración, (Radian International, LLC, 1997).

En esta sección se incluyen valores típicos de residencias en los Estados Unidos, sin embargo, en México el diseño en la construcción de hogares generalmente es de ladrillo o mampostería y metales, y en poca escala de maderas; por lo tanto, se consideró esta diferencia en la cantidad de material contenido en el inmueble (mi), para la estimación de emisiones se utilizó la siguiente ecuación:

$$E_i = \frac{Fe_i * I * \%W * (MI + MC)}{100}$$

Donde:

- E_i= Emisión del contaminante (i) [kg/año]
- FE_i= Factor de emisión del contaminante (i) [kg/ t de material]
- I= Número de incendios por año [año]
- %W= Promedio porcentual de pérdida estructural (Radian International, LLC, 1997)
- MI= Cantidad de material contenido en el Inmueble [t]
- MC= Cantidad de material estructural [t]

Los factores de emisión se presentan en la Tabla 2-56 y el número de incendios considerados para la cuantificación de contaminantes en la Tabla 2-57.

Tabla 2-56. Factores de emisión para incendios en estructuras y en vehículos

Contaminante	Factores de emisión para estructuras [t/t comb. quemado]	Factores de emisión para vehículos [t/#incendio]
PM10 ²	4.80E-03	7.56E-03
PM2.5 ²	4.46E-03	7.05E-03
CO ¹	7.62E-02	9.64E-03
NO _x ¹	1.81E-03	3.18E-04
COT ¹	6.31E-03	3.27E-03
COV ¹	4.41E-03	2.29E-03

Fuente: 1) CARB (1999). Emission Inventory Source Category. Section 7.14. Structure and automobile fires. California Air Resources Board (ARB). Consultado en 2024, de: <https://www.arb.ca.gov/ei/areasrc/fullpdf/full7-14.pdf>. 2) CARB (2024). Particulate Matter Profile. California Emission Inventory and report system CEIDARS. Consultado en noviembre de 2024 de <https://www.arb.ca.gov/ei/speciate/speciate.htm#specprof>.

Tabla 2-57. Número de incendios por tipo de estructura y entidad federativa

Tipo de estructuras	Número de incendios				Tipo de estructuras	Número de incendios			
	CDMX ¹	EDOMEX ²	Tizayuca ³	CDMXyZC		CDMX ¹	EDOMEX ²	Tizayuca ³	CDMXyZC
Casa Particular	871	747	28	1,646	Culturales y Parques	62	N/A	N/A	62
Casa Vecindad	21	N/A	N/A	21	Iglesias	7	N/A	N/A	7
Edif. Deptos.	403	N/A	N/A	403	Hoteles	4	N/A	N/A	4
Predio Baldío	366	363	5	734	Talleres	10	N/A	1	11
Edificios públicos	6	N/A	1	7	Mercados	25	N/A	N/A	25
Comercios	282	723	1	1,006	Instalaciones de F.F.C.C	N/A	N/A	N/A	N/A
Fabricas Industriales	26	41	4	71	Reclusorios	N/A	N/A	N/A	N/A

MEMORIA DE CÁLCULO

Tipo de estructuras	Número de incendios				Tipo de estructuras	Número de incendios			
	CDMX ¹	EDOMEX ²	Tizayuca ³	CDMXyZC		CDMX ¹	EDOMEX ²	Tizayuca ³	CDMXyZC
Asentamientos Industriales	1	N/A	N/A	1	Terrenos de gobierno	45	N/A	N/A	45
Bancos	N/A	N/A	N/A	N/A	Discotecas	N/A	N/A	N/A	N/A
Panteones	10	N/A	N/A	10	Vía pública	1,361	2,259	92	3,712
Escuelas	28	N/A	N/A	28	Vehículos	485	835	18	1,338
Hospitales	1	N/A	N/A	1	Total	4,014	4,968	150	9,132

Fuente: 1) HCBCDMX (2024). Número de incendios por tipo de estructura y alcaldía, 2022. Heroico Cuerpo de Bomberos de la Ciudad de México (HCBCDMX). Información recibida vía correo electrónico el 20 de febrero de 2024.

2) Determinación propia a partir de datos 2020, información de la Coordinación General de Conservación y Restauración, siniestros 2022 por entidad y datos de la coordinación de Protección Civil y Gestión Integral del Riesgo del Estado de México.

3) SEMARNATH (2024). Incendios atendidos por Protección Civil y Bomberos del municipio de Tizayuca, 2022. Información proporcionada vía correo electrónico por la Dirección General de Recursos Naturales. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales del Estado de Hidalgo (SEMARNATH).

Se estimó el porcentaje promedio de pérdida estructural dado que el material que conforma la estructura no es consumido totalmente por el fuego. En California el porcentaje de pérdida estructural se ha estimado con un valor resultante del 7.3% (CARB, 1999), este dato fue utilizado, sin embargo, es deseable una estimación específica para la Ciudad. En la Tabla 2-58 se muestra el material combustible en el interior de diferentes inmuebles.

Tabla 2-58. Material estructural susceptible a ser combustible

Inmueble	Combustible [t de material]	Inmueble	Combustible [t de material]
Casa particular	4.06	Hospitales	76.17
Casa vecindad	1.52	Centros culturales y parques	3.75
Edificios-Departamentos	2.54	Iglesias	11.25
Predio baldío, casas abandonadas	4.69	Hoteles	24.37
Edificios públicos	23.14	Talleres	1.87
Comercios	1.33	Mercados	21.09
Fábricas e industrias	23.44	Instalaciones de Ferrocarriles	23.44
Asentamientos irregulares	10.16	Reclusorios	14.06
Bancos	3.86	Terrenos de gobierno	4.69
Panteones	4.69	Discotecas	2.66
Escuelas	46.29	Vía pública	15.98

Fuente: CARB (1999). Emission Inventory Source Category. Section 7.14 Structure and automobile fires. California Air Resources Board (ARB). Consultado el noviembre de 2019, de: <http://www.arb.ca.gov/ei/areasrc/fullpdf/full7-14.pdf>.

Incendios forestales

La estimación de emisiones por incendios forestales se realizó con base en los lineamientos descritos en los Manuales del Programa de Inventarios de Emisiones en México (Radian, International, LLC., 1997). Para el cálculo de emisiones por incendios forestales, se utilizó la siguiente ecuación:

$$E_{ij} = FE_{ij} * L * C * A$$

Donde

- E_{ij} = Emisiones del contaminante (i) por la vegetación (j)
- FE_{ij} = Factor de emisión del contaminante (i) para la vegetación (j) [g/kg]
- L = Carga de combustible [kg/ha]
- C = Porcentaje de combustible consumido en el incendio
- A = Superficie quemada [ha]
- i = Tipo de contaminante
- j = Tipo de vegetación

En la Tabla 2-59 se presentan los factores de emisión utilizados en esta categoría.

Tabla 2-59. Factores de Emisión por especie afectada

Especie	Factores de emisión (g/kg)											
	PM10 ¹	PM2.5 ²	SO ₂ ¹	CO ³	NO _x ³	COT ¹	COV	NH ₃ ¹	CN ¹	CO ₂ ¹	CH ₄ ¹	N ₂ O
Encino	9.40	7.95	0.80	85.20	2.50	7.60	3.40	0.60	0.6	1,631.40	4.30	0.22
Encino-pino	9.40	7.95	0.80	85.20	2.50	7.60	3.40	0.60	0.6	1,631.40	4.30	0.22
Pino	10.20	8.62	0.80	95.10	2.50	8.30	3.60	0.70	0.6	1,613.00	4.70	0.22
Pino-encino	8.60	7.28	0.80	75.40	2.50	6.90	3.10	0.60	0.5	1,649.70	3.80	0.22
Oyamel	11.00	9.28	0.80	104.90	2.50	9.00	3.90	0.80	0.7	1,594.70	5.10	0.22
Material espinoso	8.60	7.8	0.80	75.40	3.50	6.90	3.10	0.60	0.5	1,649.70	3.80	0.22
Matorral	8.60	7.8	0.80	75.40	2.50	6.90	3.10	0.60	0.5	1,649.70	3.80	0.22
Pastizal inducido	8.60	7.8	0.80	75.40	3.50	6.90	3.10	0.60	0.5	1,649.70	3.80	0.22
Pasto	12.60	10.65	1.20	124.60	3.70	13.70	8.70	1.30	0.8	1,833.00	5.00	0.22
Renuevo	4.7	3.95	1.20	124.60	3.70	8.7	8.70	1.30	0.3	1,833.00	0.005	0.22

Fuentes: 1) Batty, W., & Batty, R. (2002). Development of Emissions Inventory Methods for Wildland Fire. Final Report for Thompson G. Pace. U.S. Environmental Protection Agency (U.S. EPA). Consultado en 2019, de: <http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch13/related/firerept.pdf>. 2) Radian International (1997). Manuales de Inventario de Emisiones de México (Vol. 5, p. 11-6). 3) U.S. EPA. (1996). Air Emission Factors and Quantification AP42 (5th ed.). Volumen 1, Chapter 13 Miscellaneous Sources, 13.1 Wildfires and Prescribed Burning., U.S. Environmental Protection Agency (U.S. EPA). Consultado en 2019, de: <https://www3.epa.gov/ttnchie1/ap42/ch13/final/c13s01.pdf>.

En la Tabla 2-60 se presentan los parámetros utilizados para el cálculo, como la eficiencia de combustión [η]; la carga de combustible (L) en base seca. Se asume que el porcentaje de la carga de combustible que es consumido por el incendio (C) es el 100%, (C=1).

Tabla 2-60. Carga de combustible y factor de emisión por incendios forestales

Especie	CC=L*C [kg/ha]	η (fracción)
Encino	819.00	0.89
Encino-Pino	819.00	0.89
Pino	5,772.00	0.88
Pino-Encino	2,318.00	0.90
Oyamel	7,749.00	0.87
Material espinoso	2,396.00	0.90
Matorral	2,317.00	0.90
Pastizal inducido	2,317.00	0.90
Pasto	2,317.00	1.00

Fuente: SEMARNATH (2013 y 2017). Carga de combustible por especie forestal y factores de emisión para pastos. Información proporcionada vía correo electrónico en 2016.

Las autoridades ambientales de cada entidad son las responsables de reportar el número y ubicación de los incendios forestales, estos se geolocalizan sobre la cobertura de uso de suelo y vegetación de la CDMXyZC, para obtener el tipo de vegetación afectada y aplicar el factor de emisión respectivo. El número de incendios forestales y el área afectada durante 2022, se presenta en la Tabla 2-61.

Tabla 2-61. Superficie afectada por entidad

Alcaldía	Superficie afectada [ha]	Municipio	Superficie afectada [ha]	Municipio	Superficie afectada [ha]
CDMX ¹		EDOMEX ²			
Álvaro Obregón	7	Amecameca	261.4	Nicolás Romero	169
Cuajimalpa	6	Atizapán de Zaragoza	21	Otumba	12
Gustavo A. Madero	34	Atlautla	58.3	Ozumba	1
Iztapalapa	3	Axapusco	47.6	San Martín de las Pirámides	67.1
Magdalena Contreras	21	Ayapango	6	Tecámac	0.6

MEMORIA DE CÁLCULO

Alcaldía	Superficie afectada [ha]	Municipio	Superficie afectada [ha]	Municipio	Superficie afectada [ha]
Milpa Alta	1,039.00	Chalco	106.8	Tenango del Aire	17
Tláhuac	104	Coacalco de Berriozábal	30	Tepetlaoxtoc	76
Tlalpan	738	Coyotepec	16	Tepetlixpa	3.2
Xochimilco	61	Ecatepec de Morelos	4.4	Tepotztlán	14.5
Total CDMX	2,013	Ecatepec de Morelos	6	Texcoco	278.5
		Huixquilucan	3.5	Tlalmanalco	155.5
		Isidro Fabela	11	Tlalnepantla de Baz	17.9
		Ixtapaluca	587.2	Tultitlán	1.7
		Jilotzingo	335.5	Villa del Carbón	103
		Juchitepec	22		
		Naucalpan de Juárez	107	Total EDOMEX	2,541

Fuente: 1) DGCORENADR (2024). Incendios forestales registrados durante 2022 [base de datos]. Información proporcionada mediante oficio; 2) PROBOSQUE (2023). Incendios forestales registrados en el Estado de México durante 2022 [base de datos].

Quemas controladas

Las emisiones por quemas controladas se estiman con la misma metodología utilizada en incendios forestales. La superficie afectada por tipo de vegetación se muestra en las Tablas 2-62 y 2-63.

Tabla 2-62. Suelo afectado de pastos por alcaldía en la CDMX

Alcaldía	Superficie afectada [ha]
Álvaro Obregón	0.50
Cuajimalpa	5.35
Milpa Alta	99.17
Tláhuac	0.06
Tlalpan	9.69
Xochimilco	0.20
Total	114.97

Fuente: DGCORENADR (2024). Superficie afectada por quemas controladas para la Ciudad de México durante 2022.

Tabla 2-63. Suelo afectado por tipo de vegetación y municipio EDOMEX

Municipio	Superficie afectada [ha]			
	Pino arbustivo	Pino arbóreo	Cola de antlope-pastizal	Pastizal inducido
Amecameca	0.77	3.63	0.019	11.37
Axapusco	0.24	1.15	0.006	3.60
Chalco	0.49	2.28	0.012	7.13
Coacalco de Berriozábal	0.03	0.15	0.001	0.46
Isidro Fabela	0.30	1.40	0.007	4.40
Ixtapaluca	0.34	1.59	0.008	4.97
Jilotzingo	0.28	1.30	0.007	4.07
Naucalpan de Juárez	2.05	9.63	0.050	30.15
Otumba	0.79	3.72	0.019	11.63
San Martín de las Pirámides	0.10	0.46	0.002	1.44
Temamatla	0.20	0.74	0.005	2.94
Tepetlaoxtoc	0.30	1.39	0.007	4.36
Tepotztlán	0.01	0.03	0.0001	0.08
Texcoco	0.74	3.47	0.018	10.86
Tlalnepantla de Baz	0.20	0.74	0.005	2.94
Tultitlán	0.01	0.03	0.002	0.10
Valle de Chalco	0.29	1.38	0.007	4.32
Total	7.13	33.48	0.17	104.82

Fuente: PROBOSQUE (2023). Ubicación, tipo y área afectada por incendios forestales para el Estado de México durante 2022. Información proporcionada por oficio por la Dirección de Protección Forestal de PROBOSQUE.

Emisiones domésticas

Para la estimación de las emisiones domésticas de amoniaco se utilizó la metodología descrita en los Manuales del Programa de Inventarios de Emisiones en México (Radian International, LLC., 1997).

Para la cuantificación de PM10 y PM2.5, provenientes de las heces de mascotas la metodología planteada en el Programa de Evaluación y Monitoreo Europeo de la Agencia Ambiental Europea (EMEP-EEA, 2017), y para el CO₂ por consumo de cigarrillos el estudio “Medición de las concentraciones de CO₂ emanados de cigarrillos convencionales y electrónicos” (Brotos Científicos, 2017), el cálculo de emisiones se realizó con la ecuación general:

$$E_i = FE_{ik} * DA$$

Donde:

E_i= Emisión del contaminante i [t/año]

FE_{ik}= Factor de emisión del contaminante i para el dato de actividad correspondiente

DA_k= Dato de: población, infantes, animales (perros, gatos, ratas); y consumo de cigarrillos, entre otros

Se estimaron emisiones de amoniaco de las subcategorías y los factores de emisión presentados en la Tabla 2-64; en la Tabla 2-65 se muestran los factores de emisión para partículas y CO₂.

Tabla 2-64. Categorías y factores de emisión de amoniaco (NH₃)

Subcategoría	FE	Unidad	Subcategoría	FE	Unidad
Perros	2.49	kg/cabeza	Pañales (desechables)	0.16	kg/infante
Gatos	0.82		Pañales (tela)	3.13	
Respiración humana	0.25	kg/persona	Cigarrillos	5.2	mg/cigarrillo
Respiración humana	0.0016		Ratas	130	mg/cabeza
Desechos humanos (otros)	0.023		Alcantarillas	80.4	g/persona
Uso doméstico de amoniaco	0.023		Desechos humanos (indigentes)	4.99	kg/persona

Fuente: 1) Radian International LLC (1997). Manuales del Programa de Inventarios de emisiones de México, 11.6 Emisiones domésticas de amoniaco, pág.11-31. 2) Gobierno del Distrito Federal México (2002). Inventario de Emisiones de la zona Metropolitana del Valle de México 2002, pág. 100 de: <http://www.bvsde.paho.org/texcom/cd050836/secretin.pdf>

Tabla 2-65. Factores de emisiones para partículas y CO₂

Contaminante	Factor de emisión	Unidades
PM10 ¹	0.0081	kg/cabeza-año
PM2.5 ¹	0.0042	
CO ₂ ²	0.00006	t/cigarrillo

Fuente: 1) EMEP-EEA (2017). Guía para el inventario de emisiones de contaminantes al aire 2016. Programa de Evaluación y Monitoreo europeo y la Agencia Ambiental Europea (EMEP-EEA), pág. 19. Consultado en 2018 de <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2016/part-b-sectoral-guidance-chapters/4-agriculture/3-b-manure-management-2016/view>. 2) Brotos Científicos (2017). Medición de las concentraciones de CO₂ emanados de cigarrillos convencionales y electrónicos, Ciencias Naturales, Vol. 1, No. 1, Pág. 53-63, consultado en 2017 de http://brotoscientificos.usach.cl/sites/brotos/files/articulo_7.pdf.

La Tabla 2-66 concentra los datos de actividad considerados para la estimación de emisiones domésticas de la CDMXyZC.

Tabla 2-66. Dato de actividad de la categoría

Entidad	Población ¹	Total de cigarrillos ²	Población 0 a 3 años ¹	Perros ³	Gatos ³	Ratas ⁴	Población en situación de calle ⁵
CDMX	9,237,645	4,992,768,388	371,606	4,600,026	1,634,949	64,663,515	3,280
EDOMEX	12,709,442	4,959,965,372	695,987	6,329,082	2,249,493	88,966,094	4,349
Tizayuca	174,170	49,635,777	11,089	86,652	30,798	1,219,190	75
CDMXyZC	22,121,257	10,002,369,537	1,078,682	11,015,760	3,915,240	154,848,799	7,704

Fuentes: CONAPO (2022) Proyecciones de la población de México y de las entidades federativas, 1950-2070. 2) Determinación propia a partir de los datos de la Encuesta Nacional de Consumo de drogas, alcohol y tabaco 2016-2017 del Instituto Nacional de Psiquiatría Ramón de la Fuente Muñiz. 3) MARS (2024). México índice de las mascotas sin hogar, consultado en: <https://www.mars.com/es-mx/news-and-stories/press-releases-statements/perros-y-gatos-en-condicion-de-calle>. 4) El Sol de México (2019). Ciudad de ratas. Hay 6 por cada capitalino. Consultado en: <https://www.elsoldemexico.com.mx/metropoli/CDMX/ciudad-de-ratas.-hay-6-por-cada-capitalino-4556950.html>. 5) SIBISO (s/f). Personas en situación de calle en la Ciudad de México 2019-2023. Consultado en: https://sibiso.cdmx.gob.mx/storage/app/media/Informe%20anual/5TO_INFORME_01123.pdf

Vialidades pavimentadas

La emisión de partículas fugitivas resuspendidas por la circulación de vehículos en vialidades pavimentadas, por cada temporada climática, se estimó por medio de la siguiente ecuación (U.S. EPA, 2011):

$$E_i = \frac{FE_j * KRV}{1,000,000}$$

Donde:

E_i = Emisión de partículas PM10 o PM2.5 [t]

FE_j = Factor de emisión de PM10 o PM2.5 de la flota vehicular [g/km]

KRV = Kilómetros recorridos totales de la flota vehicular

1,000,000 = Factor de conversión de gramos a toneladas

El factor de emisión de PM10 y PM2.5 se calculó con la versión 2011 del AP-42 (U.S. EPA, 2011) en la ecuación se precisaron las variables (sL y W) para determinar las emisiones por resuspensión de polvo excluyendo las emisiones de escape, desgaste en frenos y neumáticos. De esta forma se elimina la posibilidad de sobreestimación en las emisiones.

$$FE = K(sL)^{0.91} * W^{1.02} * \left(1 - \frac{P}{4N}\right)$$

Donde:

FE = Factor de emisión anual [g/ KRV]

K = Multiplicador de partícula (factor de emisión base) [g/ KRV]:

sL = Carga de material que puede suspenderse [g/m²]

W = Peso promedio de los vehículos [2.15 t]

P = Días con más de 0.254 mm (0.01 in) de precipitación

N = Número de días al año; la duración en días por temporada climática (N)

El peso promedio de los vehículos fue determinado a partir de datos de flota y fichas técnicas (SEDEMA, 2022)¹⁴, considerando el peso bruto vehicular de las unidades en circulación. La carga de material (sL), se define como la masa de material igual o menor a 75 µm de diámetro por unidad de área en la superficie del camino pavimentado; se sabe que sobre la red vial terciaria o local circulan en promedio menos de 500 vehículos por día

¹⁴ SEDEMA (2024). Peso bruto vehicular promedio de fichas técnicas de las marcas más representativas de la flota en circulación de la CDMXyZC, 2022.

(tránsito escaso), y que sobre la red primaria y secundaria en promedio 500 o más de 10,000 vehículos diarios (como tránsito intenso). En la Tabla 2-67 se muestran los valores de carga de material por vialidad.

Tabla 2-67. Valores de carga de material (sL)

Valores de carga de material que puede suspenderse [g/m ²]	Tránsito intenso ¹	Tránsito escaso ²
sL	0.029	0.32
(sL) ^{0.91}	0.039	0.35

Fuente: 1) Hill Consulting SAS. (2023). Recopilación de datos sobre resuspensión y actividad del transporte en la ZUMA Bosa para fortalecer la base técnica de las intervenciones propuestas. Información proporcionada mediante correo electrónico en septiembre de 2023. 2) The California Air Resources Board. (2006). Section 7.8 - SJV - Entrained paved road dust. Paved road travel. Consultado en septiembre de 2022, de: <https://www.arb.ca.gov/ei/areasrc/pmsjv/pavedroadmethod2003.pdf>

El número de días con más de 0.254 mm de agua de precipitación (Tabla 2-68) se obtuvo de los registros de precipitación pluvial para el año 2022 (SIMAT, 2022 y CAEM, 2022). Asimismo, se muestran los factores de emisión promedio para tráfico intenso por entidad y temporada (Tabla 2-69) y los factores de emisión promedio para tráfico escaso por entidad y temporada (Tabla 2-70).

Tabla 2-68. Días con más de 0.254 mm de precipitación por temporada

Entidad	Número de días con precipitación >0.254mm		
	Fría	Lluviosa	Seca
CDMX	11	81	18
EDOMEX	11	61	15
Tizayuca	10	51	12

Tabla 2-69. Factores de emisión promedio para tráfico intenso

Entidad	Tráfico intenso						
	Fría	FE PM10 [kg/KRV]			FE PM2.5 [kg/KRV]		
		Lluviosa	Seca	Fría	Lluviosa	Seca	
CDMX	5.22E-05	4.63E-05	5.08E-05	1.26E-05	1.12E-05	1.23E-05	
EDOMEX	5.21E-05	4.81E-05	5.12E-05	1.26E-05	1.16E-05	1.24E-05	
Tizayuca	5.23E-05	4.89E-05	5.17E-05	1.26E-05	1.18E-05	1.25E-05	

Tabla 2-70. Factores de emisión promedio para tráfico escaso

Entidad	Tráfico escaso						
	Fría	FE PM10 [kg/KRV]			FE PM2.5 [kg/KRV]		
		Lluviosa	Seca	Fría	Lluviosa	Seca	
CDMX	4.7E-04	4.2E-04	4.6E-04	1.1E-04	1.0E-04	1.1E-04	
EDOMEX	4.7E-04	4.3E-04	4.6E-04	1.1E-04	1.0E-04	1.1E-04	
Tizayuca	4.7E-04	4.4E-04	4.6E-04	1.1E-04	1.1E-04	1.1E-04	

Se considera que los automóviles, camionetas SUV y taxis tienen recorridos por vialidades con tránsito escaso e intenso, por lo que los KRV de estos tipos de vehículos se distribuyeron con los porcentajes que se muestran en la Tabla 2-71.

Tabla 2-71. Porcentaje de KRV en Vialidades de tráfico intenso y escaso

Tipo de tráfico	% intenso	% escaso
Promedio	97.7%	2.3%

Vialidades no pavimentadas

Las emisiones estimadas en esta categoría se atribuyen a las partículas que son arrastradas y arrojadas por el rodamiento de las llantas y por la turbulencia que se produce en la superficie del camino después de que el vehículo ha pasado. La emisión de partículas se estimó por medio de la siguiente ecuación:

$$E_i = \frac{FE_i * KRV}{1,000,000}$$

Donde:

E_i = Emisión de partículas PM10 o PM2.5 [t/año]

FE_i = Factor de emisión de PM10 o PM2.5 de la flota vehicular [g/km]

KRV = Kilómetros recorridos en caminos sin recubrimiento (automóviles, camionetas SUV y taxis con hologramas "1" y "2")

1,000,000 = Factor de conversión de gramos a toneladas

El factor de emisión se obtuvo por medio de la siguiente ecuación:

$$FE = \left(\frac{k \left(\frac{s}{12} \right)^a \left(\frac{S}{30} \right)^d}{\left(\frac{M}{0.5} \right)^c} - C \right) \left(\frac{n-p}{n} \right)$$

Donde:

FE = Factor de emisión (g/km)

k = Factor de emisión base para cierto tamaño de partícula [g/km]

s = Carga de material que puede suspenderse

M = Contenido de humedad del material en la superficie (%)

p = Número de días con más de 0.254 mm de precipitación

S = Velocidad promedio vehicular (mph)=16 km/h

C = Factor de emisión por escape, llantas y frenos, para la flota vehicular 2022 [g/KRV]

n = número de días de la temporada

Duración de temporadas, n	
Temporada	Número de días
Fría	120
Lluviosa	153
Seca	92
Total	365

Tabla 2-72. Valores de las constantes de la ecuación para partículas

Parámetro	PM10	PM2.5
k [g/KRV]	507.0	51.0
a	1.0	1.0
d	0.46	0.46
c	0.2	0.2
C [g/KRV]	0.2058	0.1152

El valor de humedad de la superficie del suelo (M), por alcaldía y municipio, proviene del análisis de la información meteorológica del Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACMEX, 2022) y de la Comisión de Aguas del Estado de México (CAEM, 2022), ver Tabla 2-73. En la Tabla 2-74 se muestran los factores de emisión por temporada para la CDMXyZC.

Tabla 2-73. Porcentaje promedio de humedad del material superficial del suelo

Entidad	Humedad, M [%]		
	Fría	Lluviosa	Seca
CDMX	49.8	61.1	38.1
EDOMEX	57.5	68.7	46.1
Tizayuca	65.2	74.7	52

Tabla 2-74. Factores de emisión por temporada

Entidad	Alcaldía/Municipio	Fría [g/KRV]		Lluvia [g/KRV]		Seca [g/KRV]	
		PM10	PM2.5	PM10	PM2.5	PM10	PM2.5
Ciudad de México	Álvaro Obregón	67.46	6.66	29.11	2.87	64.65	6.39
	Cuajimalpa	66.63	6.58	25.6	2.53	63.36	6.26
	Iztapalapa	68.08	6.72	31.65	3.12	31.63	6.09
	Magdalena Contreras	71.31	7.04	27.2	2.69	64.65	6.39
	Milpa Alta	67.3	6.65	29.36	2.9	60.58	5.99
	Tláhuac	73.15	7.22	33.91	3.35	67.83	6.7
	Tlalpan	62.68	6.18	22.58	2.23	53.41	5.27
	Xochimilco	73.15	7.22	33.43	3.3	62.55	6.18
Estado de México	Acolman	62.87	6.21	43.17	4.26	61.56	6.08
	Amecameca	72.28	7.14	42.95	4.24	58.7	5.8
	Apaxco	67.8	6.69	47.38	4.67	67.72	6.69
	Atenco	62.87	6.21	29.71	2.93	59.88	5.91
	Atizapán de Zaragoza	69.03	6.82	40.41	3.99	65.18	6.44
	Atlautla	72.28	7.14	42.95	4.24	58.7	5.8
	Axapusco	64.82	6.4	45.79	4.52	62.99	6.22
	Ayapango	72.73	7.18	42.73	4.22	61.79	6.1
	Chalco	70.15	6.92	57.53	5.68	75.09	7.42
	Chiautla	64.72	6.39	50.13	4.95	75.9	7.5
	Chicoloapan	68.42	6.75	29.26	2.89	60.95	6.02
	Chimalhuacán	68.42	6.75	29.24	2.89	60.72	6
	Coacalco de Berriozábal	64.22	6.34	40	3.95	62.5	6.17
	Cocotitlán	72.11	7.12	57.6	5.68	75.34	7.44
	Coyotepec	67.18	6.63	45.06	4.45	60.1	5.94
	Cuautitlán	66.08	6.52	45.69	4.51	63.02	6.22
	Cuautitlán Izcalli	68.45	6.76	43.37	4.28	56.07	5.54
	Ecatepec de Morelos	62.71	6.19	29.85	2.95	59.96	5.92
	Ecatzingo	68.38	6.75	45.22	4.46	63.86	6.31
	Huehuetoca	67.18	6.63	45.06	4.45	60.1	5.94
	Hueyoxtla	65.56	6.47	46.39	4.58	65.07	6.43
	Huixquilucan	61.15	6.04	31.09	3.07	66.2	6.54
	Isidro Fabela	67.38	6.65	37.35	3.69	61.92	6.11
	Ixtapaluca	67.96	6.71	39.94	3.94	62.4	6.16
	Jilotzingo	57.58	5.68	21.01	2.07	51.47	5.08
	Juchitepec	72.11	7.12	57.6	5.68	75.34	7.44
	La Paz	68.96	6.81	44.18	4.36	64.45	6.37
	Melchor Ocampo	67.8	6.69	46.41	4.58	64.94	6.41
	Naucalpan de Juárez	56.48	5.57	20.48	2.02	53.02	5.24
	Nextlalpan	62.87	6.21	43.17	4.26	61.56	6.08
	Nezahualcóyotl	61.12	6.03	31.57	3.11	58.05	5.73
	Nicolás Romero	65.68	6.48	36.17	3.57	63	6.22
Nopaltepec	64.72	6.39	50.13	4.95	75.9	7.5	
Otumba	63.44	6.26	49.59	4.89	76.15	7.52	
Ozumba	72.28	7.14	42.95	4.24	58.7	5.8	

MEMORIA DE CÁLCULO

Entidad	Alcaldía/Municipio	Fría [g/KRV]		Lluvia [g/KRV]		Seca [g/KRV]	
		PM10	PM2.5	PM10	PM2.5	PM10	PM2.5
	San Martín de las Pirámides	64.72	6.39	50.13	4.95	75.9	7.5
	Tecámac	61.77	6.1	42.79	4.22	60.97	6.02
	Temamatla	72.11	7.12	57.6	5.68	75.34	7.44
	Temascalapa	62.87	6.21	43.17	4.26	61.56	6.08
	Tenango del Aire	72.73	7.18	42.73	4.22	61.79	6.1
	Teoloyucan	67.8	6.69	46.45	4.58	65.18	6.44
	Teotihuacán	64.72	6.39	50.13	4.95	75.9	7.5
	Tepetlaoxtoc	64.72	6.39	50.17	4.95	76.18	7.53
	Tepetlixpa	72.28	7.14	42.95	4.24	58.7	5.8
	Tepotzotlán	64.75	6.39	44.1	4.35	57.38	5.66
	Tequixquiac	67.8	6.69	47.38	4.67	67.72	6.69
	Texcoco	71.05	7.01	44.22	4.36	65.19	6.44
	Tezoyuca	62.87	6.21	43.17	4.26	61.56	6.08
	Tlalmanalco	71.67	7.07	57.89	5.71	71.57	7.07
	Tlalnepantla de Baz	63.43	6.26	28.2	2.78	54.95	5.43
	Tonanitla	63.67	6.28	42.94	4.24	65.97	6.51
	Tultepec	66.57	6.57	41.31	4.08	64.94	6.41
	Tultitlán	64.83	6.4	40.5	4	62.98	6.22
	Valle de Chalco Solidaridad	68.03	6.71	52.15	5.15	64.8	6.4
	Villa del Carbón	67.38	6.65	37.35	3.69	61.92	6.11
	Zumpango	62.87	6.21	43.17	4.26	61.56	6.08
Hidalgo	Tizayuca	65.56	6.47	46.39	4.58	65.07	6.43

Nota: solo se indican los municipios que tienen vialidades de terracería

Para determinar los KRV de tránsito escaso en vialidades sin pavimento se considera el porcentaje de vías con terracería de la Red Nacional de Caminos (INEGI, 2019).

Tabla 2-75. Porcentaje de terracería por alcaldía y municipios de la CDMXyZC

Entidad	Alcaldía/Municipio	% terracería	Entidad	Alcaldía/Municipio	% terracería
CDMX	Álvaro Obregón	10.77%	EDOMEX	Juchitepec	31.10%
	Cuajimalpa de Morelos	11.02%		La Paz	3.24%
	Iztapalapa	0.19%		Melchor Ocampo	4.05%
	La Magdalena Contreras	23.51%		Naucalpan de Juárez	12.26%
	Milpa Alta	42.21%		Nextlalpan	16.48%
	Tláhuac	18.10%		Nezahualcóyotl	0.17%
	Tlalpan	27.41%		Nicolás Romero	31.48%
	Xochimilco	22.92%		Nopaltepec	14.60%
EDOMEX	Acolman	17.65%	Otumba	50.97%	
	Amecameca	44.04%	Ozumba	27.01%	
	Apaxco	9.85%	San Martín de las Pirámides	25.93%	
	Atenco	15.29%	Tecámac	16.58%	
	Atizapán de Zaragoza	0.46%	Temamatla	32.08%	
	Atlautla	43.35%	Temascalapa	33.77%	
	Axapusco	39.81%	Tenango del Aire	39.73%	
	Ayapango	44.76%	Teoloyucan	16.86%	
	Chalco	21.79%	Teotihuacán	16.44%	
	Chiautla	3.40%	Tepetlaoxtoc	51.89%	
	Chicoloapan	22.50%	Tepetlixpa	15.17%	
	Chimalhuacán	1.27%	Tepotzotlán	22.74%	
	Coacalco de Berriozábal	2.98%	Tequixquiac	21.96%	
	Cocotitlán	23.03%	Texcoco	19.90%	

Entidad	Alcaldía/Municipio	% terracería	Entidad	Alcaldía/Municipio	% terracería
	Coyotepec	18.23%		Tezoyuca	10.89%
	Cuautitlán	5.65%		Tlalmanalco	36.68%
	Cuautitlán Izcalli	4.60%		Tlalnepantla de Baz	0.59%
	Ecatepec de Morelos	0.15%		Tonanitla	25.19%
	Ecatzingo	13.81%		Tultepec	3.78%
	Huehuetoca	11.61%		Tultitlán	2.52%
	Hueypoxtla	32.70%		Valle de Chalco Solidaridad	11.41%
	Huixquilucan	6.95%		Villa de Carbón	56.46%
	Isidro Fabela	27.89%		Zumpango	22.13%
	Ixtapaluca	7.25%	Hidalgo	Tizayuca	4.39%
	Jilotzingo	28.99%			

Asados al carbón

De acuerdo con la metodología indicada para la estimación de las emisiones que se generan por la cocción de alimentos usando carbón como combustible (asados), se utilizó la siguiente ecuación:

$$E_k = \frac{FE_{kj} * FA_j}{1,000,000}$$

Donde:

Ek = Emisión del contaminante k [t/año]

FE_{kj}= Factor de emisión del contaminante k para la carne j [g contaminante/ kg de consumo]

FA_j= Consumo de la carne j [kg/año]

1,000,000 = Factor de conversión de gramos a toneladas

En esta categoría el dato de actividad está dado por el consumo de carbón y de carne; de acuerdo con el Compendio estadístico de la industria cárnica (CMC)¹⁵ se consideró que la población consume carne asada una vez por mes.

El consumo de carbón se estimó considerando el estudio “Emisiones de los Aparatos de cocina de los vendedores ambulantes (Asadores al Carbón)” (U.S. EPA, 2020). En la Tabla 2-76 se reporta el consumo de carne (res y pollo) y de carbón y los factores de emisión se presentan en la Tabla 2-77.

Tabla 2-76. Consumo de carne y carbón en la CDMXyZC

Entidad	Consumo de carne asada (kg/año)		Carbón consumido (kg/año)	
	Res	Pollo	Res	Pollo
CDMX	4,777,862	11,133,767	2,654,368	4,852,642
EDOMEX	6,573,532	15,318,186	3,651,962	6,676,417
Tizayuca	90,084	209,920	50,046	91,494
CDMXyZC	11,441,478	26,661,872	6,356,377	11,620,552

Fuente: 1) CMC (2023). Consumo de carne en México 2022. Compendio estadístico de la industria cárnica. Consultado en abril de 2024. 2) U.S. EPA (1999). Emisiones de los Aparatos de cocina de los vendedores ambulantes (Asadores al Carbón), estudio realizado para Baja California, Mexicali en 1999. Consultado en abril de 2024

¹⁵ Consumo de carne en México 2022. Compendio estadístico de la industria cárnica. Consultado en abril de 2024, de: https://comecarne.org/wp-content/uploads/2023/05/Compendio-Estadistico-2023_COMECARNE.pdf

Tabla 2-77. Factores de emisión para asados al carbón

Tipo de Carne	PM10 ¹	PM2.5 ³	SO ₂ ²	CO ³	NO _x ¹	COT ¹	COV ¹	NH ₃	Carbono Negro ³	CO ₂ ⁴	CH ₄ ⁴	N ₂ O ⁴
Res	8.41	5.57	0.80	37.17	3.91	1.11	1.11	N/A	0.30	N/A	N/A	N/A
Pollo	10.25	3.54	0.97	50.17	12.04	1.09	1.09	N/A	0.21	N/A	N/A	N/A
Carbón	1.77	0.73	0.17	42.47	9.17	0.30	0.30	N/A	0.12	112,000	200	1

Fuentes: 1) U.S. EPA. (1999). Emisiones de los Aparatos de cocina de los vendedores ambulantes (Asadores al Carbón), estudio realizado para Baja California, Mexicali en 1999. Consultado en abril de 2024. 2) U.S. EPA (2020). Emissions from street vendor cooking devices (charcoal grilling, perfil 4048). SPECIATE V.5.3 [base de datos]. Consultado en abril de 2024, de: <https://www.epa.gov/air-emissions-modeling/speciate>. 3) González J.J. (2016). Factores de emisión de CO y Carbono Negro emitidos por la quema de Carbón vegetal. Pág. 55-69 Tesis. Universidad Autónoma Metropolitana. 4) IPCC (2006). Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto. Volumen 2, Energía, Capítulo 2 Combustión Estacionaria. Cuadro 2.4

Agricultura

Aplicación de plaguicidas

La metodología para estimar las emisiones de COV de esta categoría está establecida en los Manuales del Programa de Inventarios de Emisiones en México (Radian International, LLC., 1997) a partir de la siguiente ecuación:

$$\text{Emisiones} = (\text{Uso de plaguicida} * \% \text{I. A} * \text{FE}) + (\text{Uso de plaguicida} * \% \text{I. I} * \% \text{V})$$

Donde:

Emisiones = Emisiones totales anuales de cot=COV del plaguicida

FE = Factor de emisión de ingredientes activos en el plaguicida

Uso plaguicida = Uso anual total del plaguicida (t/año)

% I.A. = Porcentaje de ingrediente(s) activo(s) presentes en el plaguicida

% I. I.= Porcentaje de ingrediente(s) inerte(s) presentes en el plaguicida= 1- % I.A.

%V = Contenido volátil de la fracción inerte del plaguicida

En la Tabla 2-78 se presentan los datos utilizados para la estimación de emisiones por la aplicación de plaguicidas.

Tabla 2-78. Información técnica y factores de emisión de los plaguicidas aplicados

Tipo	Producto	Presión de vapor [mmHg]	% COV en inerte	% Ingrediente Activo	Factor de emisión [t/t I.A.]	Aplicación
Herbicida	Gesaprim	2.89E-07	15%	90%	0.58	superficial
Herbicida	Hierbamina	2.39E-08	20%	49%	0.58	superficial
Insecticida	Lannate 90	5.40E-06	12%	90%	0.021	Incorporación al suelo
Insecticida	Lorsban 480	2.20E-05	56%	45%	0.35	superficial

Fuentes: Radian International, LLC (1997). Manuales de Inventario de Emisiones de México (Vol. 5, cap. 9) e información de agroquímicos, recopilación de fichas técnicas

El consumo de plaguicida se estimó con el dato de dosis de aplicación recomendada en las fichas técnicas de plaguicidas (SEDEMA, 2016) y con la superficie por cultivo a la que se aplicó el producto, ver Tabla 2-79 (SIAP, 2022). El consumo de plaguicidas estimado se reporta en la Tabla 2-80.

Tabla 2-79. Superficie por cultivo por entidad

Entidad	Superficie sembrada [ha]						
	Maíz en grano	Cebada en grano	Avena forrajera en verde	Maíz forrajero en verde	Trigo grano	Frijol	Avena en grano
CDMX	3,463	N/A	5,437	85	N/A	53	N/A
EDOMEX	80,108	37,005	15,424	13,734	4,391	2,034	6,494
Tizayuca	53	1,303	432	406	38	3	N/A
Total	83,624	38,308	21,293	14,225	4,429	2,089	6,494

Tabla 2-80. Cantidad de plaguicida aplicado por entidad y cultivo

Entidad	Producto	Cantidad de plaguicida [kg o L]						
		Maíz grano	Cebada grano	Avena forrajera en verde	Maíz forrajero en verde	Trigo grano	Frijol	Avena grano
CDMX	Gesaprim autosuspens	8,658	N/A		213	N/A		N/A
	Hierbamina		N/A			N/A		N/A
	Lannate 90		N/A	5,437		N/A		N/A
	Lorsban 480 em		N/A			N/A	92	N/A
EDOMEX	Gesaprim autosuspens	200,270			34,335			
	Hierbamina		55,508			6,587		
	Lannate 90			15,424				6,494
	Losban 480 em						3,559	
Tizayuca	Gesaprim autosuspens	133			1,016			N/A
	Hierbamina		1955			57		N/A
	Lannate 90			432				N/A
	Losban 480 em						5	N/A

*Corresponde al plaguicida ocupado en los cálculos. Los datos de los plaguicidas corresponden a Secretaría de Economía, 2022. Mercados nacionales, insumos agrícolas, sin embargo, se basan en un estudio para el Valle de Toluca y solo se aplican las cantidades por tipo de cultivo y entidad.

Aplicación de fertilizantes

Las emisiones de amoníaco por uso de fertilizantes se estimaron a partir de la siguiente ecuación (Radian International, LLC, 1997).

$$\text{Emisiones} = (\text{Uso fertilizante})(\%N)(FE) \left(\frac{17}{14}\right)$$

Donde:

Emisiones = Emisión anual total de NH₃ por tipo de fertilizante

Uso fertilizante = Uso anual del fertilizante [t/año]

%N = Contenido de nitrógeno del fertilizante

FE = Porcentaje de Nitrógeno que se volatiliza (como NH₃) (ver Tabla 2-81)

17/14 = Factor molar para expresar el nitrógeno como amoníaco

El consumo de fertilizante aplicado se determinó con la superficie sembrada y la dosis promedio recomendada en fichas técnicas para cada tipo de cultivo. Los datos fueron obtenidos de hojas técnicas de diferentes proveedores. Se consideró que los cultivos son fertilizados una vez al año; en la Tabla 2-81 se presentan los datos técnicos del fertilizante para estimar la emisión de amoníaco y el contenido de nitrógeno.

Tabla 2-81. Datos técnicos y factor de emisión para estimación de NH₃

Producto	Concentración	Tipo de fertilizante	%w de N	Factor de emisión % N volatizado como NH ₃
Complejo NPK triple 17	17-17-17		17%	1.91%
Fosfato diamónico	18-46-00	Nitrógeno amoniacal	18%	5.00%
Urea	46-00-00		46%	15.80%
Sulfato de amonio	20.5-00-00		21%	9.53%

La estimación de las emisiones de óxido nitroso (N₂O) se realizó mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Emisiones} = \text{Uso fertilizante} * \%N * FE * \frac{44}{28}$$

MEMORIA DE CÁLCULO

Donde:

<i>Emisiones</i> =	Emisión anual total de N ₂ O por tipo de fertilizante
<i>Uso</i> =	Uso anual del fertilizante [t/año]
<i>%N</i> =	Contenido de nitrógeno del fertilizante, ver Tabla 2-81 (%w de N)
<i>FE</i> =	Factor de emisión para estimar emisiones directas 0.01 [kg N ₂ O-N/kg N]
<i>44/28</i> =	Factor molar para expresar el nitrógeno como óxido nitroso (N ₂ O).

En la siguiente Tabla 2-82, se presentan las superficies fertilizadas por tipo de cultivo.

Tabla 2-82. Superficie fertilizada por cultivo y entidad

Cultivo	Superficie Fertilizada [ha]		
	CDMX	EDOMEX	Tizayuca
Aguacate	N/A	851	N/A
Amaranto	103	171	N/A
Árbol de navidad (planta)	N/A	450	N/A
Avena forrajera	5,437	15,424	432
Avena grano	N/A	6,494	N/A
Brócoli	235	215	N/A
Cebada grano	N/A	37,005	1,303
Ebo	150	N/A	N/A
Elote	946	N/A	N/A
Flores (planta)	27	66	N/A
Frijol	53	2,034	3
Haba verde	134	335	N/A
Lechuga	317	405	N/A
Maíz forrajero	85	13,734	406
Maíz grano	3,463	80,108	53
Nochebuena (planta)	28	5	N/A
Nopalitos	2,896	666	N/A
Papa	710	401	N/A
Tomate rojo	N/A	666	N/A
Tomate verde	N/A	1,056	N/A
Trigo grano	N/A	4391	38
Tuna	N/A	15,818	N/A
Verdolaga	142	N/A	N/A
Zanahoria	80	N/A	N/A
Total	14,806	180,295	2,236

Fuente: SIAP (2024). Estadística de la producción agrícola y población ganadera de 2022. Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). Información obtenida mediante oficio de fecha 08 de abril de 2024.

Quemas agrícolas

Las quemas agrícolas se realizan para la preparación del suelo para la siembra y para el control de plagas. Las emisiones se estimaron por medio de la siguiente ecuación:

$$\text{Emisiones} = \text{Área afectada} * \text{carga de combustible} * \text{FE}$$

Donde:

<i>Emisiones</i> =	Emisión anual total partículas [t/año]
<i>Área afectada</i> =	Área quemada [ha/año]
<i>Carga de combustible</i> =	Contenido de material combustible en el cultivo quemado [t/ha]
<i>FE</i> =	Factor de emisión por tipo de cultivo [kg/t]

La superficie afectada por tipo de cultivo (SIAP, 2024), la carga de combustible y el factor de emisión se reportan en las Tablas 2-83, 2-84 y 2-85 respectivamente. De acuerdo con la

Dirección de fomento agropecuario, en el municipio de Tizayuca no se presentaron quemas en cultivos.

Tabla 2-83. Suelo agrícola afectado por tipo de cultivo CDMX [ha]

Alcaldía	Aceituna	Apio	Árbol de navidad	Durazno	Haba Verde	Manzana	Pera	Zempoalxochitl
La Magdalena Contreras	0.08	0.13	1.01	0.04	0.04	0.03	0.11	0.08
Milpa Alta	6.06	9.09	72.72	3.03	3.03	1.82	7.57	6.06
Tláhuac	1.85	2.77	22.18	0.92	0.92	0.55	2.31	1.85
Tlalpan	3.05	4.57	36.57	1.52	1.52	0.91	3.81	3.05
Xochimilco	4.11	6.16	49.27	2.05	2.05	1.23	5.13	4.11
Total	15.1	22.7	181.7	7.6	7.6	4.5	18.9	15.1

Fuente: SEDEMA (2024b). Superficie afectada por tipo de cultivo, 2022. Determinación propia a partir de información de la DGCORENADR.

Tabla 2-84. Suelo agrícola afectado por tipo de cultivo EDOMEX [ha]

Municipio	Aguacate	Árbol de navidad	Cebada Grano	Durazno	Maguey Pulquero	Maíz Forrajero	Maíz Grano	Nuez
Amecameca	0.7	0.06	6.40	0.0006	0.07	0.05	7.21	0.003
Axapusco	0.24	0.02	2.21	0.0002	0.02	0.02	2.49	0.001
Chalco	0.48	0.04	4.33	0.0004	0.05	0.04	4.87	0.002
Coacalco	0.03	0.00	0.26	0.00003	0.003	0.002	0.298	0.0001
Isidro Fabela	0.27	0.02	2.47	0.0002	0.03	0.02	2.78	0.001
Ixtapaluca	0.28	0.03	2.56	0.0003	0.03	0.02	2.88	0.001
Jilotzingo	0.25	0.02	2.30	0.0002	0.02	0.02	2.59	0.001
Naucalpan de Juárez	2.01	0.18	18.33	0.0018	0.20	0.15	20.64	0.007
Otumba	0.73	0.06	6.62	0.0007	0.07	0.05	7.46	0.003
San Martín de las Pirámides	0.10	0.01	0.88	0.0001	0.01	0.01	0.99	0.0004
Temamatla	0.19	0.02	1.77	0.0002	0.02	0.01	1.99	0.001
Tepetlaoxtoc	0.29	0.03	2.65	0.0003	0.03	0.02	2.98	0.001
Texcoco	0.68	0.06	6.18	0.0006	0.07	0.05	6.96	0.002
Tlalnepantla de Baz	0.17	0.02	1.59	0.0002	0.02	0.01	1.79	0.001
Valle de Chalco	0.29	0.03	2.65	0.0003	0.03	0.02	2.98	0.001
Total	6.72	0.60	61.20	0.01	0.66	0.50	68.91	0.02

Fuente: PROBOSQUE (2023). Información proporcionada por la Dirección de Protección Forestal de PROBOSQUE.

Tabla 2-85. Factor de emisión y carga de combustible por tipo de cultivo [t/t]

Cultivo	PM10	PM2.5	NO _x	COV	CO	CH ₄	Carga de combustible [t/ha]
Aceituna	0.0053	0.0050	0.0023	0.0046	0.0517	0.0014	2.97
Aguacate	0.0093	0.0088	0.0023	0.0083	0.0526	0.0026	3.71
Apio	0.0091	0.0078	0.0015	0.0065	0.0697	0.0020	17.30
Árbol de Navidad	0.0086	0.0077	0.0015	0.0036	0.0698	0.0011	17.30
Cebada Grano	0.0064	0.0062	0.0023	0.0068	0.0833	0.0021	4.20
Durazno	0.0026	0.0025	0.0023	0.0013	0.0190	0.0004	6.18
Haba Verde	0.0062	0.0059	0.0023	0.0064	0.0671	0.0020	6.18
Maguey Pulquero	0.0091	0.0078	0.0015	0.0065	0.0697	0.0020	17.30
Maíz Forrajero	0.0051	0.0049	0.0015	0.0029	0.0321	0.001	10.38
Maíz Grano	0.0051	0.0049	0.0015	0.0029	0.0321	0.001	10.38
Manzana	0.0017	0.0016	0.0023	0.0010	0.0190	0.0003	5.68
Nuez	0.0019	0.0018	0.0020	0.0021	0.0303	0.0006	2.97
Pera	0.0039	0.0037	0.0023	0.0023	0.0258	0.0007	6.42
Zempoalxochitl	0.0080	0.0076	0.0020	0.0067	0.0653	0.0021	3.21

Fuente: Lloyd A. (2000). Memorandum. Air Resources Board. Consultado en 2018 de: https://www.arb.ca.gov/ei/see/memo_ag_emission_factors.pdf. Nota: Los COV corresponden al 72% de los COT, las PM10 representan el 98.3% de las PM y las PM2.5 son el 94.8% de las PM10, (ARB, 2008). Para los cultivos que no contaban con FE se ocupó el FE de un cultivo similar.

MEMORIA DE CÁLCULO

Para esta categoría también se estimaron las emisiones CH₄, esto se realizó con la siguiente relación (Radian International LLC, 1997):

$$\text{Relación } \frac{\text{CH}_4}{\text{COT}} = 23\% \text{ (Fracción que representa metano en los COT)}$$

Labranza agrícola

Las actividades agrícolas generan emisiones de partículas durante la etapa de preparación de suelo para la siembra (labranza) y cosecha. La ecuación para estimar dichas emisiones se muestra a continuación.

$$\text{Emisiones} = S * FE$$

Donde:

S= Superficie sembrada o cosechada [ha]

FE= Factor de emisión [t/ha]

Para esta categoría se estimó el factor de emisión para preparación del suelo y se realizó por medio de la siguiente ecuación (ARB, 2003):

$$FE = P * FS * 0.4535 * 2.471$$

Donde:

P = Pases de labranza por acre sembrado o cosechado [acre-pase/acre]

FS = Factor de pase por preparación de suelo [lb/acre-pase]

1 lb = 0.4535 kg

1 ha = 2.471 acre

En la Tabla 2-86 se muestran los factores de emisión por cultivo.

Tabla 2-86. Factores de emisión para labranza agrícola por tipo de cultivo

Tipo de cultivo	Factores de emisión PM10		Tipo de cultivo	Factores de emisión PM10	
	Prep Suelo [ton/ha]	Cosecha [ton/ha]		Prep Suelo [ton/ha]	Cosecha [ton/ha]
Aceituna	8.07E-05	5.38E-06	Frambuesa	6.38E-03	2.87E-04
Acelga	1.29E-02	4.21E-04	Fresa	6.38E-03	2.87E-04
Aguacate	6.97E-05	6.09E-06	Frijol	8.63E-03	9.58E-03
Alcachofa	9.56E-03	6.41E-04	Haba grano	8.63E-03	1.96E-02
Alfalfa verde	4.49E-03	N/A	Haba verde	8.63E-03	1.96E-02
Amaranto	4.49E-03	2.76E-04	Higo	8.07E-05	1.37E-04
Apio	1.29E-02	4.21E-04	Lechuga	1.29E-02	4.21E-04
Avena forrajera en verde	4.16E-03	7.80E-03	Limón	8.19E-05	6.05E-06
Avena grano	4.16E-03	7.80E-03	Maíz forrajero en verde	7.72E-03	7.91E-03
Betabel	2.55E-02	9.85E-03	Maíz grano	7.72E-03	7.91E-03
Brócoli	9.50E-03	5.25E-04	Manzana	8.07E-05	5.38E-06
Calabacita	6.38E-03	6.10E-04	Membrillo	1.07E-04	6.16E-06
Calabaza	6.38E-03	6.10E-04	Nuez	3.50E-03	1.15E-03
Canola	8.07E-05	5.38E-06	Papa	2.55E-02	9.79E-03
Cebada grano	4.14E-03	7.80E-03	Pepino	9.50E-03	4.66E-04
Cebolla	7.30E-03	7.91E-03	Pera	8.53E-05	5.37E-06
Chabacano	8.00E-05	5.38E-06	Perejil	1.29E-02	4.21E-04
Chícharo	9.50E-03	9.91E-04	Poro	7.30E-03	7.91E-03
Chilacayote	6.38E-03	6.10E-04	Rábano	2.55E-02	9.85E-03
Chile verde	1.13E-02	6.46E-04	Romerito	1.29E-02	4.21E-04
Cilantro	1.29E-02	4.21E-04	Romero	1.29E-02	4.21E-04
Ciruella	8.07E-05	5.38E-06	Sorgo forrajero en verde	4.14E-03	7.77E-03
Col (repollo)	9.56E-03	6.41E-04	Tomate rojo (jitomate)	8.59E-05	5.37E-06

Inventario de Emisiones de la Ciudad de México y su Zona Conurbada 2022

Tipo de cultivo	Factores de emisión PM10		Tipo de cultivo	Factores de emisión PM10	
	Prep Suelo [ton/ha]	Cosecha [ton/ha]		Prep Suelo [ton/ha]	Cosecha [ton/ha]
Coliflor	9.56E-03	6.41E-04	Tomate verde	1.13E-02	6.46E-04
Durazno	8.12E-05	6.04E-06	Trigo grano	4.14E-03	7.80E-03
Ebo (janamargo o veza)	4.16E-03	7.80E-03	Triticale grano	4.14E-03	7.80E-03
Elote	7.72E-03	3.77E-04	Tulipán holandés (planta)	1.29E-02	4.21E-04
Epazote	1.29E-02	4.21E-04	Verdolaga	1.29E-02	4.21E-04
Espárrago	6.38E-03	6.06E-03	Zanahoria	2.55E-02	9.79E-03
Espinaca	1.29E-02	4.21E-04	Zarzamora	6.38E-03	2.87E-04

Fuente: ARB (2003). Detailed documentation for fugitive dust and ammonia emissions inventory changes for the SJV APCD particulate matter SIP. Consultado en agosto de 2019 de: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.362.77505&rep=rep1&type=pdf>

Para determinar la emisión de PM2.5 y carbono negro se utilizaron las bases de datos del *Speciation Used in ARB Modeling* (CEIDARS, 2023). Para PM2.5 se determinó una fracción de 22.22% respecto de las PM10, y para carbono negro de 0.35% respecto de las PM2.5.

El dato de actividad para la estimación de emisiones de esta categoría se tomó de la base de datos del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2024) y se reportan en la Tabla 2-87.

Tabla 2-87. Superficie sembrada y cosechada [ha]

Cultivo	CDMX		EDOMEX		Tizayuca	
	Superficie Sembrada	Superficie Cosechada	Superficie Sembrada	Superficie Cosechada	Superficie Sembrada	Superficie Cosechada
Aceituna	4.00	2.00	N/A	N/A	N/A	N/A
Acelga	42.00	42.00	33.00	33.00	N/A	N/A
Aguacate	N/A	N/A	851.27	300.00	N/A	N/A
Alcachofa	N/A	N/A	17.00	17.00	N/A	N/A
Alfalfa verde	2.50	2.50	6,004.70	6,004.70	15.00	15.00
Amaranto	102.50	102.50	170.50	170.5	N/A	N/A
Apio	30.00	27.00	N/A	N/A	N/A	N/A
Avena forrajera en verde	5,437.20	5,437.20	15,423.51	15,423.51	432.00	432.00
Avena grano	N/A	N/A	6,493.90	6,493.90	N/A	N/A
Betabel	0.50	0.50	2.00	2.00	N/A	N/A
Brócoli	234.70	234.70	215.32	215.32	N/A	N/A
Calabacita	89.60	89.60	429.46	429.46	N/A	N/A
Calabaza	N/A	N/A	2.00	2.00	N/A	N/A
Canola	N/A	N/A	33.00	33.00	N/A	N/A
Cebada grano	N/A	N/A	37,005.25	31,987.25	1,303.00	1,303.00
Cebolla	N/A	N/A	44.90	44.90	N/A	N/A
Chabacano	10.85	10.85	N/A	N/A	N/A	N/A
Chícharo	4.00	4.00	86.00	86.00	N/A	N/A
Chilacayote	1.00	1.00	33.55	33.55	N/A	N/A
Chile verde	4.00	4.00	N/A	N/A	N/A	N/A
Cilantro	26.00	26.00	36.90	36.90	N/A	N/A
Ciruella	38.40	38.40	8.80	8.80	N/A	N/A
Col (repollo)	1.00	1.00	48.30	48.30	N/A	N/A
Coliflor	7.00	7.00	3.22	3.22	N/A	N/A
Durazno	34.88	33.88	53.20	52.70	N/A	N/A
Ebo (janamargo o veza)	150.00	150.00	423.00	423.00	N/A	N/A
Elote	946.00	946.00	N/A	N/A	N/A	N/A
Epazote	N/A	N/A	22.00	22.00	N/A	N/A
Espárrago	N/A	N/A	18.00	18.00	N/A	N/A
Espinaca	97.50	97.50	13.00	13.00	N/A	N/A
Frambuesa	2.50	2.50	1.00	1.00	N/A	N/A
Fresa	N/A	N/A	2.10	2.10	N/A	N/A
Frijol	52.50	52.50	2,033.55	2,033.55	3.00	3.00
Haba grano	N/A	N/A	221.46	221.46	N/A	N/A

MEMORIA DE CÁLCULO

Cultivo	CDMX		EDOMEX		Tizayuca	
	Superficie Sembrada	Superficie Cosechada	Superficie Sembrada	Superficie Cosechada	Superficie Sembrada	Superficie Cosechada
Haba verde	134.00	133.00	334.86	334.86	N/A	N/A
Higo	8.00	8.00	N/A	N/A	N/A	N/A
Lechuga	316.55	316.55	405.05	405.05	N/A	N/A
Limón	N/A	N/A	12.00	12.00	N/A	N/A
Maíz forrajero en verde	85.00	85.00	13,733.90	13,693.15	406.20	406.20
Maíz grano	3,463.00	3,463.00	80,107.80	74,457.80	53.30	44.30
Manzana	119.35	118.75	8.90	8.90	N/A	N/A
Membrillo	2.30	2.30	2.00	2.00	N/A	N/A
Nuez	2.20	2.20	41.00	39.00	N/A	N/A
Papa	710.00	710.00	401.00	401.00	N/A	N/A
Pepino	N/A	N/A	215.30	215.30	N/A	N/A
Pera	56.00	53.50	17.50	17.50	N/A	N/A
Perejil	N/A	N/A	2.50	2.50	N/A	N/A
Poro	N/A	N/A	1.50	1.50	N/A	N/A
Rábano	44.20	44.20	6.80	6.80	N/A	N/A
Romerito	225.00	225.00	184.00	184.00	N/A	N/A
Romero	N/A	N/A	21.90	21.90	N/A	N/A
Sorgo forrajero en verde	N/A	N/A	11.00	11.00	N/A	N/A
Tomate rojo (jitomate)	1.50	1.50	665.92	665.92	N/A	N/A
Tomate verde	N/A	N/A	1,055.70	1,055.70	N/A	N/A
Trigo grano	N/A	N/A	4,391.01	4,391.01	38.00	38.00
Triticale grano	N/A	N/A	2,417.50	2,417.50	N/A	N/A
Tulipán holandés (planta)	3.70	3.70	N/A	N/A	N/A	N/A
Verdolaga	142.00	142.00	27.00	27.00	N/A	N/A
Zanahoria	80.00	80.00	6.30	6.30	N/A	N/A
Zarzamora	4.45	4.45	3.00	3.00	N/A	N/A
Total	12,715.8	12,705.7	173,803.33	162,540.81	2,250.50	2,241.5

Fuente: SIAP (2024). Estadística de la producción agrícola y población ganadera de 2022. Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). Información obtenida mediante oficio de fecha 08 de abril de 2024.

Ganadería

Corrales en engorda

Las emisiones de partículas generadas por el ganado bovino en corrales se estimaron con la siguiente ecuación (Radian International LLC, 1997).

$$E = \left(\frac{P}{1,000} * FE * D \right) * 1,000$$

Donde:

- E = Emisión del contaminante [t/año]
- P/1000 = 1000 cabezas ganado bovino (solo ganado en corrales)
- FE = Factor de emisión contaminante [kg/1000 cabeza-día]
- D = Número de días de engorda (120 días)
- Valor por defecto 1,000 = conversión de kg a toneladas

Los factores de emisión se presentan en la Tabla 2-88 y la población ganadera en corrales de engorda se muestran en la Tabla 2-89.

Tabla 2-88. Factores de emisión de partículas en corrales de engorda

Tipo de ganado	kg/1,000 cabeza-día	Contaminante
Vacuno cárnico	8.6	PM10
	0.98	PM2.5
	0.05	CN

Fuente: Inventario Nacional de Emisiones 1999. Apéndice C, datos adicionales de Fuentes de área, Corrales de engorda y ganado vacuno, pág. 270. ARB (2008). California Emission Inventory and Reporting System (CEIDARS)–Size fractions and reference documentation, perfil 423.

Tabla 2-89. Población de ganado bovino en corrales de la CDMXyZC

Alcaldía/Municipio	Cabezas	Alcaldía/Municipio	Cabezas	Alcaldía/Municipio	Cabezas
Álvaro Obregón	23	Cocotitlán	457	Papalotla	471
Cuajimalpa de Morelos	37	Coyotepec	208	San Martín de las Pirámides	3,734
Iztapalapa	22	Cuautitlán	3,677	Tecámac	2,180
La Magdalena Contreras	80	Cuautitlán Izcalli	790	Temamatla	437
Milpa Alta	690	Ecatepec de Morelos	234	Temascalapa	3,378
Tláhuac	63	Ecatzingo	149	Tenango del Aire	5,726
Tlalpan	1,142	Huehuetoca	1,610	Teoloyucan	4,995
Xochimilco	275	Hueyoptla	2,994	Teotihuacán	4,752
Acolman	2,665	Huixquilucan	582	Tepetlaoxtoc	15,753
Amecameca	4,084	Isidro Fabela	2,674	Tepetlixpa	1,052
Apaxco	4,265	Ixtapaluca	2,089	Tepotzotlán	2,615
Atenco	1,043	Jaltenco	1,653	Tequixquiac	5,145
Atizapán de Zaragoza	1,609	Jilotzingo	2,093	Texcoco	11,018
Atlautla	1,568	Juchitepec	2,497	Tezoyuca	204
Axapusco	3,200	La Paz	1,055	Tlalmanalco	428
Ayapango	999	Melchor Ocampo	2,643	Tonanitla	262
Chalco	6,811	Nextlalpan	2,168	Tultepec	219
Chiautla	422	Nezahualcóyotl	632	Tultitlán	244
Chicoloapan	452	Nicolás Romero	3,718	Valle de Chalco Solidaridad	16
Chiconcuac	389	Nopaltepec	3,712	Villa del Carbón	6,481
Chimalhuacán	228	Otumba	4,695	Zumpango	2,834
Coacalco de Berriozábal	134	Ozumba	523		

Fuente: Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (2024). Datos de agricultura y ganadería de SIAP. Información obtenida mediante oficio con fecha del 08 de abril del 2024.

Emisiones ganaderas de amoníaco

Las emisiones de amoníaco se generan por las excretas del ganado y aves de corral, se estimaron con los factores de emisión por tipo de ganado y aves (ver Tabla 2-90) con la siguiente ecuación (Radian International LLC, 1997):

$$E = \frac{P * FE}{1,000}$$

Donde:

- E= Emisión del contaminante [t/año]
- P= Cabezas de ganado existentes
- FE= Factor de emisión contaminante [kg NH₃/cabeza-año]

MEMORIA DE CÁLCULO

Tabla 2-90. Factores de emisión de amoníaco por tipo de ganado

Animal	FE [kg NH ₃]
Ganado lechero ¹	21.30
Vacuno de engorda ¹	4.37
Conejo ¹	2.80
Ovejas ¹	3.37
Cabras ¹	6.39
Cerdos ¹	4.05
Equinos ¹	12.20
Patos ²	0.12
Pavos ¹	0.68
Pollos ¹	0.19
Mulas y Asnos ³	6.73

Fuentes: 1) SEMARNATH-INE (1999). Inventario Nacional de emisiones 1999. Apéndice C. Datos adicionales de Fuentes de área, Corrales de engorda y ganado vacuno, pág. 270; 2) Radian International LLC (1997). Manuales de Inventario de Emisiones de México (Vol. 5, cap. 9). 3) SEDEMA (2017). Elaboración propia.

La población ganadera por especie se muestra en la Tabla 2-91.

Tabla 2-91. Población ganadera en la CDMXyZC

Tipo de ganado		CDMX	EDOMEX	Tizayuca	CDMXyZC
Bovinos	Carne	2,332	140,666	N/A	142,998
	Lechero	4,429	69,517	N/A	73,946
	Doble propósito	6,761	349	N/A	7,110
	Sementales	81	1,031	N/A	1,112
	Animales de trabajo	N/A	50	N/A	50
	En engorda	77	578	902	1,557
	Porcinos	19,619	193,578	1,203	214,400
	Ovinos	26,404	442,331	8,357	477,092
	Caprinos	667	21,444	1,064	23,175
	Conejos	3,908	83,596	N/A	87,504
	Equinos	630	14,528	N/A	15,158
	Mulas	339	1,599	N/A	1,938
	Asnos	124	4,848	N/A	4,972
	Aves	Gallos/gallinas	7,013	363,662	N/A
Pollos		7,186	5,340,762	735,369	6,083,317
Pavos		260	175,742	N/A	176,002
Patos		62	135	N/A	197
Total		79,892	6,854,416	746,894	7,681,202

Fuente: Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (2024). Datos de agricultura y ganadería de SIAP. Información obtenida mediante oficio con fecha del 08 de abril del 2024.

Fermentación entérica

Las emisiones de metano por fermentación entérica se estiman con la siguiente ecuación:

$$E_{CH_4} = \#Cabezas_{Tipo} * FE_{CH_4, Tipo}$$

Donde:

E_{CH_4} = Emisión de metano (CH₄), [tCH₄ /año]

Cabezas_{Tipo}= Número de cabezas por tipo de ganado (reportados en la Tabla 2-91, a excepción de aves)

$FE_{CH_4, Tipo}$ = Factor de emisión de metano por tipo de ganado (CH₄)

Tabla 2-92. Factores de emisión de metano por fermentación entérica

Ganado	kg/1,000 cabezas-año	Ganado	kg/1,000 cabezas-año
Ganado lechero ¹	104.35	Cerdos ²	1.00
Vacuno de engorda ¹	47.41	Equinos ²	18.00
Ovejas ²	5.00	Mulas y Asnos ²	10.00
Cabras ²	5.00		

Fuentes: 1) INECC (2006). Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero Parte 4; sector Agricultura. Instituto Nacional de Ecología, México, D.F. 118 pp. 2) IPCC (2006). Directrices del IPCC para inventarios nacionales de gases de efecto invernadero Vol. 4. Cap. 10 Emisiones resultantes de la gestión de ganado y del estiércol Cuadro 10.10. Consultado en 2017, de: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/4_Volume4/V4_10_Ch10_Livestock.pdf

Manejo de estiércol

El manejo de estiércol genera emisiones de óxido nitroso y metano, la metodología que se realizó para la estimación de estas emisiones se describe a continuación.

Emisiones de óxido nitroso

Las emisiones por manejo de excretas de la población ganadera se estimaron con base en la metodología del IPCC, 2006, volumen 4, capítulo 10. Las ecuaciones empleadas se muestran a continuación.

$$N_2O_{directo} = \sum [(N_T * Nex_T * MS_{T,S})(EF_{3(S)})] \left(\frac{44}{28}\right)$$

Donde:

N₂O directo = emisiones directas de N₂O de la gestión del estiércol del país, [kg N₂O/año]

N_T = cantidad de cabezas de la especie/categoría (datos de la Tabla 2-91)

MS_{T,S} = fracción de la excreción total anual de nitrógeno de cada especie/categoría de ganado T que se gestiona en el sistema de gestión del estiércol S en el país, sin dimensión

EF_{3(S)} = factor de emisión para emisiones directas de N₂O del sistema de gestión del estiércol S, [kg N₂O-N/kgN]

S = sistema de gestión del estiércol

T = especie/categoría de ganado

44/28 = conversión de emisiones de (N₂O-N) a emisiones de N₂O

Nex_T = promedio anual de excreción de N por cabeza de la especie/categoría T [kg N animal/año]

El promedio anual de excreción se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$N_{exT} = N_{índiceT} * \frac{TAM}{1,000} * 365$$

Donde:

Nex_T = excreción anual de N para la categoría de ganado T, kg N/animal-año

Níndice_T = tasa de excreción de N por defecto, kg N/ (1000 kg masa animal)-día

TAM = masa animal típica para la categoría de ganado T, kg/animal

La Tabla 2-93 muestra los parámetros para obtener el promedio anual de excreción y su valor obtenido, así como la Tabla 2-94 muestra el factor de emisión de N₂O para cada especie.

MEMORIA DE CÁLCULO

Tabla 2-93. Parámetros para obtener el promedio anual de excreción de N por cabeza

Animal	N rate [kg N/1000kg masa animal]	TAM [kg]	NexT [t N/animal-año]
Ganado lechero	0.48	400	70.08
Ganado no lechero	0.36	305	40.077
Cerdo (crianza)	0.55	28	5.621
Borregos	1.17	38.25	16.3346625
Cabra	1.37	34.25	17.1267125
Caballos	0.46	307.5	51.62925
Mulas y asnos	0.46	130	21.827
Conejos	8.1	1.6	4.7304
Gallinas	0.82	2.2	0.65846
Pollitos	0.6	0.02	0.00476435
De engorda	1.1	0.9	0.36135
Pavos	0.74	6.8	1.83668
Patos	0.83	2.7	0.817965

Fuente: Elaborada con datos de: IPCC (2006). Guidelines for National Emission Inventories (vol. 4. Agriculture, Forestry, and other land use in Guidelines for national greenhouse gas inventories). Consultado en 2017 de https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/4_Volume4/V4_10_Ch10_Livestock.pdf.

Tabla 2-94. Factor de emisión de N₂O para cada especie

Animal	Manejo de estiércol [kg de N ₂ O/ Número de cabezas-año]				Total
	Sistema de tipo líquido	Almacenamiento sólido	Parcelas secas	Otros sistemas	
Ganado lechero	N/A	N/A	N/A	0.0055	0.0055
Ganado no lechero	0.0031	0.0031	N/A	N/A	0.0063
Cerdo (crianza)	0.0035	0.0044	0.0724	0.0177	0.0980
Cabra	N/A	N/A	N/A	0.0013	0.0013
Caballos	N/A	N/A	N/A	0.0041	0.0041
Mulas y asnos	N/A	N/A	N/A	0.0017	0.0017
Conejos	N/A	N/A	N/A	0.0004	0.0004
Gallinas	0.0005	N/A	N/A	0.0025	0.0030
Pollos	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
De engorda	0.0003	N/A	N/A	0.0014	0.0016
Pavos	0.0013	N/A	N/A	0.0071	0.0084
Patos	0.0006	N/A	N/A	0.0031	0.0037

Fuente: IPCC (2006). Directrices IPCC 2006 para inventarios de gases de efecto invernadero. Volumen 4. Agricultura, Forestal, y otros usos del suelo, tablas 10A-4 a 10A-9.

Emisiones de metano

Las emisiones de metano se estimaron con la siguiente ecuación:

$$E_{CH_4} = \#Cabezas_i FE_{CH_4 i}$$

Donde:

E_{CH_4} = Emisión de metano (CH₄), [tCH₄ /año]

$FE_{CH_4 i}$ = Factor de emisión de metano (CH₄)

$\# Cabezas_i$ = Número de cabezas por tipo de ganado (Tabla 2-91)

Tabla 2-95. Factores de emisión de metano por manejo de estiércol

Animal	kg/ Cabeza-año
Ave ¹	0.016
Caprino ¹	0.149
Guajolote ¹	0.016
Bovino leche ²	0.790
Bovino carne ²	1.070
Ovino ¹	0.139
Porcino ¹	0.694
Caballos ¹	1.803
Mulas y asnos ¹	0.986
Conejos ³	0.080

Fuentes: 1) INECC (2006) INE-Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (2006), consultado de www2.inecc.gob.mx/cclimatico/inventarios/index.php. 2) E. González Avalos & L.G. Ruiz Suárez (2006). Methane conversion factors from cattle manure in Mexico. 3). IPCC (2006). Volume 4. Agriculture, Forestry, and other land use in Guidelines for national greenhouse gas inventories.

Actividades de la construcción

Durante el desarrollo de una construcción se generan emisiones por las diferentes actividades realizadas y en el manejo de materiales y el movimiento de tierra. A continuación, se describe la metodología empleada para la estimación de emisiones por actividades de la construcción.

Emisiones fugitivas, por manejo de materiales y movimiento de tierra

En esta sección se describe la metodología para estimar las emisiones de partículas (PM10 y PM2.5) por las actividades de construcción y demolición.

Emisiones por construcción y demolición

La estimación de emisiones por construcción y demolición se realizó con base en la información proporcionada por la Dirección General de Evaluación de Impacto y Regulación Ambiental (DGEIRA) de la SEDEMA; se obtuvieron los tiempos y magnitud de los diferentes proyectos en ejecución, el volumen de los residuos derivados de la demolición potencialmente reciclables para la obtención de agregados y materiales de relleno y excavación. Cada obra tiene diferentes calendarizaciones por lo que el análisis de tiempos se realizó individualmente.

Tabla 2-96. Superficie construida y volumen de residuos de la construcción generados en CDMX

Tipo de proyecto	Área de construcción total [ha]	Volumen de residuos de la excavación [t]	Volumen de residuos de la construcción [t]
Construcción	45.80	3,143	256,241

Fuente: SEDEMA (2024). Proyectos de construcción y demolición. Datos proporcionados por la Dirección General de Evaluación de Impacto y Regulación Ambiental de la Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México el día 18 de octubre de 2023. SEMARNATH (2024). Proyectos de construcción del municipio de Tizayuca, información recibida en abril de 2024. SOBSE (2024). Proyectos de construcción y demolición, información proporcionada por la JUD de Servicios Generales de Obras Públicas el 21 de febrero de 2024.

MEMORIA DE CÁLCULO

Tabla 2-97 Volumen de demolición y cantidad total desechada de residuos en CDMX

Tipo de proyecto	Volumen de demolición [ft ³]	Cantidad total desechada (puesta en pilas) [t]
Demolición	322,175,666	1,377,090

Fuente: SEDEMA (2024). Proyectos de construcción y demolición. Datos proporcionados por la Dirección General de Evaluación de Impacto y Regulación Ambiental de la Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México el día 18 de octubre de 2023. SEMARNATH (2024). Proyectos de construcción del municipio de Tizayuca, información recibida en abril de 2024. SOBSE (2024). Proyectos de construcción y demolición, información proporcionada por la JUD de Servicios Generales de Obras Públicas el 21 de febrero de 2024.

Emisiones por actividades globales de la construcción

La estimación de emisiones globales depende del tipo de construcción, nivel de actividad, duración y área afectada (Radian LLC, 1997), la ecuación general para estimar emisiones por actividades globales de construcción es la siguiente:

$$E = A_k * t_k * FE$$

Donde

E= Emisión del contaminante K [t/año]

FE= Factor de emisión del contaminante [t/ha/mes]

A_k= Área del proyecto k [ha]

t_k= Tiempo de construcción del proyecto durante año base del inventario [meses]

Los factores de emisión se muestran en la Tabla 2-98.

Tabla 2-98. Factores de emisión para actividades globales de la construcción

Sitio	Tipo de construcción y Nivel de actividad	Factor global de emisión de PM10 (t/ha/mes)
A	Industrial- Actividad Moderada (atrincherado, prepavimentación, movimiento de tierra a pequeña escala)	0.072
B	Residencial-Actividad Moderada a Pesada (atrincherado, movimiento de tierra, barrenado y dinamitado, compactación)	0.720
C	Residencial- Actividad Moderada a Pesada (atrincherado, prepavimentación, acarreo del material de base para caminos)	0.180
D	Residencial - Actividad Baja a Moderada (planeación y modificación del terreno)	0.009
E	Residencial – Actividad Pesada (movimiento de tierra, arrastre, apilado)	0.900
F	Residencial – Actividad Pesada (movimiento de tierra)	0.960
G	Comercial – Actividad Moderada a Pesada (atrincherado, acarreo de material de relleno)	0.760
	Promedio	0.250

Fuente: Radian International (1997) Manuales del programa de inventario de emisiones de México. Vol. V. Desarrollo de inventarios de Fuentes de área. Sacramento, CA.

Emisiones por actividades de la demolición

Las emisiones por proyectos de demolición se estimaron con base en lo descrito en los “Manuales del programa de Inventarios de Emisiones en México” (Radian International, LLC., 1997). La fórmula aplicada para la estimación de emisiones es la descrita a continuación:

$$E_{PM10} = V_k * FE * 0.00045$$

Donde:

E_{PM10} = Emisión PM10 [t/año]

V_k = Volumen afectado por demolición [ft³]

FE = Factor de emisión [lb/ft³]

0.00045 = Conversión de lb a toneladas

El factor de emisión para PM10 y PM2.5 se indica en la Tabla 2-99, se asume que las PM2.5 es una fracción respecto a las PM10.

Tabla 2-99. Factor de emisión por actividad de demolición [lb/ft³]

	PM10	PM2.5 ¹
	0.00042	0.000378

¹Las PM2.5 representan el 0.9 de las PM10.

Fuentes: Air Quality Handbook (1993). California Environmental Quality Act (CEQA). South Air Coast Air Quality Management Districts (SCAQMD's). Consultado en 2020: https://ww2.energy.ca.gov/sitingcases/ivanpah/documents/others/2009-08-12_Attachemt_AQ1.

Emisiones por manejo de materiales (carga y descarga)

Las emisiones por manejo de materiales se estimaron con la siguiente ecuación:

$$E_p = \frac{FE_{tp} V_k}{1,000}$$

Donde:

E_p = Emisión de partículas (PM10/PM2.5)

FE_{tp} = Factor de emisión por temporada para retículas [kg/ t de material]

V_k = Cantidad total desechada (puesta en pilas) [t]

1,000= Conversión de kilogramos a toneladas

El factor de emisión de PM10 y PM2.5 de las actividades de carga y descarga de materiales se ve afectado por las condiciones meteorológicas, velocidad del viento y humedad, presentes por temporada climática (fría, húmeda y seca). El cálculo de estos factores se realizó con la siguiente ecuación, (U.S. EPA AP-42, 1995), y se presentan en la Tabla 2-100:

$$FE = K(0.0016) \left(\frac{U^{1.3}}{2.2} \right) \left(\frac{M^{1.4}}{2} \right)$$

Donde:

FE = Factor de emisión

K = Multiplicador de la partícula (adimensional)

U = Velocidad media del viento, (m/s)

M = Contenido de humedad del material (%)

Tabla 2-100. Factores de emisión para carga y descarga de materiales por temporada

Temporada	Factor de emisión [kg/t material]	
	PM10	PM2.5
Fía	0.000339	0.000051
Lluvia	0.000416	0.000063
Seca	0.000362	0.000055

Fuente: U.S. EPA (2002) Aggregate Handling and Storage Piles, Chapter 13.2.4.1. Environmental Protection Agency (U.S. EPA). Consultado en diciembre 2024 en: <https://www3.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch13/final/c13s0204.pdf>

Construcción de vialidades

El dato de actividad para la estimación de emisiones de las vialidades construidas en la Ciudad de México fue proporcionado por la Secretaría de Obras y servicios (SOBSE). La información de los proyectos viales para el Estado de México se obtuvo del portal de la Secretaría de Movilidad de la entidad, "Obras en proceso y terminadas del ejercicio 2023" (SEMOV, 2023) y la Junta de Camino del Estado de México, "Obras relevantes concluidas".

Finalmente, se obtuvo información de la construcción de proyectos federales de la Gaceta Ecológica: Proyectos en Evaluación de Impacto Ambiental. Sistema Nacional de Trámites (SINAT) (SEMARNATH, 2024).

Para el cálculo de emisiones se utilizó el Software Road Construction Emission Model versión 9, el cual estima las emisiones fugitivas por manejo de materiales y movimiento de tierra en las diferentes etapas de construcción.

Balance de Energía

Para la elaboración del balance de energía de la CDMXyZC se consideran datos de ventas de combustibles y electricidad del Sistema de Información Energética de la Secretaría de Energía para el año 2022 (SIE-SENER); para el balance de combustibles del sector transporte, la industria y los comercios y servicios se realizan algunos ajustes que se describen a continuación:

- Gasolinas: a partir de la actividad vehicular (KRV anuales) y los rendimientos de la flota en circulación se determina la cantidad de gasolinas utilizadas en la CDMXyZC, volumen que excede las ventas reportadas por SIE-SENER.
- Diésel: se considera el consumo de los vehículos automotores, de las locomotoras de patio y foráneas para las operaciones que realizan dentro de la CDMXyZC, porque el combustible que reporta SIE-SENER representa las ventas totales. También para el sector industrial se hace el balance con el consumo reportado en las LAU, COA y COI.
- Gas LP: para el sector de comercios y servicios se considera el reportado por las fuentes fijas y el consumo de establecimientos que utilizan este combustible en su operación.
- Turbosina: Sólo se considera el volumen que se consume en las operaciones de despegue y aterrizaje de las aeronaves en los Aeropuertos Internacionales Benito Juárez y Felipe Ángeles.
- Adicional a los combustibles anteriores, se contabilizan los consumos de combustibles reportados en las LAU, las COA y las COI, así como el consumo de carbón por la preparación y/o calentamiento de alimentos en vía pública, y el consumo de leña en el sector habitacional.

El consumo energético de electricidad en petajoules, se estimó a partir de los diferentes tipos de combustibles que se utilizan para la generación de electricidad en la CFE Generación I; con el consumo y el poder calorífico de los combustibles se realiza la conversión a unidades de energía, con este dato se obtiene un factor de conversión para reportar el consumo de electricidad de la CDMXyZC en unidades de energía y determinar las emisiones por la generación de esta. En la tabla siguiente se presenta la obtención de este factor de conversión:

Tabla 2-101. Obtención de factor de conversión de energía

Tipo de combustible	Consumo [m ³]	Poder Calorífico [TJ/m ³]	Energía [TJ/año]
Combustóleo	418,775	0.04186498	17,532
Gas Natural	5,639,531,470	0.00003781	213,222
Total			230,754
Energía generada por las EPS* Generación I con estos combustibles MWh/año			28,112,000
Factor de conversión de energía [TJ/MWh]			0.00821

Fuente: Elaboración propia con datos Informe Anual de la CFE 2022 y Balance Nacional de Energía 2022.

En la Tabla 2-102 se presenta el Balance de Energía consumida dentro de la CDMXyZC en 2022.

Tabla 2-102. Consumo energético en la CDMXyZC durante 2022

Tipo de energético	Consumo de energía por sector [PJ/año]					Total [PJ/año]	Aporte Porcentual por energético
	Habitacional	Comercios y servicios	Industria	Transporte	Agropecuario		
Gasolina	N/A	<0.01	0.10	423.47	N/A	423.57	42%
Diésel	N/A	0.63	2.25	85.48	N/A	88.36	9%
Gas LP	61.40	12.94	8.47	12.26	0.24	95.32	9%
Gas natural	6.01	2.49	177.23	0.39	N/A	186.12	19%
Turbosina	N/A	N/A	N/A	6.47	N/A	6.47	1%
Combustóleo ligero	N/A	<0.01	0.04	N/A	N/A	0.04	<0.01%
Combustóleo pesado	N/A	N/A	0.04	N/A	N/A	0.04	<0.01%
Leña	0.54	<0.01	N/A	N/A	N/A	0.54	<0.01%
Coque de petróleo	N/A	N/A	2.07	N/A	N/A	2.07	0.2%
Coque de carbón	N/A	N/A	<0.01	N/A	N/A	<0.01	<0.01%
Carbón vegetal	N/A	0.14	N/A	N/A	N/A	0.14	<0.01%
Energía eléctrica	58.85	42.81	95.21	6.73	0.62	204.21	20%
Consumo total	127	59	285	535	0.9	1,007	100%
Aporte porcentual	13%	6%	28%	53%	0.1%	100.0%	

Fuente: Elaboración propia con información del Balance Nacional de Energía 2022 (SENER, 2023); rendimientos y actividad de la flota vehicular; consumos reportados por fuentes fijas de jurisdicción local en la Licencia Ambiental Única para la CDMX (LAU-CDMX) 2022, la Cédula de Operación Integral (COI) del EDOMEX y la Cédula de Operación Anual (COA) del Estado de Hidalgo; consumos reportados por fuentes fijas de jurisdicción federal a través de la COA de la SEMARNATH; consumo de diésel por locomotoras foráneas y de patio proporcionado por Ferrovalle y ARTF para el año 2022; consumo de turbosina de aeronaves del Sistema de Modelización de Emisiones y Dispersión (EDMS, por sus siglas en inglés); consumo de leña a partir del Estudio Sobre la evolución nacional del consumo de leña y carbón vegetal en México 1990-2024 (Masera et. al, 2010) y carbón proyección al 2022 considerando datos 2017 del Sistema de comercios en vía pública.

Notas: El consumo total en PJ se obtiene multiplicando el consumo de combustibles (ya sea en m³ o t) por el poder calorífico del energético, obtenido del Balance Nacional de Energía 2022 (SENER, 2023), excepto carbón vegetal, cuyo poder calorífico se obtuvo del estudio de Wolf & Vogel (1986); para la electricidad se utilizó el factor de conversión determinado en la Tabla 101.

Especiación de contaminantes tóxicos

Las emisiones de contaminantes tóxicos se estimaron a partir de los compuestos orgánicos totales (COT) para gases y de partículas PM10 para metales y/o sustancias inorgánicas. Las principales fuentes de las especiaciones son el SPECIATE Versión 5.3 de la EPA para COT y CEIDARS y el Factor Information Retrieval (FIRE) V6.25 para PM10. En los casos donde el perfil de especiación se encuentra referido a COV se realizó la normalización correspondiente a COT. La lista de perfiles en base COT utilizados por categoría se muestra en la Tabla 2-103.

MEMORIA DE CÁLCULO

Tabla 2-103. Lista por categoría de los perfiles de especiación base COT

Categoría	Fuente
Combustión Industrial (GN)	Profile Number 0003, Profile Name: External Combustion Boiler - Natural Gas ^a
Combustión comercial-institucional (GLP)	Mugica, 1999. Tesis Doctoral "Determinación de los Perfiles de Emisión de Compuestos Orgánicos Volátiles en la ZMCM y su aplicación en el modelo CMB, Violeta Mugica Álvarez, 1999, página 81
Combustión comercial-institucional (GN)	Profile Number 0003, Profile Name: External Combustion Boiler - Natural Gas ^a
Combustión habitacional (GLP)	IMP-SEDEMA, 2016. "Diagnóstico de equipos a gas LP y actualización de factores de emisión de fugas y combustión de gas LP en viviendas de la ZMVM". Secretaría del Medio Ambiente (SEDEMA)
Combustión habitacional (GN)	Profile Number 0003, Profile Name: External Combustion Boiler - Natural Gas ^a
Operación de aeronaves	Federal Aviation Administration Office of Environment and Energy, 2009. EDMS V 5.1.1
Locomotoras	Profile Number, Profile Name 95332: Diesel exhaust from Tier 1 off-road engines ^a
Terminales de Autobuses de pasajeros	Modelo de emisiones MOVES-CDMX, desarrollado por ERG-SEDEMA 2016.
Recubrimiento de superficies Industriales	Profile Number 2418 Profile Name: Industrial Maintenance Coatings ^a
Pintura automotriz	Mugica (1999), Tesis Doctoral "Determinación de los Perfiles de Emisión de Compuestos Orgánicos Volátiles en la ZMCM y su aplicación en el modelo CMB, Violeta Mugica Álvarez, 1999, página 74
Recubrimiento de superficies arquitectónicas (PINTURAS VINILICAS)	Mugica (1999), Tesis Doctoral "Determinación de los Perfiles de Emisión de Compuestos Orgánicos Volátiles en la ZMCM y su aplicación en el modelo CMB, Violeta Mugica Álvarez, 1999, página 75
Recubrimiento de superficies arquitectónicas (PINTURAS ACRILICAS)	Mugica (1999), Tesis Doctoral "Determinación de los Perfiles de Emisión de Compuesto Orgánicos Volátiles en la ZMCM y su aplicación en el modelo CMB, Violeta Mugica Álvarez, 1999, página 76
Pintura de tránsito	Profile Number 2438, Profile Name: Traffic Paint - 1996 ^a
Limpieza en superficie industrial	Profile Number 2420, Profile Name: Degreasing, All Processes/All Industries ^a
Lavado en seco (Gas nafta)	Profile Number 4422, Profile Name: Naphtha Solvent ^a
Artes gráficas	Profile Number 1191, Profile Name: Graphic Arts - (Printing) ^a
Aplicación de asfalto	Profile Number 1007, Profile Mineral Products - Asphaltic Concrete ^a
Productos de cuidado personal	Perfil 8501 Consumer and Commercial Products: Personal Care Products: All Personal Care Products (1995) ^a
Productos misceláneos	Perfil 8535 Consumer and Commercial Products: Miscellaneous Products: All Miscellaneous Products (1995) ^a
Productos de consumo doméstico	Perfil 8511 Consumer and Commercial Products: Household Products: All Household Products (1995) ^a
Plaguicidas domésticos	Perfil 8526 Consumer and Commercial Products: Fifra Related Products: All Fifra Related Products. FIFRA ^a
Uso comercial y doméstico de pinturas en aerosol	Perfil 8533 Consumer and Commercial Products: Coatings and Related Products: Aerosol Spray Paints (1995) ^a
Productos para el cuidado automotriz	Perfil 8520 Consumer and Commercial Products: Automotive Aftermarket Products: All Automotive Aftermarket Products (1995) ^a
Uso comercial y doméstico de adhesivos y selladores	Perfil 8523 Consumer and Commercial Products: Adhesives and Sealants: All Adhesives and Sealants (1995) ^a
Distribución y Almacenamiento masivo de gasolina	Múgica, 2021. Emisiones de precursores de ozono emitidos por vehículos, debidas a los diferentes combustibles de diésel y gasolina que se expiden en la Ciudad de México.
Carga de combustibles en aeronaves	California Emission Inventory and Reporting System (CEIDARS), perfil 100 Jet fuel evaporation
Distribución y almacenamiento de GLP	SEDEMA, 2016. "Diagnóstico de equipos a gas L.P. y actualización de factores de emisión de fugas y combustión de gas L.P. en viviendas de la ZMVM". Secretaría del Medio Ambiente (SEDEMA)
Fugas de GLP en instalaciones	SEDEMA, 2016. "Diagnóstico de equipos a gas L.P. y actualización de factores de emisión de fugas y combustión de gas L.P. en viviendas de la ZMVM". Secretaría del Medio Ambiente (SEDEMA)
HCNQ en la combustión de GLP	Mugica, 1999. Tesis Doctoral "Determinación de los Perfiles de Emisión de Compuesto Orgánicos Volátiles en la ZMCM y su aplicación en el modelo CMB, Violeta Mugica Álvarez, 1999, página 81
Panaderías	APCD, 1998. Baking Operations (marzo 12 de 1998). Air Pollution Control District, County of San Diego. Consultado en 2015 de: http://www.sdapcd.org/toxics/emissions/baking/baking1.pdf

Inventario de Emisiones de la Ciudad de México y su Zona Conurbada 2022

Categoría	Fuente
Esterilización en hospitales	EPA,1989, Procedures for estimating and allocating area source emissions of air toxics. Hospital and laboratory sterilizers, pág. 10-3
Rellenos sanitarios	Perfil 3002 Landfills - ajustado ^a
Tratamiento de aguas residuales	Perfil 3003 Wastewater Treatment Plants ^a
Incendios en estructuras	US EPA AP42-EPA 2001, Volume III, chapter 18, Structure fires tabla 18.4-4. emission Factors for structure fires.
Combustión residencial (leña)	Perfil 5650 Residential Wood Combustion ^a
Incendios forestales	Battye, W. y Battye, R. (2002). Development of Emissions Inventory Methods for Wildland Fire. Final Report para Thompson G. Pace y U.S.EPA, USA. Consultado en 2024 de https://www.epa.gov/sites/default/files/2020-10/documents/development_of_emissions_inventory_methods_for_wildland_fire.pdf
Combustión de equipos agrícolas (GLP)	Mugica, 1999. Tesis Doctoral "Determinación de los Perfiles de Emisión de Compuestos Orgánicos Volátiles en la ZMCM y su aplicación en el modelo CMB, Violeta Mugica Álvarez,1999, página 81
Asados al carbón	Perfil 5563 Biomass Burning - Charcoal Burning ^a
Aplicación de plaguicidas	Perfil 8526 Consumer and Commercial Products: Fifra Related Products: All Fifra Related Products ^a
Quemas agrícolas	Perfil 5564 Biomass Burning - Agricultural Residues ^a
Maquinaria	Perfil 3161 Diesel Exhaust - farm equipment ^a
Tratamiento biológico de residuos	Perfil 8933, Green waste composting ^a
Aguas residuales no tratadas	Perfil 3003 Wastewater Treatment Plants ^a
Quema a cielo abierto	Yokelson R., et al. (2016) Nepal Ambient Monitoring and Source Testing Experiment (NAMaSTE): emission of trace gases and light-absorbing carbon from wood and dung cooking fires, garbage and crop residue burning, brick kilns, and other sources. Atmospheric Chemistry and Physics.16, 11043-11081.
Quemas controladas	Perfil 5464 Biomass Burning-Agricultural Residues ^a
Combustión comercial-institucional (Carbón)	Perfil 5563 Biomass Burning - Charcoal Burning ^a
Combustión industrial (GLP)	Mugica, 1999. Tesis Doctoral "Determinación de los Perfiles de Emisión de Compuestos Orgánicos Volátiles en la ZMCM y su aplicación en el modelo CMB, Violeta Mugica Álvarez, 1999, página 81
Combustión industrial (diésel)	Perfil 0002 External Combustion Boiler - Distillate Oil ^a

^a U.S. Speciate V.5.3

MEMORIA DE CÁLCULO

La lista de perfiles de especiación para partículas PM10 se muestra en la siguiente Tabla.

Tabla 2-104. Listado de categorías de los perfiles de especiación base PM10

Categoría	Fuente
Combustión industrial (GN)	FIRE-EPA. ^c
Combustión comercial-institucional (GLP)	Perfil 120 Gaseous material combustion
Combustión comercial- institucional (GN)	FIRE-EPA. ^c
Combustión habitacional (GLP)	Perfil 120 Gaseous material combustion. ^b
Combustión habitacional (GN)	FIRE-EPA. ^c
Operación de aeronaves	Perfil 141 Aircraft-jet fuel. ^b
Locomotoras	Perfil 6099 Off road diesel vehicle exhaust ^b
Terminales de Autobuses de pasajeros	Modelo de emisiones MOVES-CDMX, desarrollado por ERG-SEDEMA 2016.
Rellenos sanitarios quema de biogás	FIRE-EPA. ^c
Incendios en estructuras	Perfil 463 Unplanned structural fires ^b
Combustión residencial (leña)	Perfil 91105 Residential Wood Combustion – Composite ^a
Incendios Forestales	Perfil 463 Forest management burning ^b
Combustión de equipos agrícolas (GLP)	Perfil 120 Gaseous Material Combustion ^b
Asados al carbón	Perfil 4048 Cooking ^a
Quemas agrícolas	Perfil 91103 Agricultural Burning - Composite ^a
Maquinaria	Perfil 3858 Diesel Exhaust ^a
Corrales de engorda	Perfil 423 Livestock operations dust ^b
Labranza agrícola	Vega, 2001. Chemical composition of fugitive dust emitters in Mexico City
Actividades de construcción	Perfil 420 construction dust ^b
Tratamiento biológico de residuos (biodigestión)	FIRE-EPA. ^c
Ladrilleras	Perfil 95008 Brick Making Kiln ^a
Quema a cielo abierto	Perfil 95007 Garbage burning ^a
Quemas controladas	Perfil 91109 Agricultural Burning - Composite ^a
Combustión comercial-institucional (Carbón)	Perfil 4048 Cooking ^a
Combustión industrial (GLP)	Perfil 120 Gaseous material combustion ^b
Combustión industrial (diésel)	Perfil 112 Fuel combustion-distillate ^b
Vialidades pavimentadas	Vega, 2001. Chemical composition of fugitive dust emitters in Mexico City
Vialidades sin pavimentar	Vega, 2001. Chemical composition of fugitive dust emitters in Mexico City

^a U.S. Speciate V.5.3

^b California Emission Inventory and Reporting System (CEIDARS)

^c Factor Information Retrieval (FIRE) V6.25, consultado en <https://cfpub.epa.gov/webfire/index.cfm?action=fire.downloadInBulk>

Capítulo 3 FUENTES MÓVILES



FUENTES MÓVILES

La elaboración de inventarios de emisiones de fuentes móviles exige el análisis y procesamiento de información conforme a los requerimientos del modelo MOVES, el cual permite estimar los factores de emisión o, en su caso, las emisiones directas del inventario de emisiones de la CDMXyZC 2022.

La estimación de las emisiones de las fuentes móviles se calcula utilizando la Ecuación 3-1, la cual requiere de factores de emisión aplicados a un dato de actividad. Los factores de emisión son coeficientes que relacionan la cantidad de contaminante que son liberados a la atmósfera por los vehículos. Estos se relacionan con la actividad vehicular (kilómetros recorridos por vehículo, KRV) y pueden tener variaciones según el tipo de vehículo, las condiciones de operación (velocidad, aceleración), el tipo de combustible y la edad del vehículo.

Ecuación 3-1. FE, combustión, emisión sin control

$$E_{ijk} = (KRV_{ij})(FE_{ijl})/1,000,000$$

Dónde:

- E_{ijk} = emisión del tipo de vehículo i, año modelo j, del contaminante k [t/año].
- KRV_{ij} = kilómetros recorridos por el tipo de vehículo i, año modelo j [km/año].
- FE_{ijl} = factor de emisión del tipo de vehículo i, año modelo j, del contaminante k [g/km].
- 1,000,000 = factor de conversión de gramos a toneladas.

Para obtener las variables descritas en la ecuación anterior, es necesario contar con información como número de vehículos desagregados por tipo, uso y combustible utilizado, propiedades químicas del combustible y kilómetros diarios recorridos por tipo de vehículo. La Figura 3-1 muestra el proceso general de desarrollo del inventario de fuentes móviles.



Figura 3-1. Proceso de desarrollo del inventario de fuentes móviles de la CDMXyZC, 2022

Flota vehicular

El Inventario de Emisiones de la Ciudad de México tiene un parque vehicular de 2.5 millones, que se integró principalmente con los registros de los Programas de Verificación Vehicular 2021-2022, junto con datos del transporte público proporcionados por la Secretaría de Movilidad de la Ciudad de México (SEMOVI), RTP y Metrobús.

En lo que respecta a los 59 municipios conurbados del Estado de México, la flota se estimó con información de la Comisión Ambiental de la Megalópolis (CAME) para vehículos ligeros y con el cálculo de 300 mil unidades de transporte público de ruta estimado por la Dirección de Control de Emisiones Atmosféricas de la Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible del Estado de México; para el resto de los vehículos se hizo una proyección con datos históricos de la entidad. Con lo cual se tiene una estimación del parque vehicular de 5.1 millones.

Cabe señalar que ambas entidades consideran una proporción de flota foránea obtenida de los aforos de la Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes, y datos obtenidos en campañas de sensor remoto 2023, de más de 588 mil unidades.

Finalmente, el municipio de Tizayuca cuenta con un parque vehicular de más de 30 mil unidades en circulación, esto se obtuvo de las bases de verificación vehicular 2022 y del padrón vehicular entregado por la SEMARNATH.

Para las tablas que se presentan en esta memoria se consideran las siguientes nomenclaturas, AP: Autos particulares, TAX: Taxis, SUV: Camionetas SUV, VAN: Vagonetas, MIC: Microbuses/Midibuses, V≤3.8t: Vehículos de carga hasta 3.8 toneladas, TRA: Tractocamiones, AUT: Autobuses, V>3.8t: Vehículos mayores a 3.8 toneladas, MC: Motocicletas, MB/MXB: Metrobús/Mexibús.

En las siguientes tablas, se presenta la desagregación de la flota vehicular por tipo de vehículo, combustible y tecnología estimada para la CDMXyZC y para cada entidad.

Tabla 3-1. Flota vehicular por tipo de combustible y tecnología para la CDMXyZC, 2022

Tipo de vehículo	Gasolina	Diésel	GLP	GNC	Híbridos	Eléctricos	Total
AP	3,905,298	32,180	5,485	N/A	53,303	2,644	3,998,910
SUV	1,327,286	33,909	1,977	N/A	22,472	957	1,386,601
TAX	207,901	1,214	29	42	1,062	49	210,297
VAN	216,402	21,233	762	19	N/A	N/A	238,416
MIC	36,828	1,244	5,285	2,279	N/A	N/A	45,636
V≤3.8t	30,535	17,107	1,124	N/A	20	1,223	50,009
TRA	N/A	9,643	N/A	N/A	N/A	N/A	9,643
AUT	7,469	59,670	699	233	N/A	N/A	68,071
V>3.8t	69,760	46,590	5,697	N/A	915	1	122,963
MC	1,504,466	N/A	N/A	N/A	N/A	725	1,505,191
MB/MXB	N/A	1,153	N/A	N/A	N/A	10	1,163
Total	7,305,945	223,943	21,058	2,573	77,772	5,609	7,636,900

N/A: no aplica

MEMORIA DE CÁLCULO

Tabla 3-2. Flota vehicular por tipo de combustible y tecnología para la CDMX, 2022

Tipo de Vehículo	Gasolina	Diésel	GLP	GNC	Híbridos	Eléctricos	Total
AP	1,139,138	3,379	18	N/A	34,036	2,215	1,178,786
SUV	461,475	7,964	8	N/A	17,104	853	487,404
TAX	120,434	930	13	42	1,060	49	122,528
VAN	9,578	4,219	227	19	N/A	N/A	14,043
MIC	9,399	369	3,449	2,279	N/A	N/A	15,496
V≤3.8t	9,169	3,099	11	N/A	20	171	12,470
TRA	N/A	4,056	N/A	N/A	N/A	N/A	4,056
AUT	470	15,996	279	233	N/A	N/A	16,978
V>3.8t	7,726	15,022	71	N/A	N/A	1	22,820
MC	589,595	N/A	N/A	N/A	N/A	202	589,797
MB/MXB	N/A	868	N/A	N/A	N/A	10	878
Total	2,346,984	55,902	4,076	2,573	52,220	3,501	2,465,256

N/A: no aplica

Tabla 3-3. Flota vehicular por tipo de combustible y tecnología para el EDOMEX, 2022

Tipo de Vehículo	Gasolina	Diésel	GLP	GNC	Híbridos	Eléctricos	Total
AP	2,752,676	28,712	5,465	N/A	19,224	424	2,806,501
SUV	860,429	25,825	1,965	N/A	5,340	99	893,658
TAX	86,984	284	16	N/A	2	N/A	87,286
VAN	206,466	17,002	535	N/A	N/A	N/A	224,003
MIC	27,402	869	1,836	N/A	N/A	N/A	30,107
V≤3.8t	17,548	13,801	1,055	N/A	N/A	1,052	33,456
TRA	N/A	5,478	N/A	N/A	N/A	N/A	5,478
AUT	6,996	43,621	420	N/A	N/A	N/A	51,037
V>3.8t	61,545	31,018	5,524	N/A	915	N/A	99,002
MC	909,629	N/A	N/A	N/A	N/A	521	910,150
MB/MXB	N/A	285	N/A	N/A	N/A	N/A	285
Total	4,929,675	166,895	16,816	0	25,481	2,096	5,140,963

N/A: no aplica

Tabla 3-4. Flota vehicular por tipo de combustible y tecnología en Tizayuca, 2022

Tipo de Vehículo	Gasolina	Diésel	GLP	GNC	Híbridos	Eléctricos	Total
AP	13,484	89	2	N/A	43	5	13,623
SUV	5,382	120	4	N/A	28	5	5,539
TAX	483	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	483
VAN	358	12	N/A	N/A	N/A	N/A	370
MIC	27	6	N/A	N/A	N/A	N/A	33
V≤3.8t	3,818	207	58	N/A	N/A	N/A	4,083
TRA	N/A	109	N/A	N/A	N/A	N/A	109
AUT	3	53	N/A	N/A	N/A	N/A	56
V>3.8t	489	550	102	N/A	N/A	N/A	1,141
MC	5,242	N/A	N/A	N/A	N/A	2	5,244
MB/MXB	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0
Total	29,286	1,146	166	0	71	12	30,681

N/A: no aplica

La flota de la CDMXyZC cuenta con una edad promedio de 9.6 años para los vehículos particulares, 14 años para el transporte de carga y casi 8 años para el transporte público. En las Tablas 3-5, 3-6, 3-7 y 3-8 se muestra la flota por año modelo de cada entidad.

Tabla 3-5. Flota vehicular por año modelo de la CDMXyZC, 2022

Año Modelo	Número de vehículos											Total
	AP	SUV	TAX	VAN	MIC	V ≤ 3.8t	TRA	AUT	V > 3.8t	MC	MB/MXB	
1992 y ant	121,228	22,269	155	1,334	14,625	3,757	1,936	1,302	19,989	13,957	N/A	200,552
1993	27,236	6,206	40	409	1,913	454	166	201	2,786	1,889	N/A	41,300
1994	25,400	9,562	25	277	2,239	466	172	188	2,992	1,748	N/A	43,069
1995	28,804	9,706	38	332	417	349	117	86	2,206	1,327	N/A	43,382
1996	19,592	14,176	19	181	173	281	48	48	1,495	1,302	N/A	37,315
1997	17,663	21,523	8	313	222	400	148	470	1,358	1,673	N/A	43,778
1998	32,028	20,426	43	144	105	470	180	167	2,171	2,223	N/A	57,957
1999	47,882	22,958	104	232	95	434	210	267	2,646	2,751	N/A	77,579
2000	45,478	19,507	87	415	182	520	240	771	3,107	4,796	N/A	75,103
2001	58,886	22,399	95	361	213	471	286	1,211	3,036	6,079	N/A	93,037
2002	72,128	23,540	280	1,059	579	548	133	1,667	3,175	8,609	N/A	111,718
2003	75,863	23,525	405	1,132	521	428	181	1,364	2,699	11,730	N/A	117,848
2004	76,090	24,413	403	1,798	569	597	199	1,563	2,665	12,122	N/A	120,419
2005	87,156	27,853	593	2,675	957	632	344	1,521	2,720	16,060	N/A	140,511
2006	98,442	36,207	841	3,011	935	756	384	2,341	2,989	26,915	2	172,823
2007	150,025	56,092	898	5,386	1,202	1,321	483	2,049	3,645	26,890	30	248,021
2008	171,287	65,236	1,580	4,427	1,736	1,453	433	3,109	4,191	37,438	14	290,904
2009	172,563	58,457	4,157	11,010	1,731	2,004	421	4,497	4,727	26,653	N/A	286,220
2010	147,777	48,463	3,752	11,006	4,057	1,567	201	3,223	3,402	38,472	54	261,974
2011	140,832	52,185	6,292	6,832	2,326	1,540	318	3,376	3,224	50,149	67	267,141
2012	170,746	53,305	8,700	9,777	1,651	1,867	428	1,472	4,096	63,638	79	315,759
2013	245,204	67,592	11,223	10,705	2,238	1,337	371	3,220	3,506	72,141	41	417,578
2014	263,779	82,876	14,161	12,734	1,221	1,787	276	2,982	3,542	82,692	29	466,079
2015	276,525	93,645	19,914	12,501	774	1,976	213	2,644	4,549	89,362	185	502,288
2016	312,510	99,109	25,499	21,121	717	1,878	222	4,052	4,741	104,475	154	574,478
2017	319,864	98,200	33,291	17,012	602	2,672	261	5,004	5,393	104,672	41	587,012
2018	261,023	78,349	34,556	16,728	697	5,435	306	4,015	4,612	116,736	82	522,539
2019	227,226	74,740	21,286	28,714	834	6,402	245	3,174	4,918	121,853	133	489,525
2020	122,762	47,372	14,800	18,605	1,541	4,331	269	2,828	3,950	116,564	70	333,092
2021	109,615	45,766	4,044	24,795	504	1,189	133	2,813	6,080	134,212	93	329,244
2022	73,296	60,944	3,008	13,390	60	2,687	319	6,446	2,353	206,063	89	368,655
Total	3,998,910	1,386,601	210,297	238,416	45,636	50,009	9,643	68,071	122,963	1,505,191	1,163	7,636,900

N/A: no aplica

Tabla 3-6. Flota vehicular por año modelo de la CDMX, 2022

Año Modelo	Número de vehículos											Total
	AP	SUV	TAX	VAN	MIC	V ≤ 3.8t	TRA	AUT	V > 3.8t	MC	MB/MXB	
1992 y ant	8,989	1,117	119	627	13,588	256	873	791	3,951	5,081	N/A	35,392
1993	3,052	423	29	153	871	54	76	134	430	765	N/A	5,987
1994	3,174	629	18	75	136	48	75	93	586	741	N/A	5,575
1995	2,295	799	11	94	61	44	52	76	241	481	N/A	4,154
1996	1,631	1,182	1	59	24	52	27	38	136	451	N/A	3,601
1997	3,503	1,506	4	108	103	128	62	457	335	563	N/A	6,769
1998	6,764	2,506	12	109	75	132	80	105	360	943	N/A	11,086
1999	8,424	2,190	8	77	65	120	88	153	726	1,162	N/A	13,013
2000	9,988	3,298	10	225	92	234	106	601	845	1,969	N/A	17,368
2001	12,762	3,939	15	206	35	137	116	872	555	2,425	N/A	21,062
2002	14,647	4,389	21	266	47	251	54	1,040	844	3,567	N/A	25,126
2003	14,272	4,826	28	250	77	163	78	871	475	4,637	N/A	25,677
2004	17,473	5,889	55	288	65	173	85	1,013	435	4,971	N/A	30,447
2005	21,556	9,349	126	778	39	216	149	845	470	6,524	N/A	40,052
2006	22,199	10,218	177	398	18	270	156	1,397	645	9,766	2	45,246
2007	27,390	13,659	226	601	19	505	205	690	855	11,088	30	55,268
2008	31,219	13,726	690	675	21	469	187	809	1,186	15,208	14	64,204
2009	31,092	12,754	2,602	524	13	511	158	1,101	723	11,635	N/A	61,113
2010	33,464	14,711	2,205	569	32	277	66	231	511	16,109	35	68,210
2011	37,457	18,654	4,153	559	16	410	108	597	841	23,678	67	86,540
2012	54,312	19,028	5,689	565	20	411	155	624	660	31,296	26	112,786
2013	80,171	27,426	7,377	690	15	479	156	425	565	33,227	41	150,572
2014	79,422	30,361	9,270	910	4	553	121	464	442	38,837	29	160,413
2015	103,066	31,949	14,334	832	3	524	100	383	932	39,460	122	191,705
2016	100,481	29,701	18,229	609	2	587	100	782	940	44,710	130	196,271
2017	96,582	30,725	19,738	1,176	9	653	104	750	1,115	42,280	40	193,172

MEMORIA DE CÁLCULO

Año Modelo	Número de vehículos											Total
	AP	SUV	TAX	VAN	MIC	V ≤ 3.8t	TRA	AUT	V > 3.8t	MC	MB/MXB	
2018	99,120	37,194	16,796	726	41	872	119	348	742	48,604	38	204,600
2019	80,458	39,466	8,740	950	3	778	104	279	783	48,686	128	180,375
2020	69,224	27,294	7,096	425	1	707	113	294	415	36,521	69	142,159
2021	43,275	31,182	2,221	140	N/A	777	39	199	297	36,022	78	114,230
2022	61,324	57,314	2,528	379	1	1,679	144	516	779	68,390	29	193,083
Total	1,178,786	487,404	122,528	14,043	15,496	12,470	4,056	16,978	22,820	589,797	878	2,465,256

N/A: no aplica

Tabla 3-7. Flota vehicular por año modelo para el Estado de México, 2022

Año Modelo	Número de vehículos											Total
	AP	SUV	TAX	VAN	MIC	V ≤ 3.8t	TRA	AUT	V > 3.8t	MC	MB/MXB	
1992 y ant	110,981	20,931	34	706	1,032	2,514	1,030	478	15,638	8,868	N/A	162,212
1993	23,991	5,690	11	256	1,041	262	87	65	2,331	1,122	N/A	34,856
1994	22,003	8,826	7	202	2,102	278	96	94	2,369	1,006	N/A	36,983
1995	26,344	8,754	25	238	355	195	64	9	1,944	844	N/A	38,772
1996	17,841	12,742	15	122	148	152	21	9	1,335	850	N/A	33,235
1997	13,940	19,825	4	203	119	136	84	11	1,003	1,110	N/A	36,435
1998	24,957	17,728	30	35	30	223	96	61	1,793	1,278	N/A	46,231
1999	39,129	20,630	95	155	30	224	115	114	1,871	1,587	N/A	63,950
2000	35,114	16,043	75	190	89	188	128	170	2,215	2,822	N/A	57,034
2001	45,649	18,285	80	155	178	212	164	339	2,442	3,644	N/A	71,148
2002	56,962	19,017	253	792	532	203	77	627	2,296	5,037	N/A	85,796
2003	61,125	18,551	376	882	444	174	101	493	2,205	7,083	N/A	91,434
2004	58,114	18,373	344	1,510	503	334	113	550	2,210	7,139	N/A	89,190
2005	64,993	18,285	462	1,896	918	285	187	675	2,228	9,512	N/A	99,441
2006	75,738	25,848	661	2,612	916	387	216	944	2,314	17,123	N/A	126,759
2007	122,133	42,230	666	4,774	1,183	698	275	1,359	2,750	15,779	N/A	191,847
2008	139,565	51,328	875	3,744	1,715	875	241	2,299	2,956	22,201	N/A	225,799
2009	141,095	45,572	1,548	10,481	1,717	1,374	260	3,394	3,990	15,001	N/A	224,432
2010	113,969	33,630	1,534	10,413	4,024	1,213	133	2,990	2,876	22,342	19	193,143
2011	103,024	33,394	2,131	6,253	2,309	1,014	207	2,779	2,359	26,442	N/A	179,912
2012	115,967	34,158	2,978	9,167	1,629	1,387	271	848	3,422	32,264	53	202,144
2013	164,521	39,985	3,815	9,990	2,221	768	214	2,794	2,931	38,834	N/A	266,073
2014	183,941	52,368	4,853	11,795	1,214	1,142	155	2,516	3,091	43,750	N/A	304,825
2015	172,886	61,524	5,536	11,650	770	1,377	112	2,261	3,607	49,779	63	309,565
2016	211,399	69,194	7,232	20,471	712	1,150	121	3,268	3,754	59,515	24	376,840
2017	222,666	67,236	13,483	15,784	592	1,926	157	4,253	4,246	62,074	1	392,418
2018	161,223	40,876	17,694	15,976	652	4,438	187	3,665	3,842	67,734	44	316,331
2019	146,338	34,980	12,513	27,746	830	5,505	141	2,895	4,118	72,508	5	307,579
2020	53,186	19,945	7,679	18,158	1,540	3,540	156	2,533	3,522	79,290	1	189,550
2021	66,057	14,381	1,814	24,648	503	357	94	2,614	5,778	97,280	15	213,541
2022	11,650	3,329	463	12,999	59	925	175	5,930	1,566	136,332	60	173,488
Total	2,806,501	893,658	87,286	224,003	30,107	33,456	5,478	51,037	99,002	910,150	285	5,140,963

N/A: no aplica

Tabla 3-8. Flota vehicular por año modelo para Tizayuca, 2022

Año Modelo	Número de vehículos											Total
	AP	SUV	TAX	VAN	MIC	V ≤ 3.8t	TRA	AUT	V > 3.8t	MC	MB/MXB	
1992 y ant	1,258	221	2	1	5	987	33	33	400	8	N/A	2,948
1993	193	93	N/A	N/A	1	138	3	2	25	2	N/A	457
1994	223	107	N/A	N/A	1	140	1	1	37	1	N/A	511
1995	165	153	2	N/A	1	110	1	1	21	2	N/A	456
1996	120	252	3	N/A	1	77	N/A	1	24	1	N/A	479
1997	220	192	N/A	2	N/A	136	2	2	20	N/A	N/A	574
1998	307	192	1	N/A	N/A	115	4	1	18	2	N/A	640
1999	329	138	1	N/A	N/A	90	7	N/A	49	2	N/A	616
2000	376	166	2	N/A	1	98	6	N/A	47	5	N/A	701
2001	475	175	N/A	N/A	N/A	122	6	N/A	39	10	N/A	827
2002	519	134	6	1	N/A	94	2	N/A	35	5	N/A	796

Inventario de Emisiones de la Ciudad de México y su Zona Conurbada 2022

Año Modelo	Número de vehículos											
	AP	SUV	TAX	VAN	MIC	V ≤ 3.8t	TRA	AUT	V > 3.8t	MC	MB/MXB	Total
2003	466	148	1	N/A	N/A	91	2	N/A	19	10	N/A	737
2004	503	151	4	N/A	1	90	1	N/A	20	12	N/A	782
2005	607	219	5	1	N/A	131	8	1	22	24	N/A	1,018
2006	505	141	3	1	1	99	12	N/A	30	26	N/A	818
2007	502	203	6	11	N/A	118	3	N/A	40	23	N/A	906
2008	503	182	15	8	N/A	109	5	1	49	29	N/A	901
2009	376	131	7	5	1	119	3	2	14	17	N/A	675
2010	344	122	13	24	1	77	2	2	15	21	N/A	621
2011	351	137	8	20	1	116	3	N/A	24	29	N/A	689
2012	467	119	33	45	2	69	2	N/A	14	78	N/A	829
2013	512	181	31	25	2	90	1	1	10	80	N/A	933
2014	416	147	38	29	3	92	N/A	2	9	105	N/A	841
2015	573	172	44	19	1	75	1	N/A	10	123	N/A	1,018
2016	630	214	38	41	3	141	1	2	47	250	N/A	1,367
2017	616	239	70	52	1	93	N/A	1	32	318	N/A	1,422
2018	680	279	66	26	4	125	N/A	2	28	398	N/A	1,608
2019	430	294	33	18	1	119	N/A	N/A	17	659	N/A	1,571
2020	352	133	25	22	N/A	84	N/A	1	13	753	N/A	1,383
2021	283	203	9	7	1	55	N/A	N/A	5	910	N/A	1,473
2022	322	301	17	12	N/A	83	N/A	N/A	8	1,341	N/A	2,084
Total	13,623	5,539	483	370	33	4,083	109	56	1,141	5,244	N/A	30,681

N/A: no aplica

Actividad vehicular

La actividad vehicular se determina a través de los Kilómetros Recorridos por Vehículo (KRV), su estimación se basa en la distancia promedio recorrida diariamente, el número de días de circulación al año y la cantidad de unidades clasificadas por año modelo.

Los KRV constituyen un indicador clave que no solo refleja el nivel de movilidad en las vialidades y la evolución del tránsito, sino que también permite analizar los patrones de uso de energía en el sector transporte.

El total de kilómetros anuales depende tanto del tipo y modelo del vehículo, así como del holograma que porta, el cual se asigna conforme a lo establecido en el Programa de Verificación Vehicular Obligatorio (PVVO) vigente, de acuerdo con el nivel de emisiones de cada unidad.

Para determinar la actividad de los vehículos ligeros en la Ciudad de México (automóviles, camionetas SUV, pickup particulares y vehículos de carga ligera), se tomaron los datos de odómetro de las bases de verificación 2022 del PVVO. El odómetro es un sistema mecánico o electrónico que contabiliza la distancia recorrida desde que el vehículo es puesto en funcionamiento y/o marcha; ayuda a determinar el estado general de un automóvil para planificar mantenimientos preventivos.

Para este inventario se realizó un ajuste en la actividad con base en encuestas para determinar la diferencia de recorrido entre vehículos de la Ciudad de México y Estado de México. Las Tablas 3-9, 3-10 y 3-11, muestran los datos de actividad utilizados para el cálculo del Inventario de Emisiones de la CDMXyZC, 2022.

MEMORIA DE CÁLCULO

Tabla 3-9. Actividad diaria por año modelo para vehículos ligeros

Año Modelo	Ciudad de México				Estado de México			
	AP	SUV	Pick Up	V≤3.8t	AP	SUV	Pick Up	V≤3.8t
1992 y ant.	18	18	25	26	18	18	25	26
1993	20	18	25	26	20	18	25	26
1994	20	18	25	26	20	18	25	26
1995	20	18	25	26	20	18	25	26
1996	20	18	25	26	20	18	25	26
1997	20	18	25	26	20	18	25	26
1998	20	18	25	26	20	18	25	26
1999	20	19	25	26	20	19	25	26
2000	20	19	25	26	20	19	25	26
2001	20	21	25	26	20	21	25	26
2002	21	21	25	26	21	21	25	26
2003	21	21	25	26	21	21	25	26
2004	22	21	25	26	22	21	25	26
2005	23	23	25	26	23	23	25	26
2006	23	23	25	26	23	23	25	26
2007	23	23	25	26	23	23	25	26
2008	23	23	25	26	23	23	25	26
2009	23	23	25	26	23	23	25	26
2010	23	23	25	26	23	23	25	26
2011	23	23	25	26	23	23	25	26
2012	23	23	25	29	23	23	25	29
2013	23	23	25	29	23	23	25	29
2014	23	23	27	30	23	23	27	30
2015	25	23	30	34	25	23	30	34
2016	28	25	33	36	28	25	33	36
2017	31	27	35	39	31	27	35	39
2018	34	27	40	43	34	27	40	43
2019	35	33	45	48	46	43	59	62
2020	35	33	44	58	46	43	57	76
2021	47	44	51	58	62	57	66	76
2022	47	44	51	94	62	57	66	122

Tabla 3-10. Actividad de la flota vehicular

Tipo de Vehículo	km/día
RTP Día Hábil ¹	221
RTP Día Inhabil ¹	237
Concesionados ²	192
AUT foráneos ⁴	57
VAN ²	200
MIC ²	200
V>3.8t ⁵	63
V≤3.8t ⁵	65
MC ²	79
TAX ²	225
MB día Hábil ⁶	273
MB día Inhabil ⁶	295
AUT Escolares y de personal ³	80

1. RTP, 2023. Base de datos del padrón de unidades y datos de actividad diaria de RTP 2022. Red de Transporte de Pasajeros de la Ciudad de México (RTP). Información recibida por medio del oficio RTP/DEOM/1675/2023, con fecha del 08 de septiembre del 2023.
 2. COMETRAVI. (1997). Definición de políticas de modernización, inspección, sustitución, eliminación definitiva, adaptación de vehículos y combustibles alternos. México, D.F.
 3. Programa de Transporte Escolar (PROTE) de la Ciudad de México 2018.
 4. SCT, 2023. Determinación propia con información de aforos vehiculares 2022 publicados por SCT 2023.
 5. EIMTCA-MAVM. Proyecto de realización del estudio matriz origen-destino para el transporte de carga, Informe Final septiembre, 2006.
 6. MB, 2023. Padrón de unidades del Sistema Metrobús y datos de actividad diaria 2022. Dirección Ejecutiva de Planeación, Evaluación y Tecnologías de Información del Metrobús. Información recibida por oficio MB/DEPETI/GPEA/023/2023 con fecha de 04 de septiembre del 2023 por medio de correo electrónico.

Tabla 3-11. Días de circulación utilizados para la obtención de kilómetros recorridos

Veh. Particular Días/año	Veh. Pasaje Días/año	Veh. Carga Días/año	Holograma
365	365	365	Doble Cero
365	365	365	Cero
289	301	289	Uno
261	301	261	Dos

Con los datos del recorrido diario, los días al año y el número de vehículos por año modelo, se obtuvieron los kilómetros recorridos (KRV) por tipo de vehículo, año modelo y combustible, a partir de la siguiente ecuación:

Ecuación 3-2. Cálculo de los kilómetros recorridos (KRV)

$$KRV_{ij} = (KD_i)(NV_{ij})(DT_i)$$

Dónde:

KRV_{ij} = Kilómetros recorridos por el tipo de vehículo i, del año modelo j [km/año].

KD_i = Kilómetros recorridos al día por el tipo de vehículo i [km/día].

NV_{ij} = Número de vehículos del tipo i, del año modelo j.

DT_i = Días por año en que circulan los vehículos del tipo i [días/año].

A continuación, se muestra el ejemplo de cálculo de los KRV para un vehículo tipo SUV a gas LP; año modelo 1992, con holograma dos en la CDMX:

Variable	Valor	Ciudad de México. Descripción
KD_i [km/día]	18	Dato para vehículos tipo SUV año modelo 1992.
No. Vehículos	4	Número de vehículos correspondiente a los vehículos tipo SUV a Gas LP año modelo 1992 de la Ciudad de México, obtuvieron holograma dos en el PVVO.
DT_i [días/año]	261	Días totales de circulación al año para vehículos con holograma dos.

Sustituyendo los valores anteriores, tenemos:

$$KRV_{SUV,1992} = (18 \text{ km/día}) (4 \text{ vehículos}) (261 \text{ días/año}) = \mathbf{18,676 \text{ Km/año}}$$

Las Tablas 3-12, 3-14 y 3-15 presentan la actividad estimada para el inventario de emisiones CDMXyZC año base 2022, en millones de kilómetros recorridos.

Tabla 3-12. KRV por tipo de vehículo y año modelo para la CDMXyZC, 2022

Año Modelo	Millones de Kilómetros recorridos al año (KRV) en la CDMXyZC											
	AP	SUV	TAX	VAN	MIC	V ≤ 3.8t	TRA	AUT	V > 3.8t	MC	MB/MXB	Total
1992 y ant.	665.7	104.0	8.1	85.0	884.0	25.9	87.8	37.5	460.6	345.1	N/A	2,703.7
1993	153.6	29.0	2.0	25.9	114.6	3.1	7.5	4.9	55.8	46.7	N/A	443.1
1994	145.2	45.0	1.1	17.0	134.7	3.2	7.9	6.5	55.3	43.2	N/A	459.0
1995	179.6	50.1	2.5	20.5	25.1	2.5	5.3	3.5	35.2	32.8	N/A	357.1
1996	122.8	73.2	1.2	11.3	10.4	2.0	2.2	1.8	21.8	32.2	N/A	279.0
1997	110.5	111.2	0.6	18.8	13.4	2.9	6.7	25.3	24.8	41.4	N/A	355.5
1998	199.6	104.1	2.9	9.0	6.3	3.5	8.1	5.7	36.4	55.0	N/A	430.6
1999	290.7	124.3	7.0	14.1	5.7	3.2	9.3	9.7	44.7	68.0	N/A	576.8
2000	275.5	109.7	5.8	24.1	11.0	3.8	10.7	35.8	53.0	118.6	N/A	648.0
2001	355.8	136.4	5.9	20.8	12.8	3.4	12.9	56.2	53.4	150.3	N/A	807.9
2002	439.7	143.4	17.8	62.6	34.9	4.0	5.9	79.6	52.9	212.9	N/A	1,053.5
2003	476.6	143.3	26.3	67.9	31.4	3.1	8.2	66.3	45.8	290.0	N/A	1,158.8
2004	495.6	148.9	24.9	107.7	34.3	4.4	9.0	79.1	45.1	299.7	N/A	1,248.8
2005	595.6	182.9	34.7	160.7	57.6	4.6	15.3	78.3	47.8	397.1	N/A	1,574.7
2006	703.0	260.2	46.9	181.3	56.3	6.0	16.9	116.2	53.1	665.5	0.1	2,105.5
2007	1,273.8	470.1	63.4	324.6	72.4	11.5	21.6	106.6	64.0	664.9	1.5	3,074.3
2008	1,455.8	548.4	115.0	272.6	107.0	12.9	19.6	173.7	76.5	925.7	0.8	3,708.0
2009	1,468.0	492.8	306.8	684.9	106.4	18.7	19.1	243.8	73.2	659.0	N/A	4,072.7

MEMORIA DE CÁLCULO

Año Modelo	Millones de Kilómetros recorridos al año (KRV) en la CDMXyZC											Total
	AP	SUV	TAX	VAN	MIC	V ≤ 3.8t	TRA	AUT	V > 3.8t	MC	MB/MXB	
2010	1,256.9	408.4	290.4	685.4	251.4	14.7	9.2	175.1	50.7	951.3	4.5	4,098.0
2011	1,196.2	439.7	486.0	426.9	144.3	14.4	14.4	193.6	53.1	1,240.0	3.4	4,212.1
2012	1,450.1	449.2	687.5	610.4	102.5	19.0	19.6	77.0	63.1	1,573.6	12.0	5,063.9
2013	2,077.6	569.8	888.3	670.1	138.9	13.8	17.0	185.6	53.7	1,783.8	2.2	6,400.7
2014	2,241.1	698.8	1,123.2	798.7	75.6	19.2	12.7	171.0	53.1	2,044.7	1.5	7,239.7
2015	2,566.6	789.8	1,563.8	783.9	48.2	24.0	9.7	151.5	68.6	2,209.7	16.8	8,232.5
2016	3,173.6	900.8	1,979.8	1,319.9	44.7	24.0	10.1	229.1	73.2	2,583.4	6.9	10,345.5
2017	3,588.4	958.3	2,608.2	1,067.4	37.6	37.2	12.0	286.4	81.3	2,588.2	2.4	11,267.4
2018	3,235.1	764.0	2,708.9	1,047.9	43.6	84.9	14.0	231.0	73.4	2,886.5	8.6	11,097.9
2019	3,389.6	989.2	1,663.0	1,794.9	51.9	139.9	11.2	177.2	76.4	3,013.1	7.9	11,314.5
2020	1,718.0	602.2	1,141.2	1,164.0	95.9	113.6	12.3	157.5	56.9	2,882.3	3.7	7,947.6
2021	2,120.0	774.0	315.1	1,546.5	31.4	27.1	6.1	162.7	82.8	3,318.7	6.7	8,391.0
2022	1,314.3	984.9	232.1	838.1	3.7	100.4	14.6	376.7	42.1	5,095.3	16.8	9,019.2
Total	38,735.0	12,606.0	16,360.0	14,862.0	2,788.0	751.0	437.0	3,705.0	2,128.0	37,219.0	96.0	129,687.1

N/A: no aplica

Tabla 3-13. KRV por tipo de vehículo y año modelo para la CDMX, 2022

Año Modelo	Millones de Kilómetros recorridos al año (KRV) en la Ciudad de México											Total
	AP	SUV	TAX	VAN	MIC	V ≤ 3.8t	TRA	AUT	V > 3.8t	MC	MB/MXB	
1992 y ant	47.6	5.2	5.7	42.3	820.6	1.8	39.9	23.4	128.4	125.6	N/A	1,240.6
1993	16.7	2.0	1.3	10.5	51.7	0.4	3.5	3.5	11.8	18.9	N/A	120.2
1994	19.0	3.2	0.6	4.8	8.1	0.4	3.4	2.7	13.4	18.3	N/A	73.9
1995	13.7	4.1	0.7	6.1	3.7	0.3	2.4	3.2	6.1	11.9	N/A	52.2
1996	9.9	6.1	0.0	4.0	1.4	0.4	1.2	1.6	3.1	11.2	N/A	38.9
1997	21.1	7.8	0.3	6.4	6.2	0.9	2.8	25.0	7.6	13.9	N/A	92.1
1998	40.3	12.8	0.8	6.8	4.5	1.0	3.7	3.2	9.1	23.3	N/A	105.5
1999	49.0	11.8	0.5	4.8	3.9	0.9	3.9	5.5	15.4	28.7	N/A	124.5
2000	59.0	18.5	0.7	12.6	5.6	1.7	4.8	31.0	17.9	48.7	N/A	200.6
2001	75.7	24.0	0.5	11.4	2.1	1.0	5.3	44.9	13.9	60.0	N/A	238.8
2002	88.2	26.7	0.4	14.8	2.8	1.8	2.4	54.8	17.0	88.2	N/A	297.1
2003	89.0	29.4	0.7	14.7	4.6	1.2	3.5	44.0	11.3	114.7	N/A	313.1
2004	113.3	36.0	1.6	16.7	3.9	1.3	3.8	53.3	10.9	122.9	N/A	363.8
2005	147.3	61.6	3.3	46.5	2.3	1.6	6.6	44.5	12.2	161.3	N/A	487.2
2006	187.7	85.9	4.5	23.9	1.1	2.4	6.8	70.5	15.0	241.5	0.1	639.3
2007	232.0	115.0	9.8	36.4	1.1	4.5	8.9	35.6	19.2	274.2	1.5	738.3
2008	264.6	115.7	44.9	41.4	1.3	4.4	8.5	47.0	25.9	376.0	0.8	930.6
2009	263.2	107.5	185.4	34.0	0.8	4.6	7.2	58.2	16.0	287.7	N/A	964.6
2010	283.3	124.1	169.6	35.7	2.2	2.6	3.0	11.8	11.0	398.3	1.8	1,043.4
2011	317.3	157.4	321.1	36.2	1.1	3.8	4.9	32.0	16.1	585.5	3.4	1,478.7
2012	459.6	160.6	455.3	36.5	1.3	4.1	7.1	32.8	14.6	773.9	1.5	1,947.3
2013	678.3	231.5	591.1	45.9	1.0	5.1	7.1	23.3	12.1	821.6	2.2	2,419.1
2014	671.4	256.3	744.2	61.6	0.3	6.0	5.5	23.8	9.4	960.3	1.5	2,740.4
2015	953.3	269.6	1,137.9	56.0	0.2	6.4	4.6	20.9	17.4	975.7	6.3	3,448.4
2016	1,018.6	270.2	1,416.0	41.3	0.1	7.6	4.5	38.2	17.9	1,105.5	6.4	3,926.6
2017	1,080.4	300.1	1,539.8	79.4	0.6	9.1	4.8	36.4	21.0	1,045.5	2.2	4,119.2
2018	1,226.3	363.2	1,320.3	49.6	2.6	13.4	5.5	16.9	15.1	1,201.8	1.7	4,216.4
2019	1,042.6	474.0	686.3	63.4	0.2	13.2	4.8	10.4	14.8	1,203.9	6.9	3,520.5
2020	894.1	327.9	556.4	30.4	0.1	14.8	5.2	10.7	7.9	903.1	3.5	2,754.0
2021	751.7	499.0	179.0	9.7	N/A	16.5	1.8	8.9	5.8	890.7	4.2	2,367.2
2022	1,067.0	917.2	199.4	27.3	0.1	57.5	6.6	24.0	14.3	1,691.1	1.5	4,005.9
Total	12,181.0	5,025.0	9,578.0	911.0	936.0	191.0	184.0	842.0	532.0	14,584.0	45.0	45,008.0

N/A: no aplica

Tabla 3-14. KRV por tipo de vehículo y año modelo para el Estado de México, 2022

Año Modelo	Millones de Kilómetros recorridos al año (KRV) en el Estado de México											Total
	AP	SUV	TAX	VAN	MIC	V ≤ 3.8 t	TRA	AUT	V > 3.8 t	MC	MB/MXB	
1992 y ant	611.5	97.7	2.3	42.6	63.1	17.3	47.2	13.0	325.8	219.3	N/A	1,439.8
1993	135.9	26.6	0.7	15.4	62.8	1.8	4.0	1.4	43.5	27.7	N/A	319.7
1994	125.1	41.2	0.5	12.2	126.5	1.9	4.4	3.8	41.3	24.9	N/A	381.8
1995	165.0	45.2	1.7	14.4	21.4	1.5	2.9	0.2	28.7	20.9	N/A	301.9
1996	112.3	65.9	1.0	7.4	8.9	1.1	1.0	0.2	18.3	21.0	N/A	237.0
1997	88.3	102.5	0.3	12.3	7.2	1.0	3.9	0.2	16.8	27.4	N/A	259.8
1998	157.8	90.4	2.0	2.1	1.8	1.7	4.4	2.5	27.0	31.6	N/A	321.3
1999	240.0	111.8	6.4	9.3	1.8	1.7	5.3	4.2	28.5	39.2	N/A	448.2
2000	214.4	90.3	5.0	11.5	5.4	1.4	5.9	4.8	34.3	69.8	N/A	442.7
2001	277.6	111.4	5.4	9.3	10.7	1.6	7.5	11.3	38.9	90.1	N/A	563.8
2002	348.7	115.9	17.0	47.7	32.0	1.5	3.5	24.7	35.3	124.5	N/A	751.0
2003	385.0	113.0	25.5	53.1	26.7	1.3	4.6	22.3	34.2	175.1	N/A	840.9
2004	379.4	112.0	23.0	91.0	30.3	2.5	5.2	25.8	33.8	176.5	N/A	879.5
2005	444.4	119.9	31.0	114.1	55.3	2.2	8.6	33.9	35.3	235.2	N/A	1,079.9
2006	511.7	173.3	42.1	157.3	55.1	2.9	9.9	45.7	37.6	423.4	N/A	1,459.2
2007	1,038.1	353.6	53.1	287.5	71.2	6.2	12.6	71.0	44.2	390.2	N/A	2,327.6
2008	1,187.6	431.3	69.0	230.7	105.7	7.7	11.0	126.6	49.8	549.0	N/A	2,768.3
2009	1,202.0	384.2	120.8	650.6	105.5	13.1	11.9	185.5	57.1	370.9	N/A	3,101.6
2010	971.1	283.4	119.9	648.3	249.1	11.6	6.1	163.1	39.4	552.5	2.8	3,047.1
2011	876.2	281.3	164.2	389.5	143.2	9.7	9.5	161.6	36.7	653.8	N/A	2,725.8
2012	986.9	287.7	229.6	571.2	101.1	14.4	12.4	44.1	48.3	797.8	10.6	3,104.1
2013	1,395.4	336.9	294.9	622.7	137.7	8.1	9.8	162.2	41.4	960.2	N/A	3,969.3
2014	1,566.4	441.4	376.1	735.3	75.2	12.4	7.1	147.1	43.6	1,081.8	N/A	4,486.4
2015	1,608.4	518.8	422.5	726.8	47.9	16.9	5.1	130.6	51.0	1,230.9	10.5	4,769.4
2016	2,149.0	628.9	560.9	1,276.0	44.4	14.9	5.5	190.8	54.5	1,471.6	0.5	6,396.9
2017	2,501.6	656.0	1,063.2	984.8	36.9	27.1	7.2	249.9	59.8	1,534.9	0.2	7,121.6
2018	2,001.1	398.2	1,383.7	996.7	40.6	70.0	8.6	214.0	57.8	1,674.9	7.0	6,852.6
2019	2,342.3	512.0	974.2	1,730.4	51.7	125.1	6.5	166.7	61.3	1,792.9	1.1	7,764.2
2020	820.0	272.9	582.9	1,132.2	95.9	97.5	7.2	146.7	48.8	1,960.6	0.2	5,164.9
2021	1,364.5	272.5	135.4	1,536.4	31.4	9.7	4.3	153.8	76.9	2,405.4	2.5	5,992.8
2022	242.5	63.6	31.4	810.1	3.7	40.8	8.0	352.7	27.0	3,371.1	15.3	4,966.2
Total	26,450.0	7,540.0	6,746.0	13,929.0	1,850.0	527.0	251.1	2,861.0	1,577.0	22,505.0	51.0	84,285.6

N/A: no aplica

Tabla 3-15. KRV por tipo de vehículo y año modelo para la Tizayuca, 2022

Año Modelo	Millones de Kilómetros recorridos al año (KRV) en Tizayuca											Total
	AP	SUV	TAX	VAN	MIC	V ≤ 3.8 t	TRA	AUT	V > 3.8 t	MC	MB / MXB	
1992 y ant	6.56	1.03	0.14	0.06	0.30	6.80	0.69	1.05	6.41	0.20	N/A	23.2
1993	1.07	0.44	N/A	N/A	0.06	0.95	0.07	0.07	0.44	0.05	N/A	3.1
1994	1.11	0.53	N/A	N/A	0.06	0.98	0.02	0.01	0.62	0.02	N/A	3.3
1995	0.81	0.75	0.14	N/A	0.06	0.77	0.02	0.06	0.38	0.05	N/A	3.0
1996	0.59	1.23	0.20	N/A	0.06	0.52	N/A	0.06	0.40	0.02	N/A	3.1
1997	1.12	0.93	N/A	0.12	N/A	0.95	0.02	0.08	0.38	N/A	N/A	3.6
1998	1.54	0.92	0.07	N/A	N/A	0.79	0.05	0.06	0.34	0.05	N/A	3.8
1999	1.75	0.71	0.07	N/A	N/A	0.62	0.11	N/A	0.81	0.05	N/A	4.1
2000	1.99	0.88	0.14	N/A	0.06	0.67	0.07	N/A	0.83	0.12	N/A	4.8
2001	2.50	1.01	N/A	N/A	N/A	0.83	0.10	N/A	0.60	0.25	N/A	5.3
2002	2.83	0.78	0.41	0.06	N/A	0.64	0.03	N/A	0.55	0.12	N/A	5.4
2003	2.64	0.85	0.07	N/A	N/A	0.62	0.03	N/A	0.32	0.25	N/A	4.8
2004	2.95	0.88	0.27	N/A	0.06	0.61	0.02	N/A	0.38	0.30	N/A	5.5
2005	3.86	1.38	0.34	0.06	N/A	0.88	0.13	N/A	0.36	0.59	N/A	7.6
2006	3.59	1.02	0.23	0.07	0.06	0.69	0.20	N/A	0.47	0.64	N/A	7.0
2007	3.65	1.48	0.48	0.66	N/A	0.85	0.02	N/A	0.65	0.57	N/A	8.4
2008	3.72	1.35	1.10	0.48	N/A	0.79	0.08	0.06	0.77	0.72	N/A	9.1
2009	2.84	0.98	0.55	0.30	0.07	0.87	0.05	0.12	0.21	0.42	N/A	6.4

MEMORIA DE CÁLCULO

2010	2.54	0.94	0.95	1.44	0.06	0.55	0.03	0.12	0.25	0.52	N/A	7.4
2011	2.64	1.03	0.64	1.20	0.06	0.87	0.05	N/A	0.36	0.72	N/A	7.6
2012	3.50	0.91	2.58	2.72	0.12	0.53	0.04	N/A	0.22	1.93	N/A	12.5
2013	3.94	1.39	2.36	1.52	0.13	0.70	0.02	0.06	0.17	1.98	N/A	12.3
2014	3.26	1.11	2.89	1.77	0.22	0.79	N/A	0.07	0.15	2.60	N/A	12.9
2015	4.91	1.39	3.31	1.17	0.07	0.71	0.02	N/A	0.19	3.04	N/A	14.8
2016	6.02	1.79	2.86	2.65	0.22	1.41	0.02	0.09	0.78	6.18	N/A	22.0
2017	6.45	2.22	5.23	3.19	0.07	1.03	N/A	0.02	0.52	7.86	N/A	26.6
2018	7.71	2.52	4.90	1.59	0.29	1.51	N/A	0.12	0.49	9.84	N/A	29.0
2019	4.82	3.15	2.52	1.11	0.07	1.57	N/A	N/A	0.30	16.30	N/A	29.8
2020	3.84	1.39	1.87	1.38	N/A	1.32	N/A	0.06	0.22	18.62	N/A	28.7
2021	3.83	2.54	0.64	0.42	0.07	0.88	N/A	N/A	0.09	22.50	N/A	31.0
2022	4.84	4.15	1.24	0.75	N/A	2.08	N/A	N/A	0.84	33.16	N/A	47.1
Total	103.0	42.0	36.0	23.0	2.0	34.0	2.0	2.0	19.0	130.0	N/A	393.1

N/A: no aplica

Cálculo de emisiones

Las emisiones generadas por las fuentes móviles de los vehículos a gasolina y a diésel se estimaron con el software MOVES (Motor Vehicle Emission Simulator), actualizado para México en 2023. Esta actualización implicó la integración de datos de sensor remoto para el ajuste de factores de emisión de vehículos mayores a 3.8 t, taxis y automóviles, así como el cumplimiento del Programa de Inspección y Mantenimiento para cada entidad, distribución horaria, ajuste de los factores de motocicletas con base en estudios, así mismo se consideran datos de combustibles basados en la NOM-016-CRE-2016 de calidad de combustible.

Para obtener las emisiones de cada entidad, el MOVES se debe ejecutar en la modalidad Inventory, con la opción Onroad y seleccionando la escala de Country con el municipio o alcaldía en específico. Para realizar estas corridas es necesario crear archivos en Excel, con la información local como la meteorología, los combustibles que se usan, el tipo de vehículos que circulan y actividad.

A continuación, se presentan los tipos de vehículos considerados en MOVES, así como su homologación con el inventario para la estimación de las emisiones, cabe señalar que cada ID tiene información propia de actividad como los días de circulación y los kilómetros recorridos diarios.

Tabla 3-16. Clasificación vehicular requerida en MOVES

Source Type Name	MOVESID	Tipo de Vehículo
Motorcycle	11	Motocicletas
Passenger Car	21	Autos particulares
Taxis	22	Taxis
Passenger Truck	31	Camionetas SUV
		Pick up particular
		Vagonetas
Light Commercial Truck	32	Vehículos ≤ 3.8 t.
		Pick up de carga
Intercity Bus	41	Turismo
		Pasaje
Transit Bus	42	Autobuses RTP
School Bus	43	Autobuses escolares
Microbuses	44	Microbuses colectivos
Metrobús	45	Metrobús

Source Type Name	MOVESID	Tipo de Vehículo
Single Unit Short-haul Truck	52	Vehículos > 3.8 t. locales
Single Unit Long-haul Truck	53	Vehículos > 3.8 t. federales
Combination Short-haul Truck	61	Tractocamiones locales
Combination Long-haul Truck	62	Tractocamiones federales

En cuanto a la información sobre la calidad de los combustibles, se ha encontrado que, la gasolina comercializada en la CDMXyZC contiene una cantidad de etanol como oxigenante, por lo que para el Inventario de Emisiones de la CDMXyZC 2022, se incluyó esta consideración en la estimación de las emisiones de las fuentes móviles a gasolina.

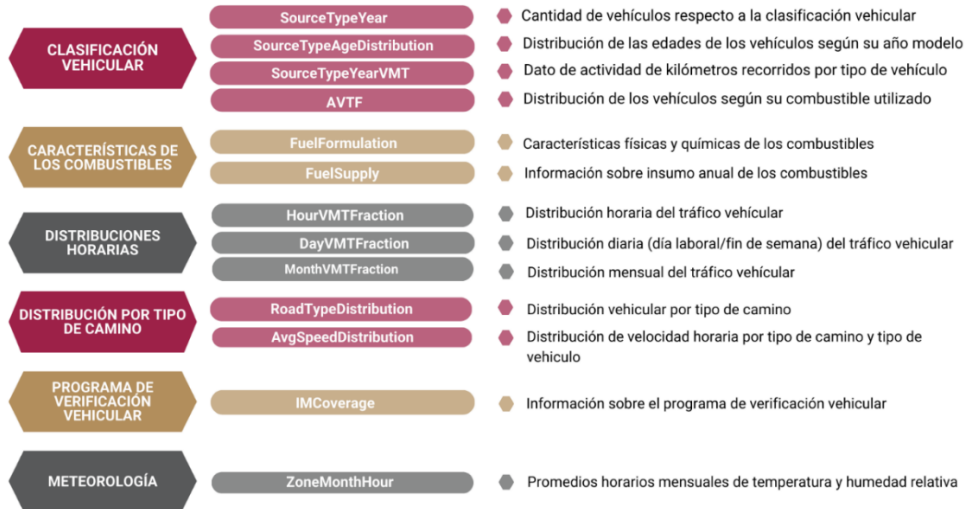


Figura 3-2. Información requerida por MOVES

Los archivos descritos en la Figura 3-2, sirven como base para que el modelo, junto con algoritmos y factores de emisión, estime las emisiones del año base requerido. Cabe señalar que el modelo permite realizar las corridas considerando un factor de cumplimiento del programa de inspección y mantenimiento. Para este inventario, se utilizó el factor que se determinó para cada entidad en la actualización de MOVES¹⁶.

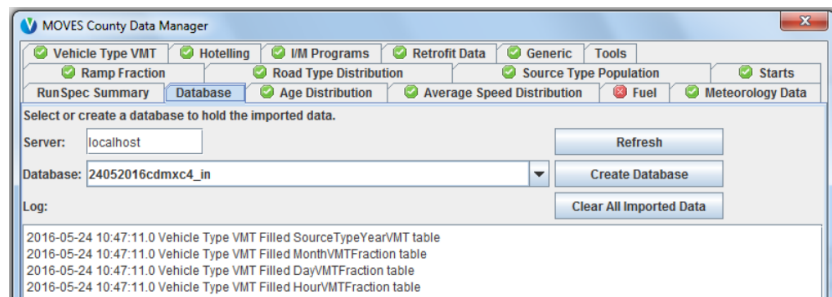


Figura 3-3. Administración de tablas de entrada en MOVES

16 LT Consulting (2023). Guía del usuario MOVES MEXICO 2023. Informe final del proyecto financiado con recurso del Fideicomiso 1490. Preparado por Tejada Le Blanc & Cía., S.C. LT Consulting, para la Comisión Ambiental de la Megalópolis CAME.

Cabe señalar que, de acuerdo con los datos analizados en el informe de la Iniciativa TRUE (The Real Urban Emissions) y el ICCT (International Council on Clean Transportation) en su campaña de sensor remoto 2023, los taxis mostraron aproximadamente entre 2.2 y 3.1 veces más emisiones en los contaminantes HC, CO y NOx en comparación con los automóviles particulares¹⁷, por lo que se hace el ajuste para este inventario. En las Tablas 3-26 a Tabla 3-37 del Anexo. *Fuentes Móviles*, se presentan las emisiones por tipo de vehículo, año modelo y contaminante.

En cuanto a las emisiones de los vehículos a Gas Natural (GN) y a Gas LP (GLP) se estiman utilizando la Ecuación 3-1. La Tabla 3-17 muestra los factores de emisión de los vehículos a gas natural y gas LP¹⁸ empleados en el cálculo de emisiones para los vehículos que utilizan combustibles alternos.

Considerando que los factores están dados para hidrocarburos no metano (HCNM) y metano (CH₄), los hidrocarburos totales se obtienen al sumar las emisiones de éstos. Los factores de emisión están dados en gramos por kilómetro recorrido (g/km).

Tabla 3-17. Factores de emisión HCNM, CO₂, CO y NOx para vehículos a GN y GLP

Combustible	Tipo de vehículo	Año modelo	Factores de emisión [g/km]							
			CO ₂ ¹	HCNM ²	CO ²	NOx ²	NH ₃ ³	CH ₄ ⁴	N ₂ O ⁴	
GLP	AP / TAX / SUV / VAN / V≤3.8	1992 y ant.	367.2	3.5	8	2.1	0.1288	0.024	0.005	
		1993-2020	175.3	0.25	0.3	0.5				
	MIC / V>3.8 / AUT	1998 y ant.	1052.1	8	24	5.7		0.067	0.093	
		1999-2020	716.8	0.7	1	2.6				
GN	AP / TAX / SUV / VAN / PU / V≤3.8	1992 y ant.	314	0.5	4	2.1	0.013	0.47	0.0485	
		1993-2020	136.9	0.05	0.3	0.5				
	MIC / AUT	1998 y ant.	926.6	1.4	12	5.7		7.715	0.101	
		1999-2020	566.2	0.2	1	2.6				
	V>3.8 / TRA	1998 y ant.	926.6	1.4	12	5.7		0.0391	5.983	0.185
		1999-2020	566.2	0.2	1	2.6				

1 INECC, 2014. Factores de emisión para los diferentes tipos de combustibles fósiles y alternativos que se consumen en México. Tabla 22. Recuperado de:

https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/110131/CGCCDBC_2014_FE_tipos_combustibles_fosiles.pdf

2 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Reference Manual Vol. 3 Cap. Energy, Pages 81-94 IPCC 1996. Recuperado del sitio: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/guidelin/ch1ref5.pdf>.

3 Durbin, T. D., Norbeck, J. M. and Huai, T. (septiembre, 2001). Investigation of Emission Rates of Ammonia and Other Toxic and Low-Level Compounds Using FTIR. Center for Environmental Research and Technology. University of California USA.

4 Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Vol. 2. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).

A continuación, se presenta un ejemplo de cálculo de emisiones de los vehículos SUV con combustibles alternos como lo es el Gas LP.

$$E_{(NOx)} = (FE * KRV) / 1000,000$$

Donde:

E_(NOx)= Emisión contaminante (NOx) en t/año

FE= Factor de emisión contaminante (NOx) en g/km

KRV= kilómetros recorridos por vehículos SUV al año

$$E_{(NOx)} = (2.1g/km * 18,676 km/año) / 1000,000$$

$$E_{(NOx)} = 0.039 \text{ ton/año}$$

17 Evaluación de emisiones reales de vehículos de pasajeros y taxis en la Ciudad de México, junio 2024. Recuperado de https://theicct.org/wp-content/uploads/2024/06/ID-166-%E2%80%93Mexico-City-RS_ES_final.pdf

18 Estudio que llevó a cabo el INECC junto con el IMP para determinar factores de emisión de CO₂, de los principales combustibles fósiles y alternos que se consumen en México en los sectores energético, transporte, industrial, comercial y residencial; así los factores de emisión para estos combustibles.

Para los vehículos a gasolina y diésel se obtuvieron factores de emisión con corridas en MOVES, dichos factores se obtienen por año modelo y tipo de vehículo, el modelo hace una ponderación que toma en cuenta la combinación de la distribución vehicular por año modelo y el kilometraje acumulado para cada año-modelo. Las Tablas 3-18 y 3-19 muestran los factores ponderados para la Ciudad de México, mientras que las Tablas 3-20 y 3-21 los factores de emisión del Estado de México y las Tabla 3-22 y 3-23 presenta los factores para la CDMXyZC.

Tabla 3-18. Factores de emisión ponderados para vehículos a gasolina en la CDMX, 2022

Tipo de Vehículo	Factores de emisión ponderados [g/km] de la flota a gasolina en la CDMX - IE-2022												
	PM10	PM2.5	SO ₂	CO	NO _x	COT	COV	NH ₃	CN	Tóxicos	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
MC	0.0294	0.0144	0.0034	14.9680	0.5431	1.6530	1.5478	0.0129	0.0018	0.3786	236.5636	0.0406	0.0023
AP	0.2074	0.1095	0.0087	12.2135	2.2831	1.3569	1.2875	0.0352	0.0152	0.4285	644.8735	0.0527	0.0105
TAX	0.1804	0.1163	0.0098	18.4446	6.6003	1.4050	1.2986	0.0336	0.0150	0.3942	348.4458	0.0552	0.0026
SUV	0.1696	0.0693	0.0105	10.9699	2.1434	1.4115	1.3088	0.0359	0.0093	0.4269	773.5783	0.0789	0.0156
Pick Up particular	0.2183	0.1124	0.0113	13.8850	2.6497	1.7072	1.5933	0.0385	0.0161	0.5171	788.4186	0.0845	0.0220
VAN	0.1362	0.0730	0.0063	7.8640	1.3740	0.8808	0.8258	0.0226	0.0099	0.2706	443.1306	0.0404	0.0103
V≤3.8t	0.0984	0.0394	0.0062	6.7928	1.3046	0.8436	0.7796	0.0212	0.0054	0.2520	432.3153	0.0476	0.0111
Pick Up carga	0.1094	0.0491	0.0063	7.9873	1.4850	1.0708	1.0027	0.0211	0.0072	0.3243	438.2135	0.0503	0.0165
AUT Federales	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
RTP	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
AUT concesionados	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Escolares y de Personal	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
MIC	0.2382	0.0548	0.0112	40.2914	2.7662	3.1018	2.9087	0.0351	0.0068	0.9103	781.8107	0.1698	0.0891
MB/MXB	0.2754	0.1558	0.0149	73.9186	5.7891	5.5805	5.1670	0.0353	0.0232	1.6032	1,044.5125	0.2959	0.0915
V>3.8t locales	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
V>3.8t federales	0.2590	0.0618	0.0150	47.5034	3.7569	4.0191	3.7563	0.0386	0.0112	1.1910	1,049.8578	0.1610	0.0919
TRA locales	0.3023	0.0811	0.0095	32.1246	3.0709	2.8431	2.6719	0.0384	0.0098	0.8474	953.2570	0.0968	0.0619
TRA federales	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

N/A: no aplica

Tabla 3-19. Factores de emisión ponderados para vehículos a diésel en la CDMX, 2022

Tipo de Vehículo	Factores de emisión ponderados [g/km] de la flota a diésel en la CDMX - IE-2022												
	PM10	PM2.5	SO ₂	CO	NO _x	COT	COV	NH ₃	CN	Tóxicos	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
MC	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
AP	0.1047	0.0190	0.0028	7.1170	0.9069	0.3761	0.3502	0.0119	0.0012	0.1454	548.5277	0.0162	0.0016
TAX	0.0715	0.0205	0.0021	9.2536	1.1603	0.3189	0.3035	0.0088	0.0017	0.0924	299.1629	0.0035	0.0009
SUV	0.4877	0.3617	0.0055	27.8789	4.9441	17.1144	16.5853	0.0353	0.1930	6.9370	1,063.4693	0.0556	0.0062
Pick Up particular	0.4566	0.3331	0.0051	22.3119	4.6005	14.3318	13.8808	0.0353	0.1774	5.8058	1,002.1501	0.0545	0.0060
VAN	0.2759	0.2028	0.0030	15.4084	2.6368	9.5372	9.2415	0.0191	0.1032	3.8653	574.2865	0.0319	0.0034
V≤3.8t	0.2393	0.1692	0.0028	14.1732	2.5224	7.8575	7.6130	0.0169	0.0846	3.1832	552.7506	0.0274	0.0033
Pick Up carga	0.2302	0.1609	0.0027	11.3455	2.2831	6.8410	6.6268	0.0169	0.0802	2.7592	528.0246	0.0262	0.0034
AUT Federales	1.8723	1.3739	0.0087	31.0230	13.4723	26.3275	25.5357	0.0239	0.6908	10.6806	1,625.0036	0.0675	0.0044
RTP	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
AUT concesionados	0.9194	0.6367	0.0055	18.6312	9.9830	16.2670	15.8328	0.0214	0.3016	6.9738	1,040.8395	0.0512	0.0045
Escolares y de Personal	1.0903	0.7939	0.0057	27.8746	11.9051	24.1651	23.4387	0.0214	0.3580	9.8035	1,062.9649	0.0581	0.0044
MIC	0.7434	0.5207	0.0046	21.7004	6.7404	20.2893	19.6698	0.0211	0.1777	8.2271	870.1714	0.0585	0.0049
MB/MXB	0.9825	0.8121	0.0057	28.1173	9.1260	24.2087	23.4835	0.0212	0.3309	9.8222	1,062.1564	0.0567	0.0043
V>3.8t locales	0.8094	0.4658	0.0046	11.8769	6.2006	12.7366	12.3410	0.0202	0.2274	5.1618	897.5990	0.0518	0.0041
V>3.8t federales	1.0336	0.7047	0.0064	27.8570	9.8903	26.3106	25.5254	0.0232	0.2246	10.6762	1,221.0512	0.0575	0.0060
TRA locales	1.5284	1.1482	0.0063	32.5093	10.6496	29.9012	29.0121	0.0231	0.2890	12.1346	1,163.6560	0.0630	0.0045
TRA federales	1.6396	1.1227	0.0092	36.9547	15.4924	31.2078	30.2774	0.0237	0.5300	12.6638	1,705.1392	0.0670	0.0049

N/A: no aplica

MEMORIA DE CÁLCULO

Tabla 3-20. Factores de emisión ponderados para vehículos a gasolina para el EDOMEX, 2022

Tipo de Vehículo	Factores de emisión ponderados [g/km] de la flota a gasolina en el EDOMEX - IE-2022												
	PM10	PM2.5	SO ₂	CO	NO _x	COT	COV	NH ₃	CN	Tóxicos	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
MC	0.0294	0.0144	0.0034	14.9680	0.5431	1.6530	1.5478	0.0129	0.0018	0.3786	236.5636	0.0406	0.0023
AP	0.2140	0.1154	0.0089	12.6233	2.3677	1.3959	1.3250	0.0357	0.0161	0.4404	645.8485	0.0532	0.0108
TAX	0.1804	0.1163	0.0098	18.4446	6.6003	1.4050	1.2986	0.0336	0.0150	0.3942	348.4458	0.0552	0.0026
SUV	0.1733	0.0727	0.0107	11.3825	2.2476	1.4592	1.3542	0.0363	0.0098	0.4411	776.9038	0.0799	0.0161
Pick Up particular	0.2183	0.1124	0.0113	13.8850	2.6497	1.7072	1.5933	0.0385	0.0161	0.5171	788.4186	0.0845	0.0220
VAN	0.1362	0.0730	0.0063	7.8640	1.3740	0.8808	0.8258	0.0226	0.0099	0.2706	443.1306	0.0404	0.0103
V≤3.8t	0.0984	0.0394	0.0062	6.7928	1.3046	0.8436	0.7796	0.0212	0.0054	0.2520	432.3153	0.0476	0.0111
Pick Up carga	0.1094	0.0491	0.0063	7.9873	1.4850	1.0708	1.0027	0.0211	0.0072	0.3243	438.2135	0.0503	0.0165
AUT Federales	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
RTP	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
AUT concesionados	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Escolares y de Personal	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
MIC	0.2382	0.0548	0.0112	40.2914	2.7662	3.1018	2.9087	0.0351	0.0068	0.9103	781.8107	0.1698	0.0891
MB/MXB	0.2754	0.1558	0.0149	73.9186	5.7891	5.5805	5.1670	0.0353	0.0232	1.6032	1,044.5125	0.2959	0.0915
V>3.8t locales	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
V>3.8t federales	0.2590	0.0618	0.0150	47.5034	3.7569	4.0191	3.7563	0.0386	0.0112	1.1910	1,049.8578	0.1610	0.0919
TRA locales	0.3023	0.0811	0.0095	32.1246	3.0709	2.8431	2.6719	0.0384	0.0098	0.8474	953.2570	0.0968	0.0619
TRA federales	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

N/A: no aplica

Tabla 3-21. Factores de emisión ponderados para vehículos a diésel para el EDOMEX, 2022

Tipo de Vehículo	Factores de emisión ponderados [g/km] de la flota a diésel en el EdoMéx - IE-2022													
	PM10	PM2.5	SO ₂	CO	NO _x	COT	COV	NH ₃	CN	Tóxicos	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	
Motocicletas	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
Autos particulares	0.10	0.02	0.003	7.12	0.91	0.4	0.4	0.01	0.001	0.15	548.53	0.016	0.002	
Taxis	0.07	0.02	0.002	9.25	1.16	0.3	0.3	0.01	0.002	0.09	299.16	0.004	0.001	
Camionetas SUV	0.49	0.36	0.005	27.88	4.94	17.1	16.6	0.04	0.193	6.94	1,063.47	0.056	0.006	
Pick Up de uso particular	0.46	0.33	0.005	22.31	4.60	14.3	13.9	0.04	0.177	5.81	1,002.15	0.054	0.006	
Vagonetas	0.28	0.20	0.003	15.41	2.64	9.5	9.2	0.02	0.103	3.87	574.29	0.032	0.003	
Vehículos de carga hasta 3.8 t.	0.24	0.17	0.003	14.17	2.52	7.9	7.6	0.02	0.085	3.18	552.75	0.027	0.003	
Pick Up de carga	0.23	0.16	0.003	11.35	2.28	6.8	6.6	0.02	0.080	2.76	528.02	0.026	0.003	
Autobuses Federales	1.87	1.37	0.009	31.02	13.47	26.3	25.5	0.02	0.691	10.68	1,625.00	0.067	0.004	
RTP	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
Autobuses concesionados	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
Escolares y de Personal	1.09	0.79	0.006	27.87	11.91	24.2	23.4	0.02	0.358	9.80	1,062.96	0.058	0.004	
Microbuses/Midibuses	0.74	0.52	0.005	21.70	6.74	20.3	19.7	0.02	0.178	8.23	870.17	0.059	0.005	
Metrobús/Mexibús	0.98	0.81	0.006	28.12	9.13	24.2	23.5	0.02	0.331	9.82	1,062.16	0.057	0.004	
Vehículos > a 3.8 t. locales	0.81	0.47	0.005	11.88	6.20	12.7	12.3	0.02	0.227	5.16	897.60	0.052	0.004	
Vehículos > a 3.8 t. federales	1.03	0.70	0.006	27.86	9.89	26.3	25.5	0.02	0.225	10.68	1,221.05	0.057	0.006	
Tractocamiones locales	1.53	1.15	0.006	32.51	10.65	29.9	29.0	0.02	0.289	12.13	1,163.66	0.063	0.004	
Tractocamiones federales	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	

N/A: no aplica

Tabla 3-22. Factores de emisión ponderados para vehículos a gasolina para la CDMXyZC, 2022

Tipo de Vehículo	Factores de emisión ponderados [g/km] de la flota a gasolina en la CDMXyZC - IE-2022												
	PM10	PM2.5	SO ₂	CO	NO _x	COT	COV	NH ₃	CN	Tóxicos	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
MC	0.0285	0.0136	0.0034	14.9033	0.5318	1.6949	1.5898	0.0129	0.0017	0.3798	237.4727	0.0406	0.0023
AP	0.2854	0.1786	0.0089	20.0372	4.1612	1.8657	1.7673	0.0381	0.0258	0.5752	652.3416	0.0641	0.0141
TAX	0.1702	0.1073	0.0096	23.7114	12.3640	1.4113	1.2839	0.0329	0.0137	0.3992	347.7024	0.0697	0.0026
SUV	0.2293	0.1221	0.0110	21.4609	3.6528	2.4659	2.3091	0.0402	0.0178	0.7368	807.8691	0.1031	0.0281
Pick Up particular	0.4135	0.2851	0.0120	32.2266	4.9929	3.7016	3.5078	0.0466	0.0439	1.1116	845.8068	0.1243	0.0537
VAN	0.0812	0.0243	0.0058	5.3548	0.9809	0.5586	0.5008	0.0183	0.0025	0.1621	412.1990	0.0411	0.0045
V≤3.8t	0.1191	0.0576	0.0063	10.4574	1.7787	1.2427	1.1569	0.0224	0.0086	0.3672	443.6401	0.0575	0.0174
Pick Up carga	0.1178	0.0565	0.0062	10.2643	1.6927	1.2980	1.2130	0.0210	0.0085	0.3869	438.8320	0.0575	0.0194
AUT Federales	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
RTP	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
AUT concesionados	0.2962	0.0428	0.0142	10.2024	2.0082	1.0387	0.9560	0.0356	0.0010	0.3036	1,007.1334	0.0388	0.0094
Escolares y de Personal	0.2289	0.0468	0.0111	38.0645	2.5655	2.8423	2.6458	0.0351	0.0048	0.8266	782.7122	0.1549	0.0671
MIC	0.1472	0.0425	0.0147	27.8899	2.9096	2.2173	2.0533	0.0353	0.0046	0.6286	1,036.1928	0.0683	0.0366
MB/MXB	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
V>3.8t locales	0.3367	0.1304	0.0151	72.3910	4.9409	6.6140	6.2012	0.0386	0.0359	1.9797	1,064.6591	0.2959	0.1630
V>3.8t federales	0.3254	0.0977	0.0094	36.5706	3.3728	3.1619	2.9638	0.0384	0.0127	0.9320	954.0853	0.1218	0.0693
TRA locales	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
TRA federales	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

N/A: no aplica

Tabla 3-23. Factores de emisión ponderados para vehículos a diésel para la CDMXyZC, 2022

Tipo de Vehículo	Factores de emisión ponderados [g/km] de la flota a diésel en la CDMXyZC - IE-2022												
	PM10	PM2.5	SO ₂	CO	NO _x	COT	COV	NH ₃	CN	Tóxicos	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
MC	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
AP	0.1092	0.0231	0.0028	7.5020	1.0160	0.4901	0.4634	0.0119	0.0021	0.1577	545.6253	0.0170	0.0016
TAX	0.0704	0.0195	0.0022	9.7660	1.3619	0.3055	0.2890	0.0089	0.0015	0.0967	304.4734	0.0040	0.0009
SUV	0.5041	0.3768	0.0056	30.6757	5.0041	18.6072	18.0361	0.0353	0.2014	7.5438	1,086.0276	0.0561	0.0063
Pick Up particular	0.5057	0.3783	0.0054	28.5417	4.9728	16.9215	16.3967	0.0354	0.2029	6.8581	1,053.0713	0.0568	0.0061
VAN	0.2855	0.2115	0.0030	16.9592	2.6569	10.3733	10.0541	0.0191	0.1078	4.2052	590.2317	0.0321	0.0034
V≤3.8t	0.3467	0.2679	0.0030	17.5535	2.8404	9.0497	8.7958	0.0177	0.1363	3.4265	574.9821	0.0291	0.0036
Pick Up carga	0.2714	0.1987	0.0028	14.0160	2.4819	7.6838	7.4531	0.0170	0.1000	3.0658	551.3604	0.0274	0.0034
AUT Federales	1.6966	1.2123	0.0087	30.2077	12.9932	25.9231	25.1434	0.0239	0.6158	10.5165	1,625.1097	0.0653	0.0044
RTP	0.9194	0.6367	0.0055	18.6312	9.9830	16.2670	15.8328	0.0214	0.3016	6.9738	1,040.8395	0.0512	0.0045
AUT concesionados	0.8764	0.5972	0.0054	18.2645	9.2379	17.6521	17.1141	0.0214	0.3067	7.1582	1,044.2223	0.0494	0.0044
Escolares y de personal	0.7455	0.5227	0.0047	22.6126	6.7727	20.2579	19.6918	0.0211	0.1739	7.8169	879.4220	0.0597	0.0049
MIC	0.6092	0.4686	0.0053	18.0721	7.0436	17.3934	16.8650	0.0212	0.2132	7.0540	1,014.3593	0.0526	0.0043
MB/MXB	0.8116	0.4678	0.0046	11.7958	6.0218	12.8030	12.4055	0.0202	0.2286	5.1887	897.7403	0.0522	0.0041
V>3.8t locales	1.0331	0.7041	0.0064	25.4916	9.2379	24.5823	23.8471	0.0232	0.2282	9.9743	1,212.0493	0.0554	0.0059
V>3.8t federales	1.5895	1.2060	0.0063	32.9292	10.6165	30.0751	29.1807	0.0231	0.3000	12.2051	1,164.2808	0.0636	0.0045
TRA locales	1.6396	1.1227	0.0092	36.9547	15.4924	31.2078	30.2774	0.0237	0.5300	12.6638	1,705.1392	0.0670	0.0049
TRA federales	2.0320	1.4501	0.0092	29.6495	13.8142	26.1664	25.3820	0.0238	0.7477	10.6163	1,722.5399	0.0615	0.0046

N/A: no aplica

Contaminantes tóxicos

El modelo MOVES-CDMX permite calcular, además de contaminantes criterio y gases de efecto invernadero, el siguiente listado de contaminantes tóxicos, ya sea para la obtención de factores de emisión o bien para estimar emisiones.

Contaminantes tóxicos		
Etilbenceno	Fluoranteno	1,2,3,7,8- Pentaclorodibenzofurano
Estireno	Benzo(k)fluoranteno	1,2,3,6,7,8-hexaclorodibenzo furano
1,3-Butadieno	Criseno	1,2,3,6,7,8-hexaclorodibenzo-p-dioxina
Acroleína (2-Propenal)	1,2,3,4,6,7,8,9-Octaclorodibenzo-p-dioxina	2,3,4,6,7,8-hexaclorodibenzo furano
Tolueno	1,2,3,4,6,7,8-Heptaclorodibenzo-p-dioxina	1,2,3,4,6,7,8-Heptaclorodibenzofurano
Hexano	1,2,3,4,6,7,8,9-Octaclorodibenzofurano	1,2,3,4,7,8-hexacloruro-benzofurano
Antraceno	1,2,3,4,7,8-hexaclorodibenzo-p-dioxina	Benceno
Propionaldehído	1,2,3,7,8-Pentaclorodibenzo-p-dioxina	1,2,3,7,8,9-hexaclorodibenzofurano
Xileno	Formaldehído	Mercurio
Metil Ter-Butil Éter (MTBE)	Benzo (a) pireno	Níquel (compuestos)
2,3,7,8-tetraclorodibenzo-p-dioxina	2,3,7,8-tetraclorodibenzofurano	Arsénico
Benzoperileno	Dibenzoantraceno	Cromo (compuestos)
Indeno(1,2,3-cd)Pireno	2,2,4-Trimetilpentano	Acetaldehído
1,2,3,7,8,9-hexaclorodibenzo-p-dioxina	Benzoantraceno	Fenantreno
Benzo (b) Fluoranteno	2,3,4,7,8-Pentaclorodibenzofurano	Naftaleno

Emisiones por uso de aires acondicionados

El uso de aires acondicionados en vehículos contribuye a las emisiones de gases de efecto invernadero y a la contaminación del aire. El sistema de aire acondicionado de un vehículo, al utilizar refrigerantes como el R-134a, puede generar emisiones de gases fluorados con alto potencial de calentamiento global si hay fugas.

Las emisiones por el uso de aires acondicionados se estimaron con la metodología del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) establecida en las directrices de 2006 para inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. El promedio de vida útil de un sistema de aire acondicionado es de 15 años, por lo tanto, estas emisiones fueron estimadas para vehículos hasta esta edad.

Del documento Fifth Assessment Report (AR5) desarrollado por el IPCC, se tomó el factor de emisión de 166 kg CO₂e al año, y considerando su potencial de calentamiento del HFC-134a de 1,410, se obtuvo **el factor de emisión para el gas HFC-134a por vehículo de 0.118 [kg/año]**. La flota estimada que utiliza aire acondicionado en la CDMXyZC se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 3-24. Flota vehicular que usa aire acondicionado en la CDMXyZC 2022

Entidad	Flota Vehicular
Ciudad de México	656,787
Estado de México	1,284,335
Tizayuca	5,574
CDMXyZC	1,946,696

Las emisiones por operación de aire acondicionado vehicular se obtienen con la siguiente ecuación:

Ecuación 3-3. Cálculo de las emisiones de HFC

$$E_{\text{uso}} = (FE_{\text{HFC134a}}) (\text{Número de vehículos}) / 1,000$$

Dónde:

E_{uso} = Emisión por operación de aire acondicionado vehicular [$t_{\text{HFC134a/año}}$].

FE_{HFC134a} = Emisión de HFC [$\text{kg}_{\text{HFC134a/año}}$].

1,000= Factor de conversión de kilogramos a toneladas.

A continuación, se muestra el ejemplo de cálculo de las emisiones por operación para autos particulares, de un año modelo 2014 en la CDMX:

Tabla 3-25. Ejemplo de cálculo para obtener emisiones de aire acondicionado de autos particulares

Variable	Valor	Ciudad de México	
		Valor	Descripción
Vehículos	45,120		Número de vehículos año modelo 2022 de la Ciudad de México que se estima cuentan con aire acondicionado.

Sustituyendo los valores anteriores en la Ecuación 3-3:

$$E_{\text{uso}} = (0.118 \text{ kg/año}) * (45,120 \text{ vehículos}) / 1000 = 5.32 \text{ t HFC134a /año}$$

Anexo. Fuentes Móviles

Tabla 3-26. Emisión de PM10 por año modelo y tipo de vehículo de la CDMXyZC 2022

Año Modelo	Emisiones de PM10 [t/año]											Total
	AP	SUV	TAX	VAN	MIC	V ≤ 3.8t	TRA	AUT	V > 3.8t	MC	MB/MXB	
1992 y ant	884.08	83.63	25.42	29.66	201.79	14.47	44.54	84.80	242.84	1.96	N/A	1,613.19
1993	205.65	23.20	7.25	9.59	24.48	2.61	5.24	13.11	21.69	0.29	N/A	313.10
1994	49.53	14.77	0.79	2.75	13.50	1.47	3.89	7.12	23.32	0.29	N/A	117.42
1995	56.64	14.99	1.81	3.31	2.73	0.98	3.26	5.72	11.36	0.23	N/A	101.02
1996	39.24	22.00	0.89	1.69	1.15	0.88	1.60	3.17	6.87	0.24	N/A	77.74
1997	36.44	33.32	0.41	3.51	3.29	1.09	5.62	41.34	12.95	0.34	N/A	138.30
1998	67.45	32.14	2.12	1.57	1.21	1.09	6.24	6.08	9.77	0.48	N/A	128.16
1999	107.65	36.45	5.09	2.27	1.40	1.09	8.14	11.51	12.51	0.64	N/A	186.75
2000	103.42	32.02	4.26	5.36	1.51	1.21	10.32	42.52	16.26	1.17	N/A	218.05
2001	126.21	34.44	3.89	4.72	1.67	1.04	13.40	71.19	16.46	1.47	N/A	274.50
2002	161.20	37.34	11.78	12.20	4.28	1.25	6.66	92.25	19.34	2.15	N/A	348.44
2003	136.46	29.78	13.01	10.11	3.83	0.82	9.95	77.62	15.27	3.02	N/A	299.87
2004	116.33	27.06	9.68	13.60	4.18	0.99	11.76	91.71	14.96	2.82	N/A	293.10
2005	139.57	32.80	13.66	22.17	7.26	1.17	21.41	92.47	18.57	3.89	N/A	352.98
2006	163.35	44.18	18.14	23.91	9.70	1.49	25.07	139.35	21.58	6.72	0.09	453.57
2007	154.75	49.38	15.67	30.22	9.38	2.33	29.46	94.27	28.46	7.04	1.03	421.98
2008	132.87	45.64	28.94	33.99	15.88	2.70	29.33	143.73	34.67	10.22	0.50	478.47
2009	138.66	43.29	80.22	54.52	14.51	3.50	29.68	192.37	36.22	7.68	N/A	600.64
2010	124.10	38.77	76.51	55.90	36.55	2.82	15.37	132.77	26.76	11.64	3.54	524.73
2011	122.87	43.07	129.43	51.41	22.68	3.17	26.07	154.71	33.86	16.11	2.47	605.84
2012	156.19	46.75	183.79	56.33	14.89	4.18	38.07	63.75	39.30	21.76	7.82	632.83
2013	181.80	53.14	210.50	63.89	20.50	2.29	35.36	147.96	39.66	26.08	1.61	782.78
2014	202.05	68.66	266.69	78.88	10.43	3.37	27.75	139.42	41.51	32.04	1.18	871.98
2015	195.15	73.13	262.63	82.12	8.17	3.29	22.66	120.08	49.77	37.22	14.06	868.28
2016	226.75	80.27	334.64	117.74	7.72	3.87	24.88	183.08	62.48	47.24	9.16	1,097.82
2017	223.46	77.49	379.62	106.73	5.92	5.73	30.91	227.46	75.72	51.94	1.94	1,186.93
2018	192.21	65.96	397.87	98.62	7.04	12.56	38.08	186.90	72.84	65.28	8.63	1,145.99
2019	168.73	61.25	125.02	142.55	11.86	13.62	27.33	132.50	69.48	78.44	5.98	836.76
2020	95.38	40.18	83.94	98.53	13.76	11.34	30.00	109.98	50.29	89.24	3.41	626.04
2021	94.76	43.91	23.08	126.81	4.45	2.20	14.74	107.32	68.55	134.60	5.24	625.66
2022	68.89	58.86	17.72	76.14	0.68	6.04	35.64	173.66	57.29	391.71	10.47	897.08
Total	4,871.86	1,387.88	2,734.44	1,420.80	486.38	114.63	632.46	3,089.90	1,250.59	1,053.93	77.13	17,119.99

N/A: no aplica

MEMORIA DE CÁLCULO

Tabla 3-27. Emisión de PM2.5 por año modelo y tipo de vehículo de la CDMXyZC 2022

Año Modelo	Emisiones de PM2.5 [t/año]											Total
	AP	SUV	TAX	VAN	MIC	V ≤ 3.8t	TRA	AUT	V > 3.8t	MC	MB/MXB	
1992 y ant	753.89	68.87	22.28	24.79	131.33	11.54	36.26	69.30	189.50	1.06	N/A	1,308.84
1993	175.74	19.10	6.35	8.00	15.63	2.18	4.27	10.71	16.67	0.16	N/A	258.80
1994	37.94	10.85	0.66	2.00	4.55	1.15	2.83	5.23	17.53	0.16	N/A	82.91
1995	43.43	11.03	1.54	2.41	1.13	0.75	2.37	4.45	8.22	0.12	N/A	75.46
1996	30.06	16.18	0.76	1.22	0.45	0.69	1.17	2.46	4.89	0.13	N/A	58.00
1997	27.92	24.49	0.35	2.61	2.21	0.83	4.08	32.26	9.50	0.18	N/A	104.42
1998	51.72	23.65	1.80	1.15	0.72	0.79	4.25	4.44	5.69	0.26	N/A	94.48
1999	83.08	26.77	4.33	1.64	0.91	0.81	5.53	8.45	7.49	0.34	N/A	139.37
2000	79.81	23.53	3.61	4.00	0.66	0.89	7.01	31.77	9.57	0.64	N/A	161.50
2001	96.13	24.78	3.26	3.50	0.63	0.75	9.12	53.37	9.78	0.78	N/A	202.11
2002	122.91	26.84	9.88	8.93	1.50	0.91	4.53	69.51	11.68	1.14	N/A	257.83
2003	99.26	19.88	10.68	6.87	1.21	0.55	6.77	58.17	8.98	1.60	N/A	213.96
2004	80.46	16.91	7.71	8.66	1.22	0.62	8.01	68.65	8.53	1.35	N/A	202.13
2005	96.57	20.58	10.77	14.15	1.97	0.76	14.57	69.48	10.77	1.85	N/A	241.48
2006	112.84	27.64	14.11	15.08	4.12	0.96	17.04	105.06	12.51	3.20	0.06	312.61
2007	86.43	25.19	11.73	15.34	2.52	1.43	18.47	66.26	14.71	3.36	0.63	246.05
2008	57.29	17.81	21.66	20.58	5.66	1.64	18.40	100.88	17.64	4.87	0.30	266.75
2009	59.44	17.13	59.98	23.23	3.53	2.00	18.04	131.37	17.50	3.67	N/A	335.88
2010	53.45	15.92	57.51	23.27	10.74	1.59	9.34	90.45	13.14	5.55	2.09	283.07
2011	53.07	17.35	96.57	29.00	7.11	1.94	15.85	105.58	16.97	7.70	1.46	352.61
2012	68.16	19.27	136.86	24.63	3.89	2.52	23.15	43.40	18.71	10.41	4.62	355.63
2013	57.23	17.87	151.75	27.89	4.59	1.14	21.50	99.40	19.84	12.46	0.95	414.63
2014	63.44	23.71	190.88	34.35	2.17	1.78	16.77	93.50	20.68	15.31	0.70	463.30
2015	47.56	21.26	166.87	36.79	2.19	1.50	13.70	78.68	22.78	17.75	8.31	417.40
2016	54.70	23.53	212.81	41.19	2.19	2.03	15.04	120.24	30.96	22.52	5.41	530.62
2017	42.02	19.79	222.78	42.04	1.03	3.08	18.68	145.63	37.68	24.72	1.15	558.60
2018	38.47	18.00	230.48	34.15	1.26	6.98	23.00	119.32	36.29	31.09	5.10	544.14
2019	28.60	13.18	32.73	31.55	5.67	6.83	15.03	79.53	29.66	37.32	3.21	283.31
2020	15.68	8.52	18.92	24.84	5.45	6.33	16.50	63.04	21.53	42.29	1.83	224.91
2021	16.16	8.10	4.83	27.19	1.01	0.84	8.11	56.84	28.66	63.63	2.81	218.18
2022	10.79	9.47	3.69	20.79	0.11	1.64	19.60	57.02	28.86	185.72	5.62	343.31
Total	2,644.28	637.22	1,718.15	561.85	227.36	67.46	398.98	2,044.46	706.92	501.35	44.26	9,552.28

N/A: no aplica

Inventario de Emisiones de la Ciudad de México y su Zona Conurbada 2022

Tabla 3-28. Emisión de SO₂ por año modelo y tipo de vehículo de la CDMXyZC 2022

Año Modelo	Emisiones de SO ₂ [t/año]											Total
	AP	SUV	TAX	VAN	MIC	V ≤ 3.8t	TRA	AUT	V > 3.8t	MC	MB/MXB	
1992 y ant	3.98	0.77	0.09	0.55	24.69	0.16	0.11	0.40	1.59	0.18	N/A	32.51
1993	0.85	0.22	0.02	0.11	2.25	0.02	0.01	0.06	0.29	0.03	N/A	3.87
1994	0.83	0.34	0.01	0.07	1.56	0.02	0.02	0.05	0.32	0.03	N/A	3.24
1995	0.96	0.36	0.03	0.09	0.48	0.02	0.01	0.02	0.25	0.02	N/A	2.24
1996	0.66	0.50	0.01	0.04	0.17	0.01	0.01	0.01	0.19	0.02	N/A	1.63
1997	0.64	0.81	0.01	0.08	0.32	0.02	0.03	0.18	0.18	0.03	N/A	2.29
1998	1.15	0.79	0.03	0.05	0.16	0.03	0.03	0.04	0.28	0.05	N/A	2.61
1999	1.70	0.90	0.08	0.08	0.14	0.02	0.04	0.06	0.39	0.06	N/A	3.47
2000	1.59	0.79	0.07	0.13	0.25	0.03	0.06	0.35	0.47	0.12	N/A	3.86
2001	2.14	0.96	0.07	0.11	0.20	0.03	0.07	0.36	0.53	0.15	N/A	4.62
2002	2.69	1.05	0.21	0.28	0.62	0.04	0.04	0.46	0.56	0.22	N/A	6.15
2003	2.91	1.08	0.30	0.32	0.52	0.03	0.06	0.39	0.51	0.31	N/A	6.44
2004	3.01	1.17	0.28	0.51	0.54	0.04	0.07	0.48	0.53	0.34	N/A	6.96
2005	3.59	1.39	0.39	0.87	0.83	0.05	0.12	0.45	0.43	0.46	N/A	8.59
2006	4.20	1.88	0.52	0.92	0.77	0.06	0.14	0.66	0.55	0.80	0.0004	10.50
2007	6.75	3.02	0.70	1.73	1.26	0.10	0.19	0.55	0.66	0.84	0.01	15.80
2008	7.76	3.34	1.26	1.21	1.94	0.10	0.19	0.99	0.79	1.21	0.003	18.78
2009	8.02	3.07	3.40	3.33	1.57	0.13	0.20	1.20	0.89	0.91	N/A	22.72
2010	7.21	2.64	3.25	3.51	4.40	0.11	0.10	0.86	0.64	1.38	0.02	24.14
2011	7.09	2.78	5.42	2.00	2.42	0.12	0.17	0.97	0.72	1.91	0.01	23.63
2012	8.81	2.90	7.60	3.14	1.98	0.13	0.25	0.69	0.98	2.57	0.04	29.10
2013	12.25	3.58	9.66	3.43	2.43	0.11	0.24	0.99	0.83	3.09	0.01	36.60
2014	13.47	4.48	12.03	4.18	1.71	0.16	0.18	1.04	0.90	3.79	0.01	41.95
2015	14.39	5.21	16.12	4.14	0.82	0.18	0.15	0.99	1.29	4.41	0.08	47.76
2016	16.60	5.63	20.43	7.46	0.87	0.15	0.16	1.91	1.33	5.60	0.05	60.19
2017	17.47	5.69	26.01	5.98	0.67	0.25	0.19	1.61	1.52	6.16	0.01	65.57
2018	14.39	4.54	26.58	6.07	0.77	0.54	0.24	1.42	1.39	7.73	0.05	63.71
2019	13.02	4.57	12.08	10.81	1.42	0.61	0.20	1.18	1.52	9.29	0.04	54.74
2020	7.18	2.87	7.70	7.10	4.15	0.31	0.22	1.60	1.16	10.61	0.02	42.92
2021	6.95	3.32	2.02	9.59	1.11	0.10	0.11	1.75	1.72	16.03	0.03	42.73
2022	5.10	4.52	1.13	5.23	0.07	0.17	0.26	6.25	0.66	46.49	0.06	69.96
Total	197.34	75.16	157.50	83.10	61.08	3.87	3.85	28.00	24.09	124.84	0.44	759.28

N/A: no aplica

MEMORIA DE CÁLCULO

Tabla 3-29. Emisión de CO por año modelo y tipo de vehículo de la CDMXyZC 2022

Año Modelo	AP	SUV	TAX	VAN	MIC	Emisiones de CO [t/año]				MC	MB/MXB	Total
						V ≤ 3.8t	TRA	AUT	V > 3.8t			
1992 y ant	22,888.7	4,271.8	540.8	1,248.3	56,692.9	1,184.6	429.2	1,367.5	8,612.5	720.1	N/A	97,956.5
1993	5,015.4	1,187.8	132.2	391.5	5,417.5	143.2	51.6	185.7	1,087.3	105.8	N/A	13,718.0
1994	5,018.4	2,468.0	72.5	268.7	7,093.5	158.9	67.9	273.6	1,528.0	115.0	N/A	17,064.5
1995	5,697.8	2,484.0	182.9	320.8	1,276.8	117.0	56.6	128.7	902.6	91.5	N/A	11,258.7
1996	3,516.0	2,626.4	95.7	151.4	556.8	82.3	27.6	66.9	609.0	96.7	N/A	7,828.9
1997	3,199.3	3,972.1	38.4	298.9	674.3	120.6	97.2	945.6	727.6	134.7	N/A	10,208.7
1998	5,817.9	3,714.1	214.8	134.7	129.6	129.7	134.7	182.1	805.9	193.0	N/A	11,456.5
1999	9,457.1	4,518.7	544.0	204.4	88.5	127.8	172.8	310.9	970.5	253.9	N/A	16,648.6
2000	8,503.0	3,844.0	447.1	490.8	148.2	146.1	217.9	1,154.2	1,149.2	468.1	N/A	16,568.7
2001	14,349.5	4,996.1	454.8	468.6	172.9	140.4	286.2	1,886.5	1,144.8	672.8	N/A	24,572.7
2002	18,834.5	6,141.1	1,404.1	1,307.5	450.7	170.3	143.3	2,474.5	1,267.6	981.3	N/A	33,174.8
2003	13,294.6	3,908.4	1,302.4	859.5	437.7	95.5	212.2	2,072.2	1,017.0	1,380.7	N/A	24,580.3
2004	12,641.4	3,930.6	1,199.5	1,342.1	489.7	133.6	253.2	2,467.5	1,053.5	1,478.8	N/A	24,989.8
2005	15,169.0	4,361.8	1,654.8	2,117.0	866.3	144.7	459.0	2,452.3	1,168.8	2,039.0	N/A	30,432.7
2006	16,672.4	5,384.7	2,169.4	2,283.1	924.7	168.8	537.2	3,679.2	1,335.6	3,532.0	1.8	36,688.8
2007	25,803.8	8,624.1	2,917.0	3,919.0	1,107.4	308.6	759.3	3,190.4	1,853.5	3,689.4	27.0	52,199.6
2008	20,825.2	7,601.5	4,569.4	3,415.8	1,686.1	327.2	759.5	4,897.7	2,524.7	5,358.0	13.0	51,978.2
2009	21,327.4	6,807.6	10,990.6	5,433.7	1,763.6	384.7	461.3	4,151.4	2,032.2	4,020.7	N/A	57,373.3
2010	15,243.1	4,174.9	10,420.2	5,072.0	4,088.3	232.0	239.3	2,884.8	1,477.6	6,099.7	56.1	49,988.1
2011	14,771.3	4,621.4	16,645.2	3,989.3	2,453.1	245.4	408.5	3,350.9	1,703.2	8,418.0	39.2	56,645.5
2012	18,070.2	4,893.0	23,453.2	5,028.8	1,737.0	331.3	595.9	1,370.6	2,239.6	11,358.7	124.0	69,202.3
2013	18,255.8	4,818.7	27,924.6	4,762.0	2,523.0	180.2	553.4	2,996.7	2,014.8	13,626.4	25.6	77,681.2
2014	20,307.7	6,199.9	35,155.3	5,863.4	1,300.2	254.8	435.7	2,800.0	2,100.9	16,733.6	18.7	91,170.1
2015	17,516.2	6,050.9	39,599.0	5,471.3	919.1	245.9	355.8	2,163.9	2,810.4	19,449.8	222.9	94,805.0
2016	20,446.5	6,673.1	52,121.2	8,156.3	844.0	271.9	390.8	3,266.7	2,959.0	24,705.7	145.2	119,980.4
2017	13,296.2	4,610.9	55,160.3	5,829.4	346.0	329.1	483.0	3,466.8	2,614.6	27,188.9	30.8	113,356.0
2018	11,119.6	3,581.2	60,186.2	5,334.4	407.7	713.1	594.9	2,861.9	2,432.0	34,159.1	136.9	121,526.9
2019	5,917.5	1,918.4	20,701.6	3,896.4	396.8	426.3	274.8	1,632.2	1,676.9	41,068.4	60.8	77,970.2
2020	3,051.8	1,176.7	13,566.9	2,619.2	547.5	349.1	301.7	1,460.3	1,254.5	46,919.5	34.6	71,281.9
2021	2,909.2	1,144.4	3,470.2	3,337.7	230.6	64.2	148.2	1,589.1	1,835.9	70,925.4	53.2	85,708.2
2022	1,877.1	1,458.4	1,948.2	2,044.7	38.2	105.3	358.3	3,843.8	976.1	205,804.5	106.5	218,561.0
Total	390,813.5	132,164.7	389,282.5	86,060.6	95,808.6	7,832.7	10,267.4	65,574.8	55,885.9	551,789.1	1,096.3	1,786,576.0

N/A: no aplica

Inventario de Emisiones de la Ciudad de México y su Zona Conurbada 2022

Tabla 3-30. Emisión de NOx por año modelo y tipo de vehículo de la CDMXyZC 2022

Año Modelo	Emisiones de NOx [t/año]											Total
	AP	SUV	TAX	VAN	MIC	V ≤ 3.8t	TRA	AUT	V > 3.8t	MC	MB/MXB	
1992 y ant	3,346.13	578.44	133.93	183.18	5,150.19	138.36	184.00	441.21	1,523.73	29.77	N/A	11,708.94
1993	731.33	160.72	36.63	55.25	555.31	17.58	22.10	65.46	169.87	4.38	N/A	1,818.64
1994	722.93	257.70	20.62	34.29	408.87	17.35	29.56	55.19	180.51	4.30	N/A	1,731.33
1995	835.01	261.07	52.63	41.24	89.38	12.66	24.72	48.26	101.50	3.41	N/A	1,469.87
1996	649.97	423.80	28.45	21.79	35.68	10.80	12.10	26.11	67.05	3.60	N/A	1,279.35
1997	592.51	686.33	10.73	42.81	68.95	16.01	42.64	370.93	98.59	5.01	N/A	1,934.50
1998	1,079.27	657.91	61.87	20.71	27.30	19.03	58.92	63.99	124.35	7.21	N/A	2,120.57
1999	1,713.41	733.68	157.44	29.60	22.27	17.53	76.08	119.09	158.29	9.48	N/A	3,036.86
2000	1,537.05	599.61	129.25	69.34	29.72	19.94	96.30	448.93	198.06	17.47	N/A	3,145.66
2001	2,091.88	685.38	131.33	59.11	28.47	17.17	125.85	743.35	196.07	24.17	N/A	4,102.79
2002	2,798.10	793.03	408.82	157.07	75.03	21.42	62.79	962.41	227.51	35.26	N/A	5,541.43
2003	2,741.73	648.04	597.81	144.41	71.49	15.30	93.49	809.04	180.49	49.57	N/A	5,351.39
2004	2,965.60	772.67	562.25	233.78	79.00	23.53	111.13	955.49	177.82	53.11	N/A	5,934.38
2005	3,409.29	939.89	775.25	384.39	131.62	26.45	201.82	961.67	208.90	73.21	N/A	7,112.50
2006	4,038.46	1,268.12	1,016.84	417.65	155.15	33.02	236.38	1,450.54	242.57	126.55	0.71	8,985.99
2007	5,785.73	1,741.73	1,403.09	714.81	174.86	52.96	338.45	1,267.17	390.23	132.36	10.97	12,012.36
2008	4,925.39	1,557.19	2,241.30	550.33	297.60	52.94	338.15	1,930.55	502.65	192.16	5.29	12,593.57
2009	4,954.10	1,369.31	5,071.64	1,072.29	267.22	63.09	226.62	1,797.55	368.47	144.31	N/A	15,334.59
2010	4,163.82	1,107.61	5,014.14	1,099.67	666.35	49.84	117.39	1,233.46	278.98	218.84	24.72	13,974.82
2011	4,025.24	1,200.50	7,755.47	769.49	400.27	48.94	199.95	1,443.56	346.16	302.49	17.54	16,509.62
2012	4,770.29	1,144.54	10,893.00	1,041.90	280.42	61.09	292.09	606.14	409.98	408.40	54.30	19,962.15
2013	4,208.20	815.81	12,750.03	804.89	387.46	28.41	271.75	1,440.56	408.30	489.55	11.45	21,616.42
2014	4,721.48	1,047.82	16,044.06	990.64	211.57	39.84	212.28	1,362.48	427.20	601.23	8.36	25,666.96
2015	3,532.20	932.77	20,104.75	865.70	146.63	37.15	173.54	1,241.51	519.80	698.17	98.10	28,350.31
2016	4,158.81	1,033.03	27,938.21	1,343.46	140.00	40.10	190.48	1,925.74	634.92	886.35	64.32	38,355.43
2017	3,057.79	804.72	34,908.73	1,055.23	93.59	52.73	236.41	2,512.35	739.85	974.61	13.75	44,449.74
2018	2,501.71	604.28	40,088.34	1,002.08	115.05	114.48	291.13	2,056.50	699.67	1,224.61	60.00	48,757.85
2019	937.64	314.15	9,916.97	701.13	198.45	121.31	245.12	1,545.64	762.89	1,471.30	49.30	16,263.89
2020	380.06	168.09	6,257.38	453.03	287.72	104.33	269.04	1,264.07	562.47	1,676.44	28.13	11,450.76
2021	376.51	156.36	1,497.92	521.15	85.83	15.49	131.71	1,178.72	770.52	2,530.15	42.83	7,307.20
2022	238.73	185.53	585.47	376.53	10.71	25.16	319.83	1,528.96	661.56	7,351.97	84.68	11,369.14
Total	81,990.38	23,649.84	206,594.40	15,256.95	10,692.16	1,313.99	5,231.80	31,856.61	12,338.97	19,749.44	574.46	409,249.00

N/A: no aplica

MEMORIA DE CÁLCULO

Tabla 3-31. Emisión de COT por año modelo y tipo de vehículo de la CDMXyZC 2022

Año Modelo	Emisiones de COT [t/año]											Total
	AP	SUV	TAX	VAN	MIC	V ≤ 3.8t	TRA	AUT	V > 3.8t	MC	MB/MXB	
1992 y ant	3,283.61	599.24	32.71	167.82	8,073.91	206.70	305.84	765.90	3,505.69	158.94	N/A	17,100.37
1993	720.59	166.36	7.57	51.49	762.60	37.92	37.10	113.47	350.79	22.52	N/A	2,270.42
1994	753.42	412.91	4.06	31.42	355.66	34.35	48.88	92.66	387.93	22.03	N/A	2,143.31
1995	851.54	415.28	9.85	37.08	97.80	23.40	40.90	95.64	200.06	17.17	N/A	1,788.74
1996	526.72	449.44	5.02	16.34	35.91	16.72	19.98	51.54	127.95	17.62	N/A	1,267.25
1997	473.50	681.95	2.14	50.24	115.61	21.33	70.48	755.45	204.10	23.80	N/A	2,398.60
1998	859.13	644.77	11.53	16.84	34.42	21.17	97.87	118.36	264.04	33.23	N/A	2,101.37
1999	1,369.99	791.13	28.27	25.48	39.38	25.22	125.90	227.43	336.71	42.80	N/A	3,012.32
2000	1,197.92	672.03	22.50	117.69	34.12	26.95	158.49	856.70	416.82	77.47	N/A	3,580.69
2001	1,454.84	518.21	19.41	91.66	29.24	20.37	208.43	1,459.11	417.36	89.46	N/A	4,308.08
2002	1,882.65	622.27	59.11	236.27	65.16	27.40	104.32	1,864.93	501.30	129.11	N/A	5,492.51
2003	1,364.96	419.21	64.32	144.94	59.81	13.92	154.51	1,545.55	367.55	154.79	N/A	4,289.57
2004	1,240.08	427.51	58.38	209.59	70.60	17.05	184.34	1,827.82	355.30	164.12	N/A	4,554.79
2005	1,476.17	481.40	81.26	289.11	105.16	23.32	334.56	1,831.20	435.84	223.89	N/A	5,281.92
2006	1,576.68	599.77	103.49	338.93	172.64	27.94	392.08	2,744.79	506.47	384.05	1.32	6,848.14
2007	2,405.95	1,029.60	142.01	447.90	134.00	70.59	633.44	2,642.07	932.80	396.51	23.17	8,858.04
2008	2,292.35	976.61	247.94	1,105.17	316.33	94.96	634.12	4,020.26	1,220.67	538.48	11.16	11,458.05
2009	2,291.34	896.88	661.96	883.41	220.64	102.16	490.53	4,377.76	892.10	399.61	N/A	11,216.39
2010	1,858.88	714.69	625.80	836.90	608.98	77.85	254.59	3,019.49	685.97	600.42	61.61	9,345.19
2011	1,733.13	741.55	1,030.88	1,306.92	396.17	94.88	434.85	3,514.62	905.58	819.35	43.00	11,020.93
2012	2,133.83	807.46	1,448.14	919.02	227.63	123.14	634.55	1,443.40	1,004.74	1,093.23	136.12	9,971.25
2013	2,376.40	855.25	1,748.83	1,287.80	303.78	56.56	589.45	3,124.73	1,061.34	1,265.87	28.06	12,698.08
2014	2,611.14	1,136.65	2,193.07	1,582.75	141.03	88.75	467.21	2,955.49	1,106.16	1,538.63	20.51	13,841.40
2015	2,565.03	1,149.90	2,814.67	1,836.86	136.52	77.97	381.61	2,242.96	1,224.04	1,770.63	244.61	14,444.80
2016	2,935.09	1,269.80	3,620.01	2,010.93	130.70	104.48	419.29	3,427.46	1,648.56	2,224.07	159.33	17,949.71
2017	1,928.59	980.84	3,029.33	2,055.66	42.38	155.85	518.28	3,653.67	1,920.84	2,394.44	33.79	16,713.67
2018	1,745.60	860.65	3,209.94	1,642.50	57.74	352.94	638.41	2,991.44	1,845.41	2,971.51	150.18	16,466.33
2019	629.49	328.54	1,024.83	661.89	157.36	198.79	294.00	1,578.16	948.49	3,528.31	66.67	9,416.52
2020	343.13	214.67	680.04	575.14	150.11	186.75	322.73	1,257.73	689.95	3,978.54	37.96	8,436.75
2021	357.90	183.60	176.97	590.29	35.04	23.56	158.55	1,139.50	920.96	5,915.25	58.37	9,560.00
2022	197.58	191.96	107.69	505.67	4.79	37.09	383.31	1,169.63	925.22	16,708.72	116.75	20,348.40
Total	47,437.24	20,240.11	23,271.75	20,073.73	13,115.21	2,390.09	9,538.61	56,908.92	26,310.75	47,704.58	1,192.62	268,183.60

N/A: no aplica

Inventario de Emisiones de la Ciudad de México y su Zona Conurbada 2022

Tabla 3-32. Emisión de COV por año modelo y tipo de vehículo de la CDMXyZC 2022

Año Modelo	AP	SUV	TAX	VAN	MIC	Emisiones de COV [t/año]				MC	MB/MXB	Total
						V ≤ 3.8t	TRA	AUT	V > 3.8t			
1992 y ant	3,182.08	580.40	31.86	163.12	6,205.99	200.69	299.25	741.44	3,402.30	155.96	N/A	14,963.09
1993	698.40	161.15	7.37	50.08	631.85	36.89	36.30	110.82	339.13	22.08	N/A	2,094.07
1994	730.92	397.66	3.95	30.46	323.30	33.28	47.84	90.16	375.08	21.59	N/A	2,054.24
1995	828.79	400.64	9.57	36.02	86.97	22.65	40.03	92.94	193.35	16.83	N/A	1,727.78
1996	509.94	429.03	4.85	15.69	32.52	16.21	19.57	50.11	124.57	17.30	N/A	1,219.80
1997	459.02	652.74	2.09	48.57	108.78	20.62	69.03	733.02	199.12	23.36	N/A	2,316.35
1998	834.51	619.29	11.21	16.28	26.38	20.44	95.84	115.47	257.85	32.60	N/A	2,029.86
1999	1,331.31	758.62	27.51	24.53	33.03	24.42	123.27	221.77	328.78	41.97	N/A	2,915.20
2000	1,167.35	643.66	21.86	113.75	26.30	25.99	155.21	834.03	407.01	75.94	N/A	3,471.12
2001	1,391.27	493.69	18.20	88.06	23.94	19.56	204.11	1,419.93	406.96	84.66	N/A	4,150.39
2002	1,798.06	591.91	55.41	227.12	56.77	26.32	102.16	1,815.95	488.19	122.11	N/A	5,283.99
2003	1,305.78	399.90	61.24	139.16	49.51	13.37	151.25	1,506.65	357.96	144.94	N/A	4,129.77
2004	1,175.14	399.95	55.16	198.52	56.64	16.11	180.46	1,782.12	345.97	152.95	N/A	4,363.02
2005	1,398.39	450.67	76.75	272.37	95.09	22.24	327.50	1,786.63	424.31	208.49	N/A	5,062.44
2006	1,493.22	561.94	97.72	320.40	162.62	26.68	383.78	2,678.00	492.74	357.40	1.29	6,575.79
2007	2,276.17	966.84	133.86	417.00	123.42	67.72	614.51	2,561.80	902.76	368.68	22.48	8,455.25
2008	2,178.27	918.80	232.66	1,064.96	296.97	91.50	615.16	3,898.88	1,178.91	492.48	10.83	10,979.43
2009	2,176.31	844.59	621.35	834.97	203.57	98.38	475.87	4,246.05	859.62	365.10	N/A	10,725.80
2010	1,768.02	676.59	587.01	789.80	565.98	75.01	246.98	2,928.89	661.30	548.05	59.77	8,907.40
2011	1,649.29	701.26	967.14	1,255.96	370.30	91.53	421.85	3,409.20	874.45	747.09	41.71	10,529.78
2012	2,033.04	764.93	1,358.50	870.28	210.40	118.76	615.58	1,400.11	968.34	995.73	132.04	9,467.70
2013	2,264.36	808.67	1,623.44	1,228.26	278.80	54.27	571.83	3,029.54	1,024.41	1,148.80	27.21	12,059.59
2014	2,486.77	1,075.66	2,036.22	1,509.52	128.63	85.33	453.25	2,845.82	1,067.68	1,394.88	19.89	13,103.65
2015	2,450.04	1,087.46	2,615.59	1,759.30	126.37	74.71	370.21	2,173.79	1,178.47	1,603.50	237.09	13,676.52
2016	2,802.43	1,200.47	3,355.38	1,908.07	121.69	100.55	406.76	3,305.96	1,592.11	2,011.79	154.44	16,959.63
2017	1,799.92	912.82	2,659.34	1,951.81	38.78	149.94	502.78	3,518.91	1,858.49	2,160.78	32.72	15,586.29
2018	1,636.78	806.89	2,811.94	1,548.98	46.23	339.82	619.32	2,885.52	1,786.41	2,678.01	145.45	15,305.36
2019	539.14	286.25	829.66	563.56	150.50	189.01	284.69	1,524.54	913.82	3,175.10	64.47	8,520.74
2020	297.25	189.21	553.81	509.21	141.70	178.90	312.51	1,208.11	664.31	3,574.94	36.71	7,666.66
2021	313.34	160.40	146.20	505.73	32.56	22.11	153.53	1,090.40	885.68	5,305.25	56.45	8,671.65
2022	171.93	162.59	93.33	454.10	4.45	34.71	371.17	1,115.08	894.98	14,940.61	112.90	18,355.85
Total	45,147.24	19,104.69	21,110.18	18,915.62	10,760.04	2,297.72	9,271.61	55,121.63	25,455.04	42,988.97	1,155.45	251,328.21

N/A: no aplica

MEMORIA DE CÁLCULO

Tabla 3-33. Emisión de tóxicos por año modelo y tipo de vehículo de la CDMXyZC 2022

Año Modelo	Emisiones de TÓXICOS [t/año]											Total
	AP	SUV	TAX	VAN	MIC	V ≤ 3.8t	TRA	AUT	V > 3.8t	MC	MB/MXB	
1992 y ant	1,007.73	182.96	9.16	39.16	1,447.05	49.51	52.17	159.79	794.40	49.74	N/A	3,791.67
1993	222.80	50.97	2.35	14.08	158.20	8.43	6.18	22.70	77.91	7.04	N/A	570.67
1994	231.79	124.88	1.26	9.82	92.35	8.29	7.90	21.31	96.11	6.89	N/A	600.58
1995	262.80	125.81	3.04	11.60	19.08	6.37	6.64	34.18	44.73	5.37	N/A	519.61
1996	162.05	135.51	1.54	4.98	8.09	4.29	3.18	18.32	30.90	5.52	N/A	374.36
1997	146.01	206.14	0.66	17.64	33.40	6.00	11.34	301.43	49.96	7.45	N/A	780.04
1998	265.74	195.64	3.56	5.46	9.25	6.04	15.98	30.70	60.70	10.40	N/A	603.46
1999	423.89	239.34	8.72	8.15	11.84	6.82	21.14	62.45	85.72	13.39	N/A	881.46
2000	372.10	203.27	6.94	44.39	8.11	8.25	25.75	255.53	108.62	24.24	N/A	1,057.19
2001	453.74	160.35	5.78	33.89	6.94	5.97	33.97	459.41	91.14	27.34	N/A	1,278.53
2002	586.49	191.97	17.69	77.48	18.00	9.53	16.86	498.72	129.04	39.45	N/A	1,585.22
2003	431.56	131.35	19.68	49.95	15.15	4.31	24.82	402.61	79.15	47.65	N/A	1,206.23
2004	366.45	121.78	16.98	65.93	16.79	4.39	29.42	475.01	71.35	47.17	N/A	1,215.26
2005	435.60	137.44	23.54	84.53	28.66	6.23	53.98	455.05	88.57	64.24	N/A	1,377.84
2006	468.29	170.27	30.16	101.32	38.35	6.78	63.97	596.48	107.00	110.02	0.21	1,692.85
2007	719.26	314.05	40.86	146.52	37.43	26.50	257.02	1,090.31	369.42	113.42	9.40	3,124.19
2008	696.37	298.28	69.97	432.99	104.74	36.72	257.30	1,651.36	483.27	151.85	4.53	4,187.36
2009	694.54	277.21	183.95	308.64	65.28	39.33	199.04	1,751.14	348.82	112.46	N/A	3,980.40
2010	572.73	231.76	173.62	290.58	188.25	30.13	103.30	1,237.55	269.03	168.62	25.00	3,290.57
2011	535.52	238.13	284.99	504.80	126.99	37.04	176.44	1,441.98	357.96	229.65	17.45	3,950.94
2012	670.01	264.83	400.31	326.64	65.86	48.08	257.48	601.28	393.49	305.73	55.23	3,388.94
2013	755.83	285.60	485.50	482.20	87.54	21.52	239.18	1,288.15	419.72	352.44	11.38	4,429.06
2014	830.51	384.04	609.64	592.61	36.65	34.17	189.58	1,189.84	437.27	427.38	8.32	4,740.00
2015	831.44	386.59	788.86	701.95	42.56	29.50	154.84	931.79	478.11	490.55	99.17	4,935.35
2016	951.31	428.13	1,011.91	733.08	40.90	40.60	170.13	1,341.70	653.59	614.53	64.59	6,050.48
2017	616.92	332.48	878.31	780.38	12.35	61.26	210.29	1,468.28	769.91	658.86	13.69	5,802.73
2018	576.03	300.96	924.69	610.22	14.55	139.14	259.04	1,226.21	741.66	815.13	60.84	5,668.48
2019	182.28	103.98	278.74	213.45	56.36	77.38	119.07	656.91	375.97	964.46	26.96	3,055.56
2020	103.71	70.06	187.07	198.82	40.42	74.14	130.71	485.80	272.46	1,083.11	15.36	2,661.66
2021	100.97	62.03	49.46	192.10	8.24	8.95	155.25	441.00	480.09	1,602.55	23.61	3,124.25
2022	78.61	60.35	32.07	179.32	1.42	14.01	64.22	421.28	255.19	4,494.61	47.22	5,648.32
Total	14,753.09	6,416.16	6,551.00	7,262.65	2,840.82	859.67	3,316.16	21,018.26	9,021.26	13,051.23	482.95	85,573.27

N/A: no aplica

Inventario de Emisiones de la Ciudad de México y su Zona Conurbada 2022

Tabla 3-34. Emisión de CN por año modelo y tipo de vehículo de la CDMXyZC 2022

Año Modelo	AP	SUV	TAX	VAN	MIC	Emisiones de CN [t/año]		AUT	V > 3.8t	MC	MB/MXB	Total
						V ≤ 3.8t	TRA					
1992 y ant	125.35	13.05	3.30	4.09	24.04	3.10	18.02	33.23	47.99	0.14	N/A	272.32
1993	28.98	3.62	0.94	1.51	2.92	0.76	2.11	5.20	4.20	0.02	N/A	50.25
1994	6.34	1.92	0.10	0.33	0.59	0.42	1.44	2.31	4.21	0.02	N/A	17.67
1995	7.25	1.95	0.23	0.39	0.17	0.23	1.21	1.96	1.96	0.02	N/A	15.35
1996	5.03	2.86	0.11	0.18	0.07	0.24	0.59	1.10	1.19	0.02	N/A	11.39
1997	4.66	4.33	0.05	0.63	0.64	0.24	2.08	14.40	2.30	0.02	N/A	29.36
1998	8.56	4.17	0.26	0.20	0.18	0.17	1.92	1.78	1.35	0.03	N/A	18.62
1999	13.72	4.71	0.63	0.27	0.25	0.22	2.51	3.44	1.80	0.05	N/A	27.60
2000	13.09	4.11	0.53	1.16	0.11	0.22	3.19	12.65	2.29	0.08	N/A	37.42
2001	15.16	4.11	0.47	0.98	0.10	0.18	4.13	21.22	2.27	0.10	N/A	48.73
2002	19.32	4.44	1.42	2.45	0.19	0.25	2.05	27.34	2.80	0.15	N/A	60.39
2003	15.25	3.26	1.52	1.60	0.14	0.13	3.07	23.07	2.08	0.21	N/A	50.33
2004	12.50	2.86	1.09	2.06	0.15	0.14	3.62	27.07	1.96	0.17	N/A	51.62
2005	15.01	3.49	1.52	3.07	0.24	0.20	6.59	27.55	2.52	0.23	N/A	60.43
2006	17.43	4.74	1.98	3.41	0.99	0.25	7.73	41.55	2.94	0.40	0.02	81.46
2007	12.49	4.54	1.61	2.98	0.30	0.51	11.04	36.54	5.21	0.42	0.31	75.97
2008	7.93	3.13	2.99	8.70	1.57	0.70	10.99	55.46	6.17	0.61	0.15	98.41
2009	7.99	3.20	8.22	5.86	0.62	0.83	10.72	71.70	6.15	0.46	N/A	115.76
2010	7.35	3.35	7.92	5.53	2.50	0.65	5.55	49.29	4.69	0.70	1.03	88.56
2011	7.18	3.39	13.23	11.52	1.90	0.84	9.40	57.64	6.01	0.97	0.72	112.80
2012	9.72	4.07	18.72	6.53	0.67	1.09	13.74	23.60	6.50	1.31	2.28	88.21
2013	6.95	3.94	20.44	9.80	0.67	0.45	12.76	53.99	7.09	1.56	0.47	118.12
2014	7.67	5.58	25.65	12.04	0.10	0.74	9.81	50.79	7.38	1.92	0.34	122.03
2015	5.36	4.79	21.29	14.50	0.53	0.59	8.01	42.54	7.83	2.23	4.09	111.76
2016	5.96	5.40	27.79	12.88	0.54	0.88	8.79	64.83	11.03	2.82	2.67	143.59
2017	3.85	4.86	27.87	16.41	0.05	1.40	10.93	78.26	13.50	3.09	0.57	160.78
2018	4.84	4.88	28.22	12.13	0.06	3.20	13.46	64.08	12.94	3.89	2.51	150.20
2019	2.46	2.67	2.00	6.85	2.16	3.04	8.56	42.09	10.01	4.66	1.54	86.03
2020	1.41	1.80	0.92	6.89	1.15	2.96	9.40	32.75	7.34	5.26	0.87	70.75
2021	1.94	1.32	0.20	6.02	0.02	0.33	4.62	28.81	9.72	7.90	1.34	62.24
2022	0.88	0.90	0.15	6.40	0.00	0.53	11.16	22.58	10.36	23.06	2.69	78.72
Total	401.63	121.44	221.37	167.38	43.62	25.48	219.19	1,018.82	213.80	62.55	21.60	2,516.87

N/A: no aplica

MEMORIA DE CÁLCULO

Tabla 3-35. Emisión de CO₂ por año modelo y tipo de vehículo de la CDMXyZC 2022

Año Modelo	Emisiones de CO ₂ [t/año]											
	AP	SUV	TAX	VAN	MIC	V ≤ 3.8t	TRA	AUT	V > 3.8t	MC	MB/MXB	Total
1992 y ant	272,582	53,159	2,061	24,865	881,108	15,616	19,757	46,237	166,033	12,700	N/A	1,494,117
1993	58,546	14,930	512	7,242	94,927	1,802	2,368	6,910	20,112	1,889	N/A	209,240
1994	56,515	23,293	340	4,607	92,670	1,913	3,159	6,454	22,878	1,906	N/A	213,735
1995	64,350	24,272	494	5,631	19,103	1,387	2,639	4,137	13,657	1,533	N/A	137,203
1996	44,870	34,678	256	2,814	7,834	1,116	1,287	2,282	9,300	1,638	N/A	106,074
1997	42,338	56,517	110	5,909	11,963	1,671	4,552	29,809	12,690	2,309	N/A	167,866
1998	77,585	54,322	616	2,874	6,080	1,944	6,286	5,969	18,438	3,350	N/A	177,464
1999	115,984	62,021	1,513	4,150	5,020	1,842	8,114	10,658	24,213	4,479	N/A	237,994
2000	110,633	54,186	1,318	10,016	9,308	2,261	10,259	38,594	30,593	8,257	N/A	275,426
2001	148,914	66,583	1,525	9,204	10,732	2,116	13,426	61,774	31,684	10,741	N/A	356,699
2002	187,233	72,389	4,683	24,247	29,463	2,603	6,701	78,938	34,922	15,661	N/A	456,841
2003	202,395	75,351	7,043	24,726	27,564	2,085	9,964	67,494	29,523	22,036	N/A	468,182
2004	210,322	81,531	7,359	39,228	30,905	3,014	11,848	80,105	30,280	23,594	N/A	518,186
2005	251,424	97,802	11,374	63,914	54,087	3,373	21,509	79,423	33,854	32,528	N/A	649,289
2006	294,765	132,713	16,829	69,886	54,767	4,325	25,206	118,233	39,846	56,357	69	812,997
2007	472,096	215,747	18,999	126,389	71,674	8,239	36,106	104,391	57,867	58,834	1,067	1,171,411
2008	547,160	237,270	34,332	109,901	106,277	9,001	36,096	161,129	79,355	85,432	514	1,406,468
2009	565,376	221,077	93,002	252,817	111,680	12,997	38,457	233,266	81,285	64,081	N/A	1,674,038
2010	510,773	193,380	88,308	263,665	266,989	10,698	19,951	162,186	62,141	97,232	3,889	1,679,214
2011	500,446	199,923	154,790	174,260	158,847	10,153	33,980	187,859	75,575	134,131	2,714	1,632,679
2012	623,542	211,196	219,421	233,971	114,977	13,040	49,603	80,219	95,084	180,954	8,593	1,830,600
2013	907,580	274,546	289,727	270,811	163,551	8,924	46,071	187,896	89,520	217,131	1,771	2,457,529
2014	998,079	345,954	373,681	330,406	87,540	12,265	34,718	173,429	92,414	266,554	1,255	2,716,295
2015	1,068,932	398,644	535,844	337,221	59,321	13,601	28,359	158,703	122,950	309,810	14,972	3,048,358
2016	1,228,991	430,670	683,053	557,514	54,684	13,753	31,143	244,167	135,733	393,467	9,752	3,782,925
2017	1,287,880	435,585	905,117	469,529	47,283	19,581	37,493	306,531	160,234	432,978	2,004	4,104,215
2018	1,075,946	355,520	962,557	459,847	53,700	40,228	46,182	253,560	147,888	543,746	8,911	3,948,086
2019	958,954	349,368	605,881	790,035	59,834	49,299	38,849	201,469	165,922	653,594	7,195	3,880,400
2020	533,097	225,580	424,421	521,944	100,259	36,582	42,645	182,934	122,860	746,989	4,098	2,941,410
2021	512,013	239,759	118,674	696,922	37,065	8,650	20,951	195,913	174,234	1,129,122	6,301	3,139,605
2022	351,299	317,967	90,213	385,447	5,268	14,458	50,650	463,975	106,978	3,272,451	12,604	5,071,311
Total	14,280,618	5,555,936	5,654,050	6,279,993	2,834,481	328,540	738,332	3,934,646	2,288,063	8,785,486	85,710	50,765,855

N/A: no aplica

Tabla 3-36. Emisión de CH₄ por año modelo y tipo de vehículo de la CDMXyZC 2022

Año Modelo	Emisiones de CH ₄ [t/año]												Total
	AP	SUV	TAX	VAN	MIC	V ≤ 3.8t	TRA	AUT	V > 3.8t	MC	MB/MXB		
1992 y ant	56.64	10.34	0.19	2.68	1,438.81	2.34	0.81	8.26	34.36	1.56	N/A	1,555.98	
1993	12.56	2.88	0.05	0.74	99.32	0.35	0.10	0.46	5.09	0.23	N/A	121.78	
1994	12.30	8.52	0.03	0.51	25.02	0.46	0.13	0.64	5.32	0.23	N/A	53.18	
1995	11.23	7.89	0.03	0.55	7.56	0.35	0.11	0.27	3.10	0.18	N/A	31.27	
1996	10.15	13.97	0.03	0.43	2.57	0.26	0.04	0.13	0.97	0.15	N/A	28.69	
1997	8.60	19.39	0.01	0.63	3.92	0.37	0.15	1.81	0.91	0.20	N/A	35.98	
1998	13.94	16.19	0.06	0.30	6.88	0.40	0.20	0.34	1.21	0.29	N/A	39.83	
1999	21.24	20.68	0.15	0.55	5.21	0.39	0.27	0.54	1.53	0.39	N/A	50.94	
2000	16.22	18.39	0.10	1.14	6.98	0.46	0.34	2.68	1.77	0.71	N/A	48.79	
2001	23.11	6.98	0.22	0.64	4.38	0.22	0.44	3.94	1.54	0.73	N/A	42.20	
2002	32.03	9.36	0.70	1.55	5.48	0.26	0.22	7.30	1.88	1.07	N/A	59.87	
2003	22.49	6.23	0.63	1.15	7.49	0.18	0.39	4.66	1.50	1.51	N/A	46.24	
2004	32.85	14.77	0.90	4.26	10.94	0.45	0.47	4.69	1.59	2.32	N/A	73.24	
2005	39.22	16.38	1.41	6.94	3.64	0.45	0.85	4.69	1.89	3.19	N/A	78.66	
2006	42.32	19.78	1.99	7.33	2.49	0.52	1.00	9.47	2.37	5.51	0.003	92.78	
2007	65.68	31.20	2.52	13.57	2.18	0.81	1.38	7.24	3.21	5.76	0.05	133.60	
2008	60.90	31.32	5.20	8.57	4.01	0.81	1.38	9.87	5.85	14.62	0.03	142.56	
2009	62.08	27.93	13.52	20.52	3.00	0.93	1.07	10.41	5.60	10.97	N/A	156.03	
2010	48.85	18.99	13.17	20.38	8.35	0.66	0.55	6.89	3.97	16.64	0.14	138.58	
2011	45.29	20.47	22.06	12.93	4.26	0.70	0.95	7.95	4.15	22.95	0.10	141.80	
2012	53.66	20.78	31.38	19.76	3.22	0.93	1.38	3.52	5.70	30.96	0.30	171.60	
2013	71.36	26.24	53.68	23.36	4.86	0.76	1.28	8.47	5.07	37.22	0.07	232.37	
2014	79.37	33.45	69.23	28.76	2.61	1.01	1.02	28.08	5.22	45.69	0.05	294.48	
2015	77.80	37.30	101.00	28.13	2.06	1.21	0.83	6.98	7.23	53.14	0.74	316.44	
2016	91.07	41.12	137.74	49.78	1.55	1.12	0.91	27.35	7.46	67.48	0.48	426.07	
2017	96.15	42.48	180.64	44.16	1.63	1.57	1.14	31.93	8.56	74.29	0.13	482.67	
2018	79.65	32.25	195.85	45.07	8.11	3.30	1.40	22.07	7.98	93.27	0.57	489.53	
2019	83.92	36.65	117.58	77.05	2.27	4.17	1.18	9.81	8.19	112.47	0.36	453.64	
2020	44.29	22.64	79.78	48.04	4.74	2.69	1.29	14.63	6.09	128.43	0.20	352.82	
2021	44.59	26.26	20.32	65.65	1.33	0.80	0.64	16.86	9.14	193.93	0.31	379.84	
2022	31.14	34.93	10.87	35.96	0.12	1.36	1.54	17.41	4.50	561.23	0.63	699.69	
Total	1,390.71	675.73	1,061.05	571.09	1,684.99	30.29	23.46	279.37	162.97	1,487.32	4.17	7,371.16	

N/A: no aplica

MEMORIA DE CÁLCULO

Tabla 3-37. Emisión de N₂O por año modelo y tipo de vehículo de la CDMXyZC 2022

Año Modelo	Emisiones de N ₂ O [t/año]											Total
	AP	SUV	TAX	VAN	MIC	V ≤ 3.8t	TRA	AUT	V > 3.8t	MC	MB/MXB	
1992 y ant	76.08	22.39	0.21	3.55	86.54	2.31	0.06	1.46	11.20	0.24	N/A	204.05
1993	16.02	6.20	0.06	1.07	7.53	0.35	0.01	0.14	1.96	0.03	N/A	33.36
1994	13.37	8.34	0.03	0.63	5.30	0.33	0.01	0.18	2.46	0.03	N/A	30.67
1995	12.58	7.02	0.03	0.63	1.21	0.26	0.01	0.04	1.50	0.03	N/A	23.29
1996	8.04	9.57	0.01	0.31	0.76	0.19	0.003	0.02	1.68	0.02	N/A	20.59
1997	7.25	14.59	0.01	0.50	0.96	0.31	0.01	0.19	1.69	0.03	N/A	25.53
1998	11.63	11.64	0.03	0.22	0.48	0.29	0.02	0.10	2.91	0.04	N/A	27.37
1999	13.81	10.85	0.05	0.27	0.39	0.22	0.02	0.08	3.02	0.05	N/A	28.76
2000	11.58	9.71	0.04	0.44	0.74	0.27	0.03	0.43	2.88	0.09	N/A	26.20
2001	5.33	2.70	0.01	0.10	0.40	0.07	0.03	0.28	1.53	0.12	N/A	10.58
2002	6.51	2.89	0.04	0.26	1.14	0.07	0.02	0.40	1.56	0.18	N/A	13.06
2003	6.84	2.93	0.06	0.29	1.02	0.06	0.03	0.33	1.39	0.25	N/A	13.20
2004	6.87	3.09	0.06	0.47	1.10	0.09	0.03	0.42	1.44	0.26	N/A	13.84
2005	7.91	3.54	0.09	0.77	1.68	0.09	0.05	0.35	1.31	0.36	N/A	16.16
2006	8.99	4.70	0.13	0.83	1.54	0.12	0.06	0.51	1.52	0.62	0.0003	19.03
2007	13.82	7.03	0.15	1.48	2.37	0.17	0.09	0.45	1.75	0.64	0.005	27.95
2008	15.97	8.42	0.28	1.15	3.49	0.19	0.09	0.91	2.15	0.92	0.002	33.57
2009	16.09	7.34	0.73	3.01	3.17	0.22	0.10	0.97	2.38	0.68	N/A	34.67
2010	13.78	5.99	0.68	3.06	8.20	0.17	0.05	0.72	1.66	1.02	0.02	35.35
2011	8.78	4.27	1.13	1.27	1.55	0.12	0.08	0.77	0.68	1.39	0.01	20.06
2012	10.74	4.38	1.60	1.87	1.40	0.15	0.12	0.68	0.90	1.86	0.04	23.75
2013	15.45	5.63	2.13	2.10	1.44	0.12	0.11	0.79	0.71	2.21	0.01	30.71
2014	16.76	6.94	2.74	2.57	1.33	0.16	0.09	1.08	0.79	2.69	0.01	35.15
2015	17.71	7.96	3.93	2.59	0.46	0.19	0.07	0.87	1.08	3.09	0.07	38.03
2016	20.20	8.49	5.16	4.46	0.59	0.18	0.08	2.00	1.18	3.88	0.04	46.24
2017	20.96	8.49	6.84	3.69	0.39	0.24	0.10	1.58	1.31	4.21	0.01	47.83
2018	17.36	6.80	7.21	3.70	0.54	0.50	0.12	1.34	1.20	5.22	0.04	44.05
2019	15.41	6.66	4.55	6.46	1.41	0.58	0.10	0.94	1.23	6.18	0.03	43.55
2020	8.53	4.27	3.22	4.26	4.66	0.37	0.11	1.53	0.96	6.95	0.02	34.88
2021	8.15	4.53	0.90	5.75	1.11	0.11	0.06	1.48	1.40	10.29	0.03	33.80
2022	5.62	6.02	0.69	3.17	0.04	0.19	0.14	4.14	0.53	28.89	0.06	49.49
Total	438.14	223.33	42.81	60.93	142.94	8.69	1.91	25.19	57.95	82.45	0.39	1,084.75

N/A: no aplica

Capítulo 4 FUENTES NATURALES



FUENTES NATURALES

Vegetación y suelos

Para el año 2022, el cálculo de las emisiones por vegetación se efectuó a través del modelo *Model of Emissions of Gases and Aerosols from Nature* versión 2.1 (MEGAN, por sus siglas en inglés) de la U.S. EPA, que se encuentra integrado dentro del Sistema de Pronóstico Calidad del Aire de la Ciudad de México que está a cargo de la Dirección de Monitoreo de Calidad del Aire de la SEDEMA. El Modelo cuantifica las emisiones a partir de los diferentes tipos de vegetación que se ubican en la Ciudad de México y su Zona Conurbada.

La modelación se lleva a cabo a partir de bases de datos satelitales (MODIS¹⁹) con una cobertura de uso de suelo espacial de 1 km² o menos, y con variables meteorológicas de la Ciudad de México, 59 municipios del Estado de México y el municipio de Tizayuca. Cuantifica las emisiones generadas por la vegetación de alrededor de 150 especies químicas.

A continuación, se presenta un ejemplo de archivo de salida del modelo con las emisiones obtenidas (Ver Tabla 4-1); los campos se identifican por año, el mes y día de la emisión, estas emisiones se reportan para cada una de las celdas, los valores de las columnas “xind” y “yind”, son las coordenadas; el modelo calcula las emisiones de acetaldehído (ALD2), aldehídos (ALDX), compuestos orgánicos volátiles (COV), eteno (ETH), formaldehído (FORM), metanol (MEOH), tolueno (TOL), xilenos (XYL) y óxidos de nitrógeno (NOX). Finalmente, los datos se agrupan para tener una emisión total por año, entidad y municipio.

Tabla 4-1. Contaminante por año, mes, día y celda

Año	Mes	Día	xind	yind	Contaminante	kg/día
2022	5	2	1	86	ALD2	0.165
2022	5	2	1	86	ALDX	0.67
2022	5	2	1	86	COV	0.180
2022	5	2	1	86	ETH	0.496
2022	5	2	1	86	FORM	0.36
2022	5	2	1	86	MEOH	0.17
2022	5	2	1	86	TOL	0.28
2022	5	2	1	86	XYL	0.52
2022	5	2	1	86	NOX	0.20

Erosión eólica del suelo

La estimación de emisiones por erosión eólica es mediante las siguientes etapas:

Integración de base de datos geográficos

Para la integración de base de datos geográficos, se utiliza la cobertura de uso del suelo y vegetación serie INEGI VI (2017), la cartografía de la Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial (PAOT) (2008) y Áreas Naturales Protegidas Estatales y Nacionales de la República Mexicana (CONANP) (2017).

¹⁹ MODIS. Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer. NASA. E.U

Identificación y cuantificación de las superficies

De acuerdo con la cartografía se identifican y cuantifican las áreas sin cobertura vegetal de la Ciudad de México y municipios conurbados de la CDMXyZC; superficies caracterizadas como suelos agrícolas temporales, zonas rurales, asentamientos irregulares, las cuales son susceptibles a erosión eólica, por no contar con una protección vegetal natural, durante todo el año o una parte de año y por lo tanto están expuestas a la erosión eólica. La CDMXyZC se divide en regiones con la finalidad de obtener condiciones climáticas diferenciadas, porque la metrópoli no es homogénea. Ver Tabla 4-2.

Tabla 4-2. Alcaldías y municipios de la CDMXyZC por región

Región 1	Región 2	Región 3
Álvaro Obregón	Apaxco	Acolman
Amecameca	Atizapán de Zaragoza	Atenco
Atlautla	Ayapango	Axapusco
Benito Juárez	Azcapotzalco	Chiautla
Cuajimalpa de Morelos	Chalco	Chiconcuac
Ecatzingo	Chicoloapan	Chimalhuacán
Huixquilucan	Cocotitlán	Coacalco de Berriozábal
Isidro Fabela	Coyoacán	Ecatepec de Morelos
Jilotzingo	Coyotepec	Jaltenco
La Magdalena Contreras	Cuauhtémoc	La Paz
Miguel Hidalgo	Cuautitlán	Melchor Ocampo
Naucalpan de Juárez	Cuautitlán Izcalli	Nextlalpan
Nicolás Romero	Gustavo A. Madero	Nezahualcóyotl
Ozumba	Huehuetoca	Nopaltepec
Tepetlixpa	Hueypoxtla	Otumba
Tlalmanalco	Ixtapaluca	Papalotla
Tlalpan	Iztacalco	San Martín de las Pirámides
Villa del Carbón	Iztapalapa	Tecámac
	Juchitepec	Temascalapa
	Milpa Alta	Teotihuacán
	Temamatla	Texcoco
	Tenango del Aire	Tezoyuca
	Teoloyucan	Tizayuca
	Tepetlaotoc	Tonanitla
	Tepetzotlán	Tultepec
	Tequixquiac	Tultitlán
	Tláhuac	Zumpango
	Tlalnepantla de Baz	
	Valle de Chalco Solidaridad	
	Venustiano Carranza	
	Xochimilco	

Cuantificación de variables meteorológicas

Los datos meteorológicos son proporcionados por la Red de Meteorología y Radiación Solar (RedMet) del Sistema de Monitoreo Atmosférico de la Dirección de Monitoreo de Calidad del Aire de la SEDEMA y de la Comisión del Agua del Estado de México (CAEM). Se estima la precipitación pluvial, la temperatura y la velocidad del viento por región y mes, los cuales son utilizados para el cálculo de emisiones. Ver Tabla 4-3.

MEMORIA DE CÁLCULO

Tabla 4-3. Valor promedio de variables meteorológicas por región

Variable	Región 1	Región 2	Región 3
Precipitación acumulada (mm)	72.01	41.82	37.58
Temperatura (°C)	15.7	17.2	16.1
Velocidad del viento (m/s)	1.4	1.3	0.8

Cálculo de emisiones por partículas

La ecuación de erosionabilidad es el método de cálculo aplicado para la estimación de partículas generadas por erosión eólica, conforme al Manual del Programa de Inventarios de Emisiones en México (RADIAN LLC, 1997); método desarrollado por el Departamento de Agricultura de Estados Unidos (U.S. DA, por sus siglas en inglés) (U.S. EPA, 1997)²⁰.

El perfil considerado para la estimación de material particulado de PM10 y PM2.5 propuesto, es la especiación de CEIDARS²¹, donde se considera que las PM10 representan aproximadamente el 50% de las partículas suspendidas totales (PST) y PM2.5 representa el 11% de las PST.

A continuación, se describe la ecuación de erosionabilidad de partículas suspendidas por las condiciones del viento y la cantidad de suelo que se arrastra sobre la superficie.

Ecuación 4-1. Cálculo de emisión de contaminante por partículas

$$E = FS \cdot I \cdot C \cdot K \cdot L' \cdot V'$$

Donde:

- E= factor de emisión de partículas suspendidas, [t/acre/año]
- FS= fracción de las pérdidas totales por erosión del viento medidas como partículas suspendidas, adimensional
- I= erosionabilidad del suelo, [t/acre/año]
- C= factor climático, adimensional
- K= factor de rugosidad del suelo, adimensional
- L'= factor de amplitud del campo sin protección, adimensional
- V'= factor de cobertura vegetal, adimensional

FS representa la fracción de partículas suspendidas por la erosión del viento. Se contempla el valor de 2.5% para suelos agrícolas y 3.8% para las vialidades sin pavimentar y otras áreas.

Para identificar el factor de erosionabilidad del suelo (I) de la CDMXyZC, se consultó el estudio "Bases para el Manejo Ambiental de la Zona Oriente del Valle de México"²², en conjunto con el análisis de los Prontuarios²³ por alcaldías y municipios, que definen los suelos predominantes: andosol, vertisol, feozem y solonchak; que presentan en general una textura de media a gruesa, en mayor proporción arena (50% aproximadamente) y en menor cantidad limo y arcilla, con una clase de textura de 56 toneladas/acre/año para el factor (I).

Para el factor climático (C), se toma en cuenta la velocidad del viento y la humedad del suelo característicos por región; es importante resaltar que la tasa de movimiento del suelo varía directamente con la velocidad del viento e inversamente con la humedad de la superficie, la ecuación para estimar el factor es la siguiente:

20 Radian International, LLC. (1997). Manuales del Programa de Inventario de Emisiones en México. Volumen V, de Fuentes de Área- Erosión eólica. Consultado en julio, de 2019 de: https://www3.epa.gov/ttnca1/cica/other3_s.html

21 CARB (2024). Speciation Profiles Used in CARB Modeling – Particulate Matter and Organic Gas Speciation Profil 416, [base de datos]. California Air Resources Board (CARB). <https://ww2.arb.ca.gov/es/speciation-profiles-used-carb-modeling>

22 SEDEMA-Chapingo (2000). Bases para la rehabilitación ambiental del área metropolitana. Diagnóstico y evaluación del riesgo de erosión eólica en la cuenca de México y áreas adyacentes. Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal-Universidad Autónoma Chapingo.

23 INEGI (2009). Prontuarios de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Edafología por municipio. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México.

Ecuación 4-2. Cálculo del factor climático

$$C = \frac{0.345V^3}{[115 \sum_1^{12} (Pm_i/Tm_i - 10)^{10/9}]^2}$$

Donde:

V= velocidad promedio del viento, corregido a 10 metros, [mi/h]

Pm = precipitación mensual, [pulgadas]

Tm = temperatura promedio mensual, [°F]

El factor de rugosidad del suelo (K), se refiere a la reducción en la erosión eólica a causa de la presencia de cerros, lomas, canales, surcos, entre los principales. Cuando es mínima la presencia de estas características, se estima un valor de rugosidad de 1 y para el caso de las áreas agrícolas se utilizó un valor de 0.6.

El factor de amplitud de campo sin protección (L') se fundamenta en el producto de los factores de erosionabilidad (I) y rugosidad (K), para la amplitud de campo (L) se tomó un valor de 0.76 para las áreas de cultivos y de 0.32 para áreas con un uso diferente al agrícola (USEPA, 1997; Návar y Treviño 1997)²⁴

El factor (V') es la fracción anual de pérdida de suelo debido a que el campo tiene una cubierta vegetal, en el presente cálculo se hicieron dos suposiciones, considerando V' = 1 cuando el suelo no tiene cobertura vegetal y V' = 0.5 si existe cobertura vegetal, (RADIANT LLC, 1997).

Parámetros aplicados a la ecuación de erosionabilidad

Los parámetros estimados para el cálculo de erosión eólica por región y temporada se muestran a continuación:

Tabla 4-4. Parámetros para el cálculo de erosión eólica por temporada y región

Parámetro		Temporada / Región								
		Seca			Fría			Lluvia		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3
Fracción de partículas suspendidas 2.5% (agrícola)	FS					2.50%				
Fracción de partículas suspendidas 3.8% (otros)	FS					3.80%				
Erosionabilidad (ton/acre/año)	I					56				
Factor climático	C	0.0033	0.0107	0.0035	0.0033	0.0107	0.0035	0.0033	0.0107	0.0035
Factor de rugosidad (agrícola)	K					0.6				
Factor de rugosidad (otros)	K					1				
Factor amplitud del campo sin protección (agrícola)	L'					0.76				
Factor amplitud del campo sin protección (otros)	L'					0.32				
Factor de cobertura vegetal (sin vegetación)	V'S					1				
Factor de cobertura vegetal (con vegetación)	V'C					0.5				
Velocidad de viento (millas/hora)	V	3.19	3.02	1.99	3.19	3.02	1.99	3.19	3.02	1.99

Fuente: CAEM (2023). Registro de variables meteorológicas del Estado de México del año 2022. SEDEMA (2024). Registro de variables meteorológicas de la Ciudad de México y del Estado de México del año 2022.

24 Návar y Treviño (1997). Estimación del tonelaje de partículas de suelo que potencialmente contribuye a la contaminación del aire en el área de Monterrey, México.

Especiación de compuestos Tóxicos

La cubierta vegetal también emite compuestos tóxicos, que son estimados con el modelo MEGAN, que contempla contaminantes tóxicos, ver Tabla 4-5. Las emisiones se obtienen por contaminante, día, celda y hora en toneladas al año.

Tabla 4-5. Contaminantes tóxicos generados por la vegetación

Fuente	Especie	CAS
Vegetación	Acetaldehído	75-07-0
	Aldehído	--
	Eteno	74-85-1
	Formaldehído	50-00-0
	Isopreno	78-79-5
	Metanol	67-56-1
	Tolueno	108-88-3
	Xileno	1330-20-7

Para cuantificar los compuestos tóxicos del material particulado por erosión eólica, se utiliza el perfil de especiación 416 de CARB (windblown dust-unpaved rd/area); en la siguiente tabla se presenta dicho perfil.

Nota: Las fracciones de contribución presentadas en la tabla no suman 1, la fracción restante corresponde a especies no identificadas.

Tabla 4-6. Perfil de especiación para erosión eólica

Especie	CAS	PM10 Fracción de contribución	Tóxico
Aluminio	7429-90-5	0.095891	Sí
Amonio	7664-41-7	0.000112	No
Antimonio	7440-36-0	0.000009	Sí
Arsénico	7440-38-2	0.000025	Sí
Azufre	7704-34-9	0.001758	No
Azufre no sulfatado	-	0.000778	No
Bario	7440-39-3	0.001046	Sí
Bromo	7726-95-6	0.000024	Sí
Cadmio	7440-43-9	0.000036	Sí
Calcio	7440-70-2	0.043439	No
Carbono elemental	7440-44-0	0.00067	No
Circonio	7440-67-7	0.000105	No
Cloro	7782-50-5	0.001541	Sí
Cobalto	7440-48-4	0.000184	Sí
Cobre	7440-50-8	0.000105	Sí
Compuestos orgánicos	-	0.037484	No
Cromo	7440-47-3	0.000274	Sí
Estaño	7440-31-5	0.000026	No
Estroncio	7440-24-6	0.000363	No
Fósforo	7723-14-0	0.001944	Sí
Galio	7440-55-3	0.000005	No
Hierro	7439-89-6	0.066823	No
Indio	7440-74-6	0.000012	No
Ion carbonato	3812-32-6	0.003177	No
Ion potasio	24203-36-9	0.001591	No
Itrio	7440-65-5	0.000033	No
Lantano	7439-91-0	0.000025	No
Manganeso	7439-96-5	0.001256	Sí
Mercurio	7439-97-6	0.000019	Sí
Molibdeno	7439-98-7	0.000008	No

Inventario de Emisiones de la Ciudad de México y su Zona Conurbada 2022

Especie	CAS	PM10 Fracción de contribución	Tóxico
Níquel	7440-02-0	0.000075	Sí
Nitratos	14797-55-8	0.001152	No
Paladio	7440-05-3	0.000008	No
Plata	7440-22-4	0.000008	Sí
Plomo	7439-92-1	0.00106	Sí
Potasio	7440-09-7	0.024706	No
Potasio soluble	744-00-97	0.023115	No
Rubidio	7440-17-7	0.000184	No
Selenio	7782-49-2	0.000001	Sí
Silicio	63148-62-9	0.241575	No
Sodio	7440-23-5	0.002904	No
Sulfatos	14808-79-8	0.002941	No
Titanio	7440-32-6	0.006204	No
Vanadio	7440-62-2	0.000358	Sí
Zinc	7440-66-6	0.000767	Sí

Fuente: Perfil de especiación 416, de CARB (windblown dust-unpaved rd/area)

MEMORIAS DE CÁLCULO

2022

Para más información consulte la página de la
Dirección de Monitoreo de Calidad del Aire

<https://www.aire.cdmx.gob.mx/>

