

PROGRAMA
DE GESTIÓN DE
CALIDAD DEL AIRE
Y DE ACCIÓN ANTE EL
CAMBIO CLIMÁTICO
ESTADO DE PUEBLA
2021-2030

ACTUALIZACIÓN DE LOS INVENTARIOS DE
EMISIONES DE GASES CRITERIO, TÓXICOS Y GYCEI,
AÑO BASE 2018

PEAAC



MEDIO AMBIENTE
SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES



INECC
INSTITUTO NACIONAL
DE ECOLOGÍA Y
CAMBIO CLIMÁTICO



CAMe
COMISIÓN AMBIENTAL
DE LA MEGALÓPOLIS



**Gobierno
de Puebla**

Proyecto Financiado por el Fideicomiso 1490
para Apoyar los Programas, Proyectos
y Acciones Ambientales de la Megalópolis

PROGRAMA DE GESTIÓN DE CALIDAD DEL AIRE Y DE ACCIÓN ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO 2021-2030 DEL ESTADO DE PUEBLA

"Proyecto Financiado por el Fideicomiso 1490
para Apoyar los Programas, Proyectos
y Acciones Ambientales de la Megalópolis"

Este documento fue desarrollado por:
AMBIENS Consultoría, Sustentabilidad y Gestión Climática SA de CV para la
SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE, DESARROLLO SUSTENTABLE Y
ORDENAMIENTO TERRITORIAL DEL GOBIERNO DEL ESTADO DE PUEBLA
Bajo el proyecto con número de contrato
GESAL-140-027/2022



Secretaría de
Medio Ambiente,
Desarrollo Sustentable y
Ordenamiento Territorial
Gobierno de Puebla

Autores del documento:

Ing. Saúl Rodríguez Rivera

Con la colaboración de:

Ing. Víctor Javier Gutiérrez Avedoy

Mat. Jorge Martínez Castillejos

Este documento se elaboró para la Secretaría de Medio Ambiente, Desarrollo Sustentable y Ordenamiento Territorial del Gobierno del Estado de Puebla con recursos del Proyecto Financiado por el Fideicomiso 1490 “Para Apoyar los Programas, Proyectos y Acciones Ambientales de la Megalópolis”.

Citar el documento como: Actualización de los Inventarios de Emisiones de Gases Criterio, Tóxicos y GYCEI, año base 2018, 2023. Programa de Gestión de Calidad del Aire y de Acción ante el Cambio Climático, 2021-2030. SMADSOT – CAME – SEMARNAT.

La reproducción total o parcial de este documento podrá efectuarse mediante autorización expresa de la fuente y dándole el crédito correspondiente.

© 2023

PROGRAMA
DE GESTIÓN DE **CALIDAD DEL AIRE**
Y DE ACCIÓN ANTE EL **CAMBIO CLIMÁTICO**
ESTADO DE PUEBLA
2021-2030

**ACTUALIZACIÓN DE LOS INVENTARIOS DE
EMISIONES DE GASES CRITERIO, TÓXICOS Y GYCEI,
AÑO BASE 2018**

Contenido

Actualización de los Inventarios de emisiones de gases criterio, tóxicos y Cycei, año base 2018	6
1. Introducción	6
2. Metodología.....	9
3. Emisiones generadas en el estado de Puebla	13
3.1. Aportación porcentual de emisiones por tipo de fuente.....	16
3.2. Diagnóstico de las emisiones contaminantes generadas en el estado de Puebla	18
3.3. Emisiones generadas por municipio	26
4. Emisiones generadas en los municipios Poblanos que pertenecen a la ZMVP.....	31
4.1. Emisiones relacionadas con la calidad del aire por partículas suspendidas en la ZMVP	32
4.2 Emisiones Relacionadas con la calidad del aire por ozono en la ZMVP	36
5 Análisis e identificación de las principales fuentes de Emisiones de GEI y CCVC (CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O y CN)	40
6. Proyección de Emisiones de gases criterio, tóxicos y GyCEI al 2030.....	48
6.1. Tendencia por sector o fuente	49
6.2. Otros tipos de análisis tendencial	50
7. Abreviaturas y acrónimos.....	53
8. Referencias.....	54

FIGURAS

Figura 1. Emisiones de PM10 de las fuentes o categorías relevantes.....	19
Figura 2. Emisiones de PM2.5 de las fuentes o categorías relevantes	20
Figura 3. Emisiones de NOX de las fuentes o categorías relevantes	21
Figura 4. Emisiones de COV de las fuentes o categorías relevantes	22
Figura 5. Emisiones del potencial de formación de ozono por COV de las fuentes o categorías relevantes.....	23
Figura 6. Emisiones de los principales contaminantes tóxicos.....	24
Figura 7. Emisiones de PM10 generadas en los municipios que pertenecen a la ZMVP.....	32
Figura 8. Emisiones de PM2.5 generadas en los municipios que pertenecen a la ZMVP.....	33
Figura 9. Emisiones de PM _{2.5} por sector, ZMVP 2020.....	35
Figura 10. Emisiones de NO _x generadas en la ZMVP	36
Figura 11. Emisiones de COV generadas en la ZMVP	37
Figura 12. Emisiones de COV por su potencial en la formación de ozono (ZMVP).....	39
Figura 13. Emisiones de CO ₂ e de las fuentes o categorías relevantes.....	41
Figura 14. Emisiones de CH ₄ de las fuentes o categorías relevantes	42
Figura 15. Emisiones de N ₂ O de las fuentes o categorías relevantes	43
Figura 16. Emisiones de CN de las fuentes o categorías relevantes	44
Figura 17. Emisiones de CO ₂ e de las fuentes o categorías relevantes.....	45
Figura 18. Tendencia de Emisiones de PM2.5 por tipo de fuente	51
Figura 19. Línea base de PM2.5 vs Escenario de reducción.....	51
Figura 20. Línea base de CO ₂ e vs Escenario de reducción.....	52

TABLAS

Tabla 1. Emisiones generadas en el Estado de Puebla en el año 2020.....	14
Tabla 2. Emisiones desagregadas generadas en el Estado de Puebla en 2020	15
Tabla 3. Aportación porcentual de emisiones por tipo de fuente.....	17
Tabla 4. Inventario de Emisiones de contaminantes tóxicos por especie.....	24
Tabla 5. Inventario de Emisiones de contaminantes tóxicos por Fuente o categoría.....	25
Tabla 6. Emisiones generadas en los municipios Poblanos	26
Tabla 7. Emisiones generadas en los municipios Poblanos que pertenecen a la ZMVP.....	31
Tabla 8. Ladrilleras registradas en la ZPVP por municipio	35
Tabla 9. Inventario de Emisiones de Contaminantes Criterio y de GyCEI, ZMVP	37
Tabla 10. Emisiones de GyCEI generadas en el Estado de Puebla en el año 2020.....	40
Tabla 11. Inventario de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero.....	45
Tabla 12. Línea base por tipo de emisión.....	48
Tabla 13. Línea base por tipo de fuente.....	50

ACTUALIZACIÓN DE LOS INVENTARIOS DE EMISIONES DE GASES CRITERIO, TÓXICOS Y GYCEI, AÑO BASE 2018

1. INTRODUCCIÓN

Los inventarios de emisiones más recientes para el Estado de Puebla son los generados por la SEMARNAT para los años 2016 y 2018 como parte de los Inventarios Nacionales de Emisiones de Contaminantes Criterio (**INEM-2016 y INEM-2018**).

En la plataforma elaborada por la SEMARNAT para presentar los resultados del INEM-2016, se puede consultar las emisiones de forma desagregada y detallada de cada una de las fuentes o categorías y subcategorías, por: contaminante, municipio y jurisdicción. Ir a:
<https://gisviewer.semarnat.gob.mx/wmaplicacion/inem/>

Dado que la SEMARNAT ya estimó las emisiones generadas en el estado de Puebla en el año 2018 dentro del INEM-2018, en el presente proyecto se tomó como base este inventario para actualizarlo en lo posible con información correspondiente al año 2020 (año base) para contar con una base de emisiones más reciente para elaborar el Programa de Gestión de Calidad del Aire y de Acción ante el Cambio Climático 2021-2030.

Cabe señalar que se tienen una serie de métodos para el cálculo de las emisiones (medición en fuente, factores de emisión, balance de masa, método de escalamiento, entre otros.) y que se utilizó la combinación de ellos para elaborar el presente inventario de emisiones, en el caso de las fuentes fijas de jurisdicción federal se utilizó como primera opción la medición en fuente, siempre y cuando se cumpliera con los criterios de calidad; y de manera general, en casi todas las fuentes inventariadas se utilizaron factores de emisión y estimaciones con modelos y en menor medida el balance de masa. El método de escalamiento fue útil para estimar datos de actividad del año 2018 o 2019 al 2020.

Por acuerdo entre los participantes y revisores del presente proyecto, las emisiones de contaminantes criterio de las fuentes fijas de jurisdicción federal, provienen sin ningún cambio de las bases de datos proporcionadas por la SEMARNAT (DATGEN PUEBLA 2020 y DATGEN PUEBLA 2018). Solo a petición

del INECC se realizaron nuevos cálculos para estimar los gases de efecto invernadero (GEI).

Tradicionalmente el Inventario de Emisiones de Contaminantes Criterio ha sido la base para el desarrollo de medidas para mejorar la calidad del aire y el de Gases y Compuestos de Efecto invernadero para el desarrollo de acciones ante el cambio climático.

En esta ocasión se ha elaborado el Inventario Estatal de Emisiones de Puebla 2020 (IEEP-2020) para atender de manera integral la problemática ambiental de calidad del aire y de cambio climático, como parte del Programa de Gestión de Calidad del Aire y de Acción ante el Cambio Climático 2021-2030. Por lo que, el IEEP-2020 que se presenta en este documento contiene el inventario de emisiones de Contaminantes Criterio y el inventario de Contaminantes Tóxicos, además del inventario de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero

Contaminantes criterio:

- Partículas menores a 10 micrómetros (PM₁₀)
- Partículas menores a 2.5 micrómetros (PM_{2.5})
- Dióxido de azufre (SO₂)
- Monóxido de carbono (CO)
- Óxidos de Nitrógeno (NO_x)
- Compuestos orgánicos volátiles (COV)
- Amoníaco (NH₃)

Gases y compuestos de efecto invernadero:

- Dióxido de carbono (CO₂)
- Metano (CH₄)
- Óxido nitroso (N₂O)
- Carbono negro (CN)
- Dióxido de carbono equivalente (CO₂e)

Contaminantes tóxicos:

- N-butano
- Tolueno
- Isopentano (o 2-metilbutano)
- Etileno (o eteno)
- P-xileno
- Isobutano (o 2-metilpropano)
- N-pentano
- Benceno, otros

Una de las actividades principales del presente proyecto, fue el de consultar diferentes fuentes de información y bases de datos para llevar a cabo la selección estatal de las principales fuentes generadoras de emisiones contaminantes, gases y compuestos de efecto invernadero. La estimación de las emisiones de las fuentes seleccionadas se realizó a nivel municipal, además de realizar una especiación de los compuestos orgánicos volátiles para identificar los principales compuestos tóxicos y por medio del Índice Incremental de Reactividad de cada compuesto su equivalencia en la formación de ozono.

El detalle de los resultados del IEEP-2020, además de proporcionarnos un diagnóstico de la generación de emisiones a nivel estatal, también se identificaron los municipios donde se genera la mayor cantidad de emisiones, además de las especies reactivas formadoras de ozono que nos permitió analizar en específico a los municipios poblanos que forman parte de la Zona Metropolitana del Valle de Puebla, donde seguramente sus habitantes son los que están expuestos a una concentración mayor de contaminación ozono.

Además, el inventario de emisiones como una herramienta útil desde el punto de vista técnico y de toma de decisiones, proporcionó las bases para estimar la reducción de emisiones de las medidas y acciones que se plantean dentro del Programa de Gestión de Calidad del Aire y de Acción ante el Cambio Climático 2021-2030; y en un futuro su actualización será el insumo indispensable para el seguimiento de medidas o acciones de reducción de emisiones.

En resumen, este documento tiene como prioridad resaltar el análisis y diagnóstico de la generación de emisiones relacionadas con la contaminación por: ozono y partículas suspendidas, además de la generación de emisiones relacionadas con el calentamiento global del planeta (CO₂, N₂O, CH₄ y CN).

2. METODOLOGÍA

Actualmente los inventarios de emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero y de contaminantes criterio, se realizan con su propia metodología y por separado, por lo que el primer paso para elaborar el presente inventario de emisiones (IEEP-2020) fue el de armonizar ambas metodologías de acuerdo con las condiciones de la información disponible para el Estado de Puebla.

Como insumo, se contó con las metodologías elaboradas por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) y las publicadas por el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC); además de las recomendaciones emitidas por especialistas en el tema que laboran en la SEMARNAT y en el INECC.

Considerando los lineamientos del IPCC, como primer criterio de la armonización entre la estimación de emisiones de contaminantes criterio y de los gases y compuestos de efecto invernadero, fue el de darle prioridad al uso de medición en fuente, a la utilización de factores de emisión, procedimientos de cálculo de emisiones o modelos de estimación de emisiones desarrollados para nuestro país (Metodologías publicadas por la SEMARNAT, “Factores de emisión para los diferentes tipos de combustibles fósiles y alternativos que se consumen en México”, MOVES-México, Modelo mexicano de biogás, entre otros); y después, IPCC.

Para el caso específico de los gases de efecto invernadero (GEI), si no se contó con factores de emisión nacionales, se utilizaron los del IPCC.

En algunas categorías como en: emisiones ganaderas y aguas residuales, se eligió utilizar como primera opción, los procedimientos del IPCC por considerar que se obtenía una mejor estimación del factor de actividad.

Para fines de estimación de emisiones en hojas de cálculo, se tomó como base el formato y la clasificación de categorías o fuentes presentada en el INEM-2018; además, en la clasificación se adicionaron las categorías faltantes que se incluyen en agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra.

Para el caso de las **fuentes de área**, se consideraron las metodologías que se incorporan en las hojas de cálculo del Inventario Nacional de Emisiones de México del año 2018 (INEM-2018) desarrolladas por la SEMARNAT. En estas hojas de cálculo, se incluye la estimación de contaminantes criterio y de los gases y compuestos de efecto invernadero. Para mayor detalle e información de cada una de las categorías inventariadas como fuentes de área, se

recomienda consultar las hojas de cálculo (archivos digitales) resguardadas por la Secretaría de Medio Ambiente, Desarrollo Sustentable y Ordenamiento Territorial del Gobierno del Estado de Puebla.

Categorías de fuentes de área	Hoja de cálculo (Nombre del archivo)
Combustión comercial	1.1 Combustión comercial IEEP 2020.xlsx
Combustión agrícola	1.2 Combustión agrícola IEEP 2020.xlsx
Combustión doméstica	1.3 Combustión doméstica IEEP 2020.xlsx
Combustión industrial	1.4 Combustión industrial IEEP 2020.xlsx
Artes gráficas	2.1 Artes gráficas IEEP 2020.xlsx
Asfaltado	2.2 Asfaltado IEEP 2020.xlsx
Lavado en seco	2.3 Lavado en seco IEEP 2020.xlsx
Limpieza de superficies industriales	2.4 Limpieza de superficies industriales IEEP 2020.xlsx
Pintado automotriz	2.5 Pintado automotriz IEEP 2020.xlsx
Pintura para señalización vial	2.6 Pintura para señalización vial IEEP 2020.xlsx
Recubrimiento de superficies arquitectónicas	2.7 Recubrimiento de superficies arquitectónicas IEEP 2020.xlsx
Recubrimiento de superficies en la industria	2.8 Recubrimiento de superficies en la industria IEEP 2020.xlsx
Uso doméstico de solventes	2.9 Uso doméstico de solventes IEEP 2020.xlsx
Manejo y distribución de gas LP	3.1 Manejo y distribución de gas LP IEEP 2020.xlsx
Componentes del gas LP no quemados en instalaciones domésticas (HCNQ)	3.1 Componentes del gas LP no quemados en instalaciones domésticas (HCNQ) IEEP 2020.xlsx
Manejo y distribución de combustibles	3.2 Manejo y distribución de combustibles IEEP 2020.xlsx
Asados al carbón	4.2 Asados al carbón IEEP 2020.xlsx
Panificación	4.3 Panificación IEEP 2020.xlsx
Aplicación de fertilizantes	5.1 Aplicación de fertilizantes IEEP 2020.xlsx
Aplicación de plaguicidas	5.2 Aplicación de plaguicidas IEEP 2020.xlsx
Emisiones ganaderas	5.3 Emisiones ganaderas IEEP 2020.xlsx
Corrales de engorda	5.4 Corrales de engorda IEEP 2020.xlsx
Labranza	5.5 Labranza IEEP 2020.xlsx
Aguas residuales	6.1 Aguas residuales IEEP 2020.xlsx
Quema de residuos a cielo abierto	6.2 Quema de residuos a cielo abierto IEEP 2020.xlsx C2-Quema a cielo abierto-V2.xlsx
Relleno Sanitario	6.3 Relleno Sanitario IEEP 2020.xlsx
Caminos pavimentados	7.1 Caminos pavimentados y no pavimentados IEEP 2020 .xlsx
Caminos no pavimentados	7.1 Caminos pavimentados y no pavimentados IEEP 2020 .xlsx
Incendios forestales	7.2 Incendios forestales IEEP 2020.xlsx
Emisiones domésticas de NH ₃	7.3 Emisiones domésticas de NH ₃ IEEP 2020.xlsx
Esterilización de material hospitalario	7.4 Esterilización de material hospitalario IEEP 2020.xlsx
Quemas agrícolas	7.5 Quemas agrícolas IEEP 2020.xlsx
Ladrilleras	7.6 Ladrilleras IEEP 2020.xlsx

Para el caso de las **fuentes fijas**, se utilizaron factores de emisión nacionales y de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América (EPA por sus siglas en inglés) o en su caso los publicados por el IPCC. Los datos de actividad se obtuvieron de las bases de datos de las fuentes de jurisdicción federal 2018 y 2020 que fueron proporcionadas por la SEMARNAT y se complementó con los datos de actividad del año 2020 que entrega el sector industrial de jurisdicción estatal a la autoridad ambiental del Gobierno del Estado de Puebla a través de Reporte Anual de Emisión de Contaminantes a la Atmósfera en el año 2021.

Sector	Jurisdicción
Automotriz Celulosa y papel Cemento y cal Generación de energía eléctrica Metalúrgica (incluye la siderúrgica) Petróleo y petroquímica Pinturas y tintas Química Tratamiento de residuos peligrosos	Federal
Alimentos y bebidas Derivados del petróleo y carbón Extracción/Beneficio minerales no metálicos Impresión Industria de la madera Industria textil Mezclas químicas Minerales no metálicos Otras industrias Papel y cartón Plástico y hule	Estatal

Para el caso de las **fuentes móviles no carreteras** (Locomotoras, Aeronaves y Maquinaria agrícola), se consideraron las metodologías publicadas por la SEMARNAT. Para mayor detalle e información de cada una de las categorías inventariadas como fuentes móviles no carreteras, se recomienda consultar las hojas de cálculo (archivos digitales) resguardadas por la Secretaría de Medio Ambiente, Desarrollo Sustentable y Ordenamiento Territorial del Gobierno del Estado de Puebla.

Categorías de fuentes móviles no carreteras	Hoja de cálculo (Nombre del archivo)
Locomotoras	Fuentes Móviles No Carreteras IEEP 2020.xlsx
Aeronaves	Fuentes Móviles No Carreteras IEEP 2020.xlsx
Maquinaria agrícola	1.2 Combustión agrícola IEEP 2020.xlsx

Para el caso de las **fuentes móviles**, se utilizó el modelo MOVES-México. Este modelo fue desarrollado por la EPA y a través de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID) con el Programa para el Desarrollo Bajo en Emisiones de México y en colaboración con el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) fue adaptado a las condiciones nacionales.

Con el modelo MOVES-México, se realizaron corridas con los valores establecidos por defecto para obtener las emisiones, además se consultaron los datos del parque vehicular, los kilómetros recorridos y el consumo energético asociado a estas emisiones; posteriormente se procedió con el análisis y nuevos cálculos para tomar en cuenta los recorridos locales propios de la flota vehicular que circula en el estado de Puebla (KRV) y el combustible que se consume en la entidad (gasolina y diésel).

Para mayor detalle e información de los procedimientos de cálculo utilizados para estimar las emisiones de las fuentes móviles carreteras, se recomienda consultar la hoja de cálculo “EmisionesFuentesMoviles2020.xlsx” (archivo digital) resguardado por la Secretaría de Medio Ambiente, Desarrollo Sustentable y Ordenamiento Territorial del Gobierno del Estado de Puebla.

Las emisiones biogénicas provenientes de la vegetación se estimaron con el modelo **Global Biosphere Emissions and Interaction System Versión 3.2 (GloBEIS V3.2)** el cual demanda datos de uso de suelo, temperatura, cobertura nubosa, radiación fotosintéticamente activa (PAR), entre otros. Siendo los datos de uso de suelo los más relevante y debido a que estos datos entre los años 2018 y 2020 son casi los mismos, se consideraron las emisiones proporcionadas por la SEMARNAT para el año 2018.

Para desagregar los compuestos orgánicos volátiles (COV) por compuesto químico y su clasificación en contaminante tóxico, se utilizó la Base de Datos del Speciate 5.2 publicada por la EPA (publicada en: <https://www.epa.gov/air-emissions-modeling/speciate-2>). Además, partiendo de que cada compuesto orgánico volátil difiere en su efecto sobre la formación de ozono troposférico, se estimó este potencial de ozono mediante la reactividad incremental máxima (MIR por sus siglas en ingles).

Para asignar el efecto de cada COV en la formación de ozono, se utilizó la escalas de reactividad incremental máxima desarrollada por William P. L. Carter, la cual refleja condiciones de concentraciones relativamente altas de NOx y donde la formación de ozono es más sensible a las emisiones de COV, por lo que la escala del MIR refleja condiciones donde el control de las emisiones de COV es más efectivo para reducir la generación de ozono y es el

más ampliamente utilizan en la evaluación de reactividad de compuestos orgánicos y su reglamentación.

Para la proyección de las emisiones, se utilizó un factor de crecimiento/decrecimiento desarrollado principalmente con base en: las proyecciones 2018-2032 del consumo energético por sector y tipo de combustible reportadas por SENER y con base a su tendencia se ampliaron al 2050; las tendencias de crecimiento poblacional publicadas por CONAPO; entre otros.

En las hojas de cálculo de cada una de las fuentes o categorías que integran el IEEPuebla-2020 se ahonda más sobre la procedencia de los datos, de los factores de emisión, supuestos y procedimientos para estimar las emisiones.

3. EMISIONES GENERADAS EN EL ESTADO DE PUEBLA

La calidad del aire en el estado de Puebla está influenciada por la dinámica atmosférica de las localidades y Zonas Metropolitanas (ZM) para dispersar o concentrar la carga de emisiones contaminantes. Esta carga, así como la generación de gases y compuestos de efecto invernadero (GyCEI) está definida por los factores de presión, como: el crecimiento poblacional, la cantidad de vehículos, el número de unidades económicas, el consumo energético, entre otras.

Los resultados del Inventario Estatal de Emisiones de Puebla 2020 (IEEP-2020), como se muestra en la Tabla 1, se tiene que anualmente en el Estado de Puebla se generan: **40,467** toneladas de partículas menores a 10 micrómetros (**PM₁₀**) y de estas **27,870** toneladas son partículas menores a 2.5 micrómetros (**PM_{2.5}**). Se emiten **5,427** toneladas de dióxido de azufre (**SO₂**), **278,452** toneladas de monóxido de carbono (**CO**), **140,203** toneladas de óxidos de nitrógeno (**NO_x**), **616,500** toneladas de compuestos orgánicos volátiles (**COV**), **57,060** toneladas de Amoniaco (NH₃).

En el grupo de los gases y compuestos de efecto invernadero (GyCEI) se liberan **2,808** toneladas de carbono negro (CN), **18,019,255** de dióxido de carbono (CO₂) y **21,082,225** toneladas de dióxido de carbono equivalente (CO₂e).

Referente a la especiación de los compuestos orgánicos volátiles (COV) tenemos una emisión anual de **6,563** toneladas de propano, **5,349** toneladas de benceno, **3,964** toneladas de tolueno, entre otros tóxicos.

TABLA 1. EMISIONES GENERADAS EN EL ESTADO DE PUEBLA EN EL AÑO 2020

Emisiones (t/año)		Fuentes Puntuales	Fuentes de Área	Fuentes móviles no carreteras	Fuentes móviles carreteras	Fuentes naturales	Total
De	PM10	4,143	34,037	501	1,786	N/A	40,467
	PM2.5	2,670	23,271	501	1,428	N/A	27,870
	SO ₂	3,804	771	164	688	N/A	5,427
	CO	4,579	134,101	1,586	138,186	N/A	278,452
	NO _X	12,769	7,485	7,366	31,124	81,459	140,203
	COV	2,701	67,771	556	12,555	532,917	616,500
	NH ₃	21	56,816	0	223	N/A	57,060
De efecto	CO ₂	8,082,947	6,051,841	303,319	3,581,148	N/A	18,019,255
	CH ₄	189	95,759	18	465	N/A	96,430
	N ₂ O	40	1,090	95	145	N/A	1,370
	CN	236	1,968	228	377	N/A	2,808
	CO ₂ e	8,098,718	9,022,015	329,032	3,632,461	N/A	21,082,225
De	Propano	35	6,528	0	0	0	6,563
	Benceno	19	5,006	8	316	0	5,349
	Tolueno	400	2,428	5	1,132	0	3,964
	Etanol	0	3,656	0	0	0	3,656
	Propileno	3	1,420	1	0	0	1,424
	Percloroetileno	0	773	0	0	0	773
	Otros	211	3,243	218	2,165	0	5,837

N/A = no aplica.

Fuente: Elaboración propia con datos del anuario estadístico, Balance Energético Estatal de Puebla 2020, CONAGUA, CONAFOR, CONEVAL, diagnóstico básico para la gestión integral de los residuos, EPA (AP-42, WebFire, Evaporative Emissions from On-road Vehicles in MOVES2014, MOVES-México), Gobierno del Estado de Puebla, Hojas técnicas de pinturas y recubrimientos (Sherwin Williams, Nervion pinturas, Axalta, Comex), INEGI (DENUE, ENIGH, Censo de Población y Vivienda, EMIM, Censos económicos, Volumen total del mercado de pintura para repintado automotriz, longitud de la red de calles por municipio, Banco de Información Económica), Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, SENER (SIE, Balance Nacional de Energía, Comisión Reguladora de Energía), POWER-Data Access Viewer Prediction Of Worldwide Energy Resource, Modelo Mexicano de Biogás, SAGARPA, SEMARNAT, Secretaría de Salud, entre otros.

En la Tabla 2, se presentan las emisiones desagregadas por fuente o categoría, en donde se observa que las fuentes puntuales aportaron en 2020: **4,143** toneladas de PM₁₀, **2,670** toneladas PM_{2.5}, **3,804** toneladas de SO₂, **4,579** toneladas de CO, **12,769** toneladas de NO_x, **2,701** toneladas de COV, **21** toneladas de NH₃ y **8,098,718** de CO₂e. Por su lado, las fuentes de área emitieron en ese mismo año: **34,037** toneladas de PM₁₀, **23,271** toneladas PM_{2.5}, **771** toneladas de SO₂, **134,101** toneladas de CO, **7,485** toneladas de NO_x, **67,771** toneladas de COV, **56,816** toneladas de NH₃ y **9,022,015** toneladas de CO₂e.

TABLA 2. EMISIONES DESAGREGADAS GENERADAS EN EL ESTADO DE PUEBLA EN 2020

Fuente o categoría	Emisiones (t/año)								
	PM10	PM2.5	SO ₂	CO	NO _x	COV	NH ₃	CN	CO ₂ e
Fuentes Puntuales	4,143	2,670	3,804	4,579	12,769	2,701	21	236	8,098,718
Automotriz	161.34	147.68	4.68	111.61	366.65	2,028.79	2.36	0.47	127,068
Celulosa y papel	0.75	0.75	0.06	1.81	9.82	0.54	0.32	0.05	13,944
Cemento y cal	313.48	206.38	3,613.28	797.55	2,889.63	15.27	2.16	2.92	3,569,023
Generación de energía eléctrica	443.12	443.12	7.00	1,483.24	6,438.08	255.68	0.00	6.21	2,256,092
Metalúrgica (incluye la siderúrgica)	321.68	186.49	2.78	212.76	255.11	98.45	8.11	1.35	359,988
Petróleo y petroquímica	11.78	7.35	3.57	84.82	240.22	186.03	3.11	0.51	135,091
Pinturas y tintas	0.60	0.33	0	0.00	0.00	2.58	0.00	0.00	479
Química	41.59	24.32	0.87	37.60	35.25	36.64	1.54	0.26	68,704
Tratamiento de residuos peligrosos	0.02	0.02	0.00	0.17	0.43	0.40	0.00	0.00	400
Alimentos y bebidas	2,835.07	1,640.10	130.29	1,702.20	2,155.76	63.05	3.30	222.84	1,319,395
Derivados del petróleo y carbón	0.09	0.09	0.54	0.97	3.23	0.07	0.01	0.01	1,735
Extracción/Beneficio minerales no metálicos	0.12	0.11	0.64	1.25	4.23	0.09	0.01	0.01	2,236
Impresión	0.06	0.06	0.04	0.60	1.62	0.05	0.00	0.00	855
Industria de la madera	0.06	0.05	0.01	0.13	0.07	0.00	0.00	0.00	89
Industria textil	4.55	4.52	7.46	49.11	146.52	3.86	0.23	0.31	83,092
Mezclas químicas	0.12	0.12	0.01	1.33	4.44	0.09	0.01	0.01	2,258
Minerales no metálicos	1.62	1.61	1.26	17.81	59.26	1.18	0.12	0.11	30,377
Otras industrias	7.16	7.06	30.97	73.72	151.65	8.29	0.11	0.44	124,141
Papel y cartón	0.16	0.15	0.47	1.72	5.66	0.12	0.01	0.01	3,003
Plástico y hule	0.04	0.04	0.09	0.44	1.09	0.04	0.00	0.00	747
Fuentes de Área	34,037	23,271	771	134,101	7,485	67,771	56,816	1,968	9,022,015
Combustión comercial	22	22	28	184	317	19	0.07	15	308,385
Combustión agrícola	0.20	0.20	0.26	2	2.81	0	0.0	0	2,676
Combustión doméstica	9,816	9,455	404	82,003	4,750	25,109	612	1,178	3,663,573
Combustión industrial	34	34	6	366	448	25	2	4	620,910
Artes gráficas	0	0	0	0	0	1,304	0	0	0
Asfaltado	0	0	0	0	0	185	0	0	0
Lavado en seco	0	0	0	0	0	526	0	0	0
Limpieza de superficies industriales	0	0	0	0	0	4,548	0	0	0
Pintado automotriz	0	0	0	0	0	888	0	0	0
Pintura para señalización vial	0	0	0	0	0	304	0	0	0
Recubrimiento de superficies arquitectónicas	0	0	0	0	0	2,411	0	0	0
Recubrimiento de superficies en la industria	0	0	0	0	0	923	0	0	0
Uso doméstico de solventes	0	0	0	0	0	8,306	0	0	0
Manejo y distribución de gas LP	0	0	0	0	0	3,820	0	0	0
Componentes del gas LP no quemados en instalaciones domésticas (HCNQ)	0	0	0	0	0	7,854	0	0	0
Manejo y distribución de combustibles	0	0	0	0	0	1,865	0	0	0
Asados al carbón	528	421	0	1,051	19	68	0	59	67,728
Panificación	0	0	0	0	0	370	0	0	0
Aplicación de fertilizantes	0	0	0	0	0	0	8,910	0	0
Aplicación de plaguicidas	0	0	0	0	0	240	0	0	0
Emisiones ganaderas	0	0	0	0	0	0	38,301	0	1,079,663
Corrales de engorda	257	29	0	0	0	0	0	0	0
Labranza	5,549	1,230	0	0	0	0	0	0	0
Aguas residuales	0	0	0	0	0	3,684	0	0	87,257
Quema de residuos a cielo abierto	857	785	23	1,918	135	194	0	94	19,288
Relleno Sanitario	0	0	0	24	0	1,281	0	0	1,648,013
Caminos pavimentados	1,181	286	0	0	0	0	0	0	0
Caminos no pavimentados	4,583	696	0	0	0	0	0	0	0
Incendios forestales	1,348	1,144	125	13,346	402	932	134	82	231,434
Emisiones domésticas de NH ₃	0	0	0	0	0	0	8,359	0	0
Esterilización de material hospitalario	0	0	0	0	0	5	0	0	0
Quemas agrícolas	3,713	3,551	146	24,320	1,079	2,630	486	426	991,159
Ladrilleras	6,148	5,617	40	10,886	331	278	11	110	301,929
Fuentes móviles no carreteras	501	501	164	1,586	7,366	556	0	228	329,032
Locomotoras	23	23	83	145	1,141	47	0	10	51,090
Aeronaves	45	45	7	117	69	19	0	31	22,994
Maquinaria agrícola	433	433	74	1,325	6,155	489	0	186	254,948
Fuentes móviles carreteras	1,786	1,428	688	138,186	31,124	12,555	223	377	3,632,461
Autos Particulares	200	106	216	54,659	10,326	5,462	80	21	1,315,419
Taxis	37	13	58	10,930	2,140	925	19	2	355,984
Microbuses y Vagonetas TPE	7	5	3	1,094	131	54	1	1	20,862

Fuente o categoría	Emisiones (t/año)								
	PM10	PM2.5	SO ₂	CO	NO _x	COV	NH ₃	CN	CO _{2e}
Autobús TPE	207	183	33	443	1,315	57	2	39	119,569
Autobús particular	79	70	13	145	487	20	1	15	48,075
Autobuses foráneos	46	41	8	136	455	21	0	16	29,750
Vehículos de carga ligera	191	142	103	38,840	6,936	3,676	33	31	620,618
Vehículos de carga >3.8 t	40	35	6	442	222	35	1	4	24,040
Vehículos de carga >3.8 t Foráneos	344	299	48	2,674	2,436	336	5	60	179,337
Tractocamiones	22	19	4	31	124	4	0	4	14,535
Tractocamiones foráneos	554	480	107	1,025	4,891	149	5	178	379,873
Motocicletas	59	36	86	27,767	1,661	1,816	77	5	524,399
Fuentes naturales	N/A	N/A	N/A	N/A	81,459	532,917	N/A	N/A	0
Emisiones biogénicas	N/A	N/A	N/A	N/A	81,459	532,917	N/A	N/A	0
Total	40,467	27,870	5,427	278,452	140,203	616,500	57,060	2,808	21,082,225

Fuente: Elaboración propia con datos del anuario estadístico, Balance Energético Estatal de Puebla 2020, CONAGUA, CONAFOR, CONEVAL, diagnóstico básico para la gestión integral de los residuos, EPA (AP-42, WebFire, Evaporative Emissions from On-road Vehicles in MOVES2014, MOVES-México), Gobierno del Estado de Puebla, Hojas técnicas de pinturas y recubrimientos (Sherwin Williams, Nervion pinturas, Axalta, Comex), INEGI (DENUE, ENIGH, Censo de Población y Vivienda, EMIM, Censos económicos, Volumen total del mercado de pintura para repintado automotriz, longitud de la red de calles por municipio, Banco de Información Económica), Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, SENER (SIE, Balance Nacional de Energía, Comisión Reguladora de Energía), POWER-Data Access Viewer Prediction Of Worldwide Energy Resource, Modelo Mexicano de Biogás, SAGARPA, SEMARNAT, Secretaría de Salud, entre otros.

A pesar de que la vegetación está relacionada con la generación de precursores de ozono, (se forman y liberan al aire compuestos orgánicos volátiles como parte de sus procesos naturales fotosintéticos y por los procesos biológicos de nitrificación y desnitrificación de la materia orgánica que cae al suelo se generan óxidos de nitrógeno), es más importante resaltar los servicios ambientales y económicos que nos proporciona la vegetación, como la protección del suelo para evitar la erosión del mismo, la regulación de los escurrimientos de agua, la generación de materias primas y alimento, el mantenimiento de flora y fauna, la regulación del clima y la importancia como sumideros de CO₂, entre otros. Por lo que el siguiente análisis se realizará solo con las emisiones de origen antropogénico.

3.1. Aportación porcentual de emisiones por tipo de fuente

Referente al aporte porcentual por tipo de emisión antropogénica, las fuentes de área son el mayor generador de casi todos los contaminantes, gases y compuestos de efecto invernadero, excepto por las fuentes móviles carreteras que son el mayor generador de CO y NO_x y las fuentes puntuales de SO₂, y CO₂. (Tabla 3)

TABLA 3. APORTACIÓN PORCENTUAL DE EMISIONES POR TIPO DE FUENTE

Emisiones (t/año)		Fuentes Puntuales	Fuentes de Área	Fuentes móviles no carreteras	Fuentes móviles carreteras
De contaminantes criterio	PM ₁₀	10%	84%	1.2%	4%
	PM _{2.5}	10%	83%	1.8%	5%
	SO ₂	70%	14%	3.0%	13%
	CO	2%	48%	0.6%	50%
	NOX	22%	13%	13%	53%
	COV	3%	81%	0.7%	15%
	NH ₃	N/S	100%	N/S	N/S
De efecto invernadero	CO ₂	45%	34%	1.7%	20%
	CH ₄	0.2%	99%	N/S	0.5%
	N ₂ O	3%	80%	6.9%	11%
	CN	8%	70%	8%	13%
	CO ₂ e	38%	43%	1.6%	17%
De contaminantes tóxicos	Propano	1%	99%	N/S	N/A
	Benceno	0.4	94%	0.2%	5.9%
	Tolueno	10%	61%	0.1%	29%
	Etanol	N/S	100%	N/A	N/A
	Propileno	0.2%	100%	0.1%	N/A
	Percloroetileno	N/S	100.0%	N/A	N/A
	Otros	3.6%	56%	3.7%	37%

Nota: No incluye las emisiones de las fuentes naturales. N/S = No significativo y N/A = No aplica.

Por cuestiones del redondeo, es posible que la suma de los tipos de fuentes no sea igual al 100%.

Fuente: Elaboración propia con datos del anuario estadístico, Balance Energético Estatal de Puebla 2020, CONAGUA, CONAFOR, CONEVAL, diagnóstico básico para la gestión integral de los residuos, EPA (AP-42, WebFire, Evaporative Emissions from On-road Vehicles in MOVES2014, MOVES-México), Gobierno del Estado de Puebla, Hojas técnicas de pinturas y recubrimientos (Sherwin Williams, Nervion pinturas, Axalta, Comex), INEGI (DENUE, ENIGH, Censo de Población y Vivienda, EMIM, Censos económicos, Volumen total del mercado de pintura para repintado automotriz, longitud de la red de calles por municipio, Banco de Información Económica), Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, SENER (SIE, Balance Nacional de Energía, Comisión Reguladora de Energía), POWER-Data Access Viewer Prediction Of Worldwide Energy Resource, Modelo Mexicano de Biogás, SAGARPA, SEMARNAT, Secretaría de Salud, entre otros.

La contribución mayoritaria de emisiones antropogénicas por contaminante se describe a continuación:

- Las partículas **PM₁₀ y PM_{2.5}**, de las fuentes de área, proviene casi en su totalidad de las **ladrilleras por la quema de leña** para la fabricación de ladrillos y de la combustión doméstica que incluye a las **viviendas que utilizan leña** para cocinar sus alimentos;
- El **SO₂** de las fuentes puntuales, se genera en la **fabricación de cemento y cal**, donde se utiliza coque de petróleo como combustible;
- El **CO** de las fuentes móviles carreteras se genera en la **combustión interna de la gasolina y diésel**; y el proveniente de las fuentes de área,

se genera principalmente en la **combustión doméstica por el uso de leña**, le siguen en orden de importancia la quema de biomasa en el sector agrícola y en los incendios forestales;

- Los **NO_x** y el **CO** de las fuentes móviles, provienen de la cantidad masiva de **autos particulares** en circulación y del uso intensivo de los **vehículos de carga de mercancías y motocicletas**;
- Los **COV** de las fuentes de área lo aporta la **combustión doméstica por el uso de leña**, las fugas generadas por el manejo y distribución de gas LP (incluyendo los componentes del gas LP no quemados en instalaciones domésticas) y el uso doméstico de solventes contenidos en productos de uso cotidiano como aromatizantes, insecticidas, entre otros;
- El **NH₃** de las fuentes de área, se genera principalmente en los desechos de las aves, del ganado porcino y bovino;
- El **CO₂** de las fuentes puntuales, se genera principalmente en los procesos de la **fabricación del cemento y la cal**, le sigue el proveniente de la **combustión doméstica** y el de la generación de energía eléctrica por la quema del gas natural;
- Del **CH₄** de las fuentes de área, la principal aportación se genera en los rellenos sanitarios y el proveniente de las excretas de ganado;
- El **N₂O** de las fuentes de área se genera principalmente en la categoría de **emisiones ganaderas**;
- El **propano** de las fuentes de área proviene casi en su totalidad del Uso y manejo del gas LP, donde se incluyen los **componentes del gas LP no quemados en instalaciones domésticas** (HCNQ);
- El **Benceno** de las fuentes de área se genera casi en su totalidad por la **quema de leña de uso doméstico y**
- El **Tolueno** de las fuentes de área, se genera por la **quema de leña** y por el uso de pintura base solvente;

3.2. Diagnóstico de las emisiones contaminantes generadas en el estado de Puebla

Para la elaboración de medidas y/o acciones de control o reducción de emisiones, es útil realizar un análisis o diagnóstico de las emisiones asociadas a algún tipo de problemática. De las diferentes emisiones estimadas en el IEEP-2020, se pueden asociar a las siguientes problemáticas:

- Contaminación por partículas (PM₁₀ y PM_{2.5})
- Contaminación por ozono (NO_x y COV)
- Cambio climático (CO₂, CH₄, N₂O y CN)
- Contaminación de especies tóxicos

3.2.1. Emisiones relacionadas con la contaminación por partículas suspendidas (PM₁₀ y PM_{2.5})

En cuanto a las partículas suspendidas, las fuentes o categorías donde se pueden instrumentar medidas con un mayor potencial de reducción de PM₁₀, son: la combustión doméstica, las ladrilleras, la labranza, los caminos sin pavimentar, quema de residuos agrícola y la industria de alimentos y bebidas; las cuales se generan por la quema de leña utilizado principalmente en la cocción de alimentos, calentamiento de agua y en la quema de ladrillos, por la perturbación de la tierra con la labranza, debido a la resuspensión de polvo durante el paso vehicular sobre las vialidades, por la quema de residuos de las cosechas y por la quema de gabazo de caña de azúcar en el sector de alimentos y bebidas. Tan solo estas seis categorías aportan el 81% (32,644 toneladas) de las emisiones totales generadas de este contaminante en el estado de Puebla.

En la Figura 1, se muestran las principales categorías generadoras de PM₁₀ en el estado de Puebla.

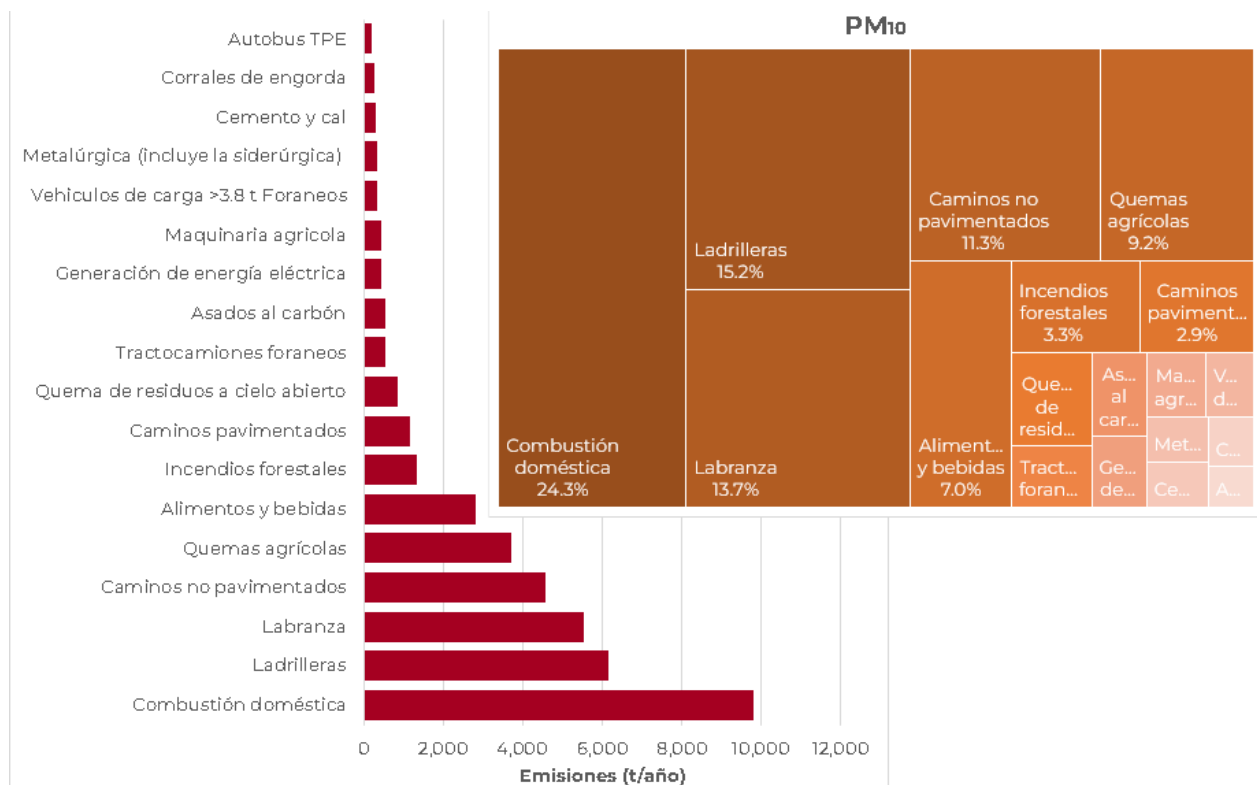


FIGURA 1. EMISIONES DE PM₁₀ DE LAS FUENTES O CATEGORÍAS RELEVANTES

Fuente: Elaboración propia con datos del IEEPuebla-2020.

Referente a las partículas suspendidas menores a 2.5 micrómetros, las fuentes o categorías donde se pueden instrumentar medidas con un mayor potencial

de reducción de PM_{2.5}, son cuatro de las seis categorías de mayor emisión de PM₁₀ (combustión doméstica, las ladrilleras, la quema agrícola y la industria de alimentos y bebidas). Estas cuatro categorías en suma aportan el 74.6% (20,263 toneladas) de las emisiones totales generadas de este contaminante en el estado de Puebla.

En la Figura 2 se muestran las principales categorías generadoras de PM_{2.5} en el estado de Puebla.

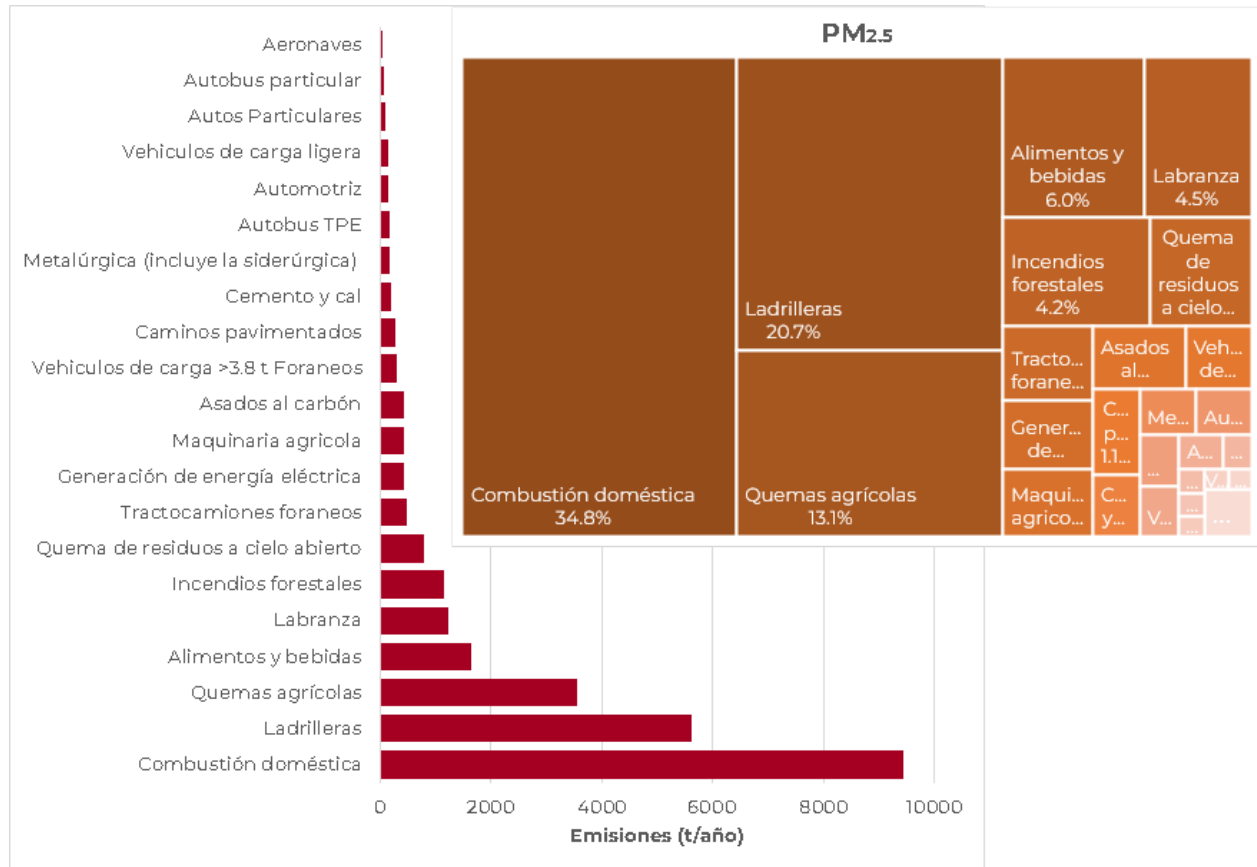


FIGURA 2. EMISIONES DE PM_{2.5} DE LAS FUENTES O CATEGORÍAS RELEVANTES

Fuente: Elaboración propia con datos del IEEPuebla-2020

2.2. Emisiones relacionadas con la contaminación por ozono (NO_x y COV)

Las principales fuentes o categorías que incluyen a los procesos de combustión, a las fugas y compuestos no quemados del gas LP, al uso de solventes en productos de uso doméstico y al uso de pinturas, son las categorías relevantes generadoras de los principales precursores de ozono (NO_x y COV). De manera específica a continuación, se presentan las principales fuentes o categorías generadoras de NO_x y por COV:

Emisiones de NO_x

Además de las fuentes móviles carreteras, la presencia del sector industrial son fuentes importantes de emisión de NO_x en el estado de Puebla, en específico en el sector de generación de energía eléctrica y la dedicada a la fabricación de cemento y cal; en igual de importancia las generadas en el sector transporte con los autos particulares, los vehículos de carga ligera y tractocamiones; además de los óxidos de nitrógeno generado en la combustión de la maquinaria agrícola y combustión doméstica; en suma, estas siete categorías aportan el 74.5% (42,386 t) de los NO_x que se generan en el estado.

En la generación de energía eléctrica se generan emisiones de NO_x por la quema de gas natural y en la fabricación de cemento y cal, por la quema de coque, pero también en los procesos de horneado de la materia prima; en las categorías del sector transporte los NO_x provienen de la combustión interna de la gasolina y el diésel. Otra fuente importante de este contaminante es la quema de biomasa de leña.

En la Figura 3, se muestran las principales categorías generadoras de NO_x en el estado de Puebla.

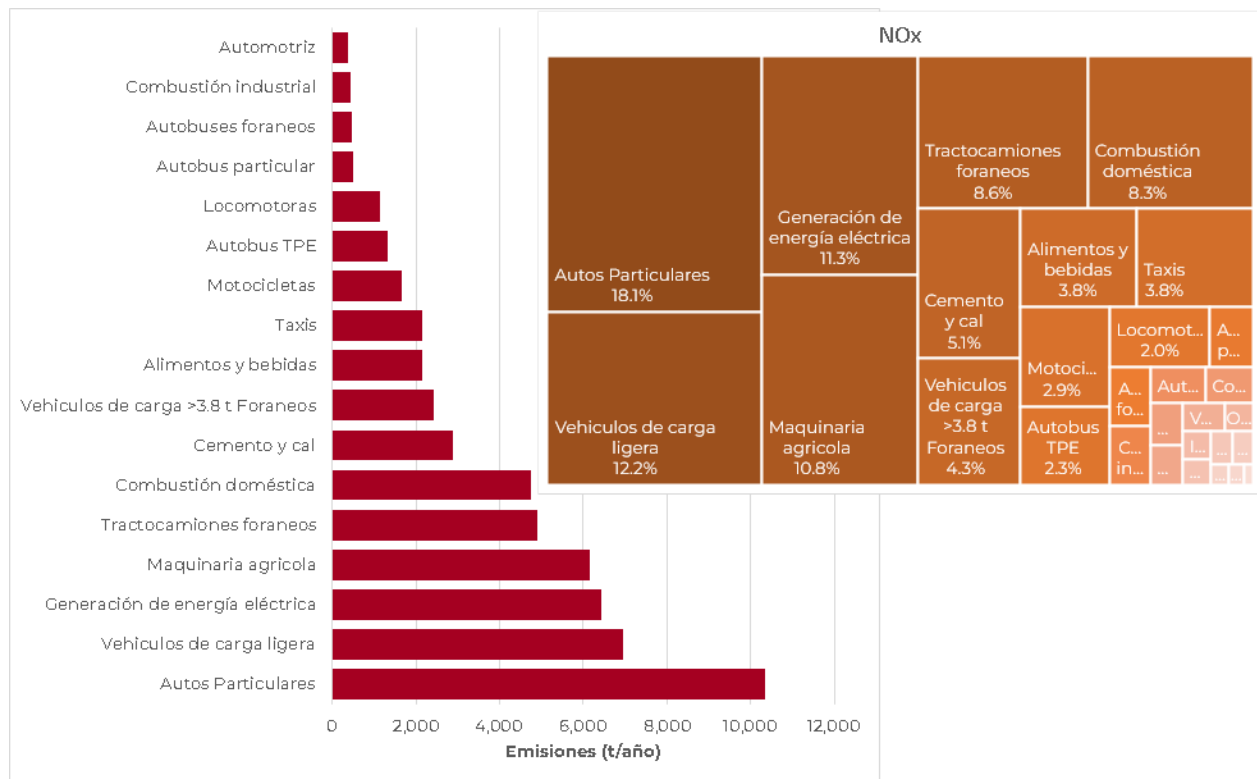


FIGURA 3. EMISIONES DE NO_x DE LAS FUENTES O CATEGORÍAS RELEVANTES

Fuente: Elaboración propia con datos del IEEPuebla-2020

Emisiones de COV

A diferencia de los otros contaminantes, las fuentes que generan los COV son más diversas, como se puede observar en la Figura 4.

La combustión doméstica y debido principalmente a la quema de leña, también es una fuente importante de generación de COV, le siguen en orden de importancia las categorías de uso doméstico de solventes, los componentes de gas LP no quemados en instalaciones domésticas y los autos particulares. Estas cuatro categorías en suma aportan el 56% (46,732 toneladas) de los COV generadas en el estado de Puebla.

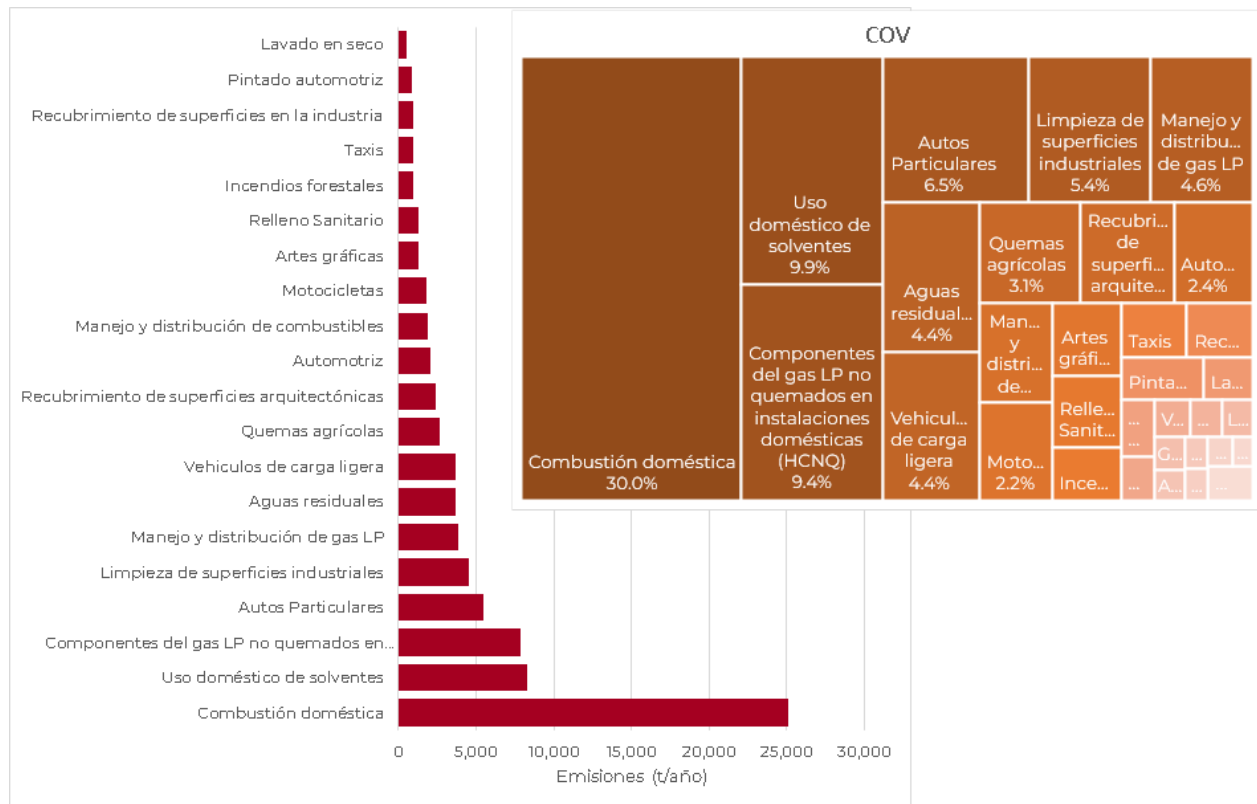


FIGURA 4. EMISIONES DE COV DE LAS FUENTES O CATEGORÍAS RELEVANTES

Fuente: Elaboración propia con datos del IEEPuebla-2020

De los resultados de estimar el potencial de ozono de cada especie que conforman los COV en cada una de las categorías inventariadas, nos indican que las emisiones de COV provenientes de la quema de leña en el sector doméstico son aún más relevantes como potenciadoras en la formación de ozono y le siguen en orden de importancia las categorías de autos particulares y los vehículos de carga ligera de mercancías, que en total estas tres categorías generan el 66% del potencial de la generación de ozono. Por lo que nos indica que este tipo de análisis es de gran utilidad en las Zonas Metropolitanas de

Puebla en donde disminuye la quema de leña y aumentan las emisiones del sector transporte.

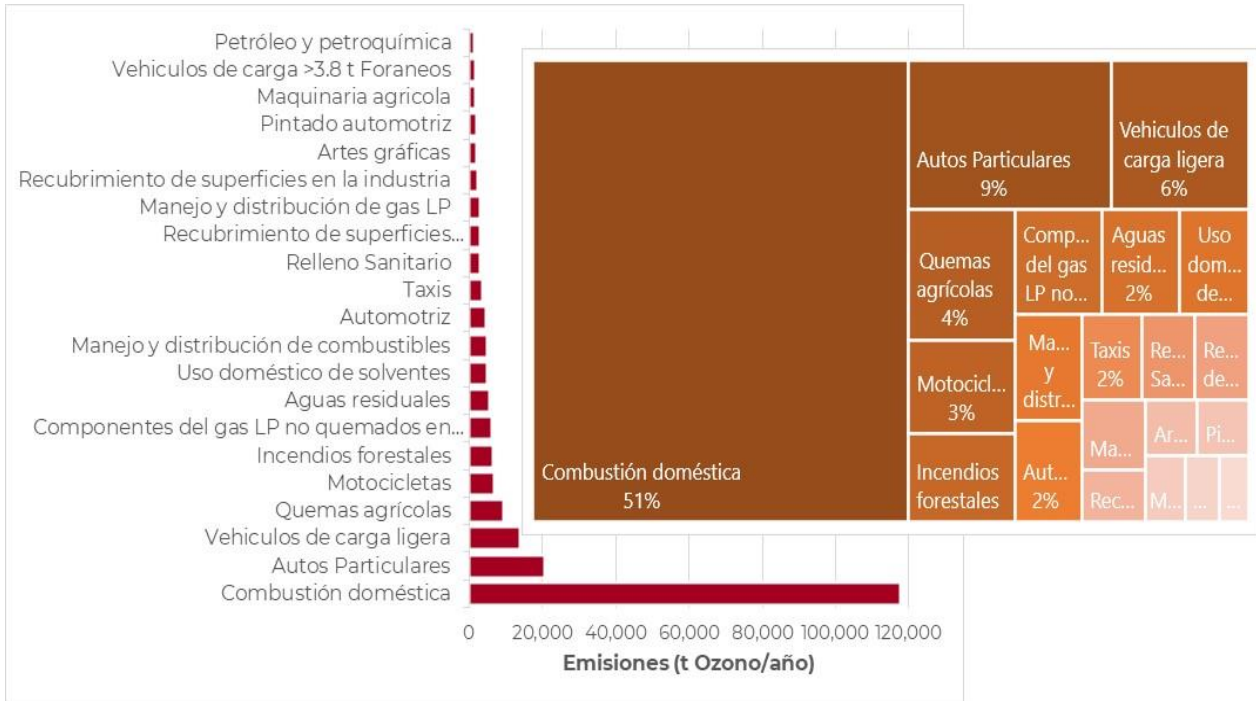


FIGURA 5. EMISIONES DEL POTENCIAL DE FORMACIÓN DE OZONO POR COV DE LAS FUENTES O CATEGORÍAS RELEVANTES

Fuente: Elaboración propia con datos de los perfiles de la base de datos del SPECIATE 5.2 publicado por la EPA (<https://www.epa.gov/air-emissions-modeling/speciate>) y datos de las escalas de reactividad incremental máxima desarrollada por William P. L. Carter

3.2.3 Emisiones relacionadas con la contaminación de especies tóxicas

Es importante resaltar que las emisiones de COV, agrupa a varias especies, de las cuales algunas son catalogadas como peligrosas que también son conocidas como contaminantes tóxicos del aire, y son aquellos contaminantes que se sabe o se sospecha que causan cáncer u otros efectos graves para la salud. Con base a la información del SPECIATE elaborado por la EPA, dentro de este proyecto se identificaron y cuantificaron 143 contaminantes tóxicos, aunque solo 20 de ellos representan el 96% de las emisiones totales de estos contaminantes, donde se estimó que anualmente en el estado de Puebla se estarían generando 27,568 toneladas de contaminantes tóxicos.

Los contaminantes tóxicos que más se generan en Puebla son el propano, el benceno, el tolueno y el etanol, con un aporte del 23.8%, 19.4%, 14.4% y 13.3% respectivamente. Estos cuatro contaminantes tóxicos, suman el 70.9% del total generado en el estado de Puebla. Ver Figura 6.

TABLA 4. INVENTARIO DE EMISIONES DE CONTAMINANTES TÓXICOS POR ESPECIE

No.	Tóxico	t/año	%	% Acumulado
1	Propano	6,563	23.8%	23.8%
2	Benceno	5,349	19.4%	43.2%
3	Tolueno	3,964	14.4%	57.6%
4	Alcohol etílico (o etanol)	3,656	13.3%	70.9%
5	Propileno (o Propeno 1-Propeno)	1,424	5.2%	76.0%
6	Percloroetileno (o Tetracloroetileno)	773	2.8%	78.8%
7	P-xileno	676	2.5%	81.3%
8	Propilenglicol	620	2.3%	83.5%
9	1,3-butadieno	556	2.0%	85.5%
10	Etilbenceno	430	1.6%	87.1%
11	Fenantreno	355	1.3%	88.4%
12	Acetaldehído	328	1.2%	89.6%
13	Acetato de etilo	282	1.0%	90.6%
14	2,2,4-trimetilpentano	280	1.0%	91.6%
15	Pireno	264	1.0%	92.6%
16	O-xileno	258	0.9%	93.5%
17	Metil t-butil éter (MTBE)	220	0.8%	94.3%
18	Tetracloruro de carbono	215	0.8%	95.1%
19	N-hexano	190	0.7%	95.8%
20	Trans-2-buteno (o (2E)-2-Buteno)	139	0.5%	96.3%
21	Otros (123 especies)	1,024	3.7%	100.0%
	Total	27,568	100.0%	

Fuente: Elaboración propia con datos de los perfiles de la base de datos del SPECIATE 5.2 publicado por la EPA (<https://www.epa.gov/air-emissions-modeling/speciate>).

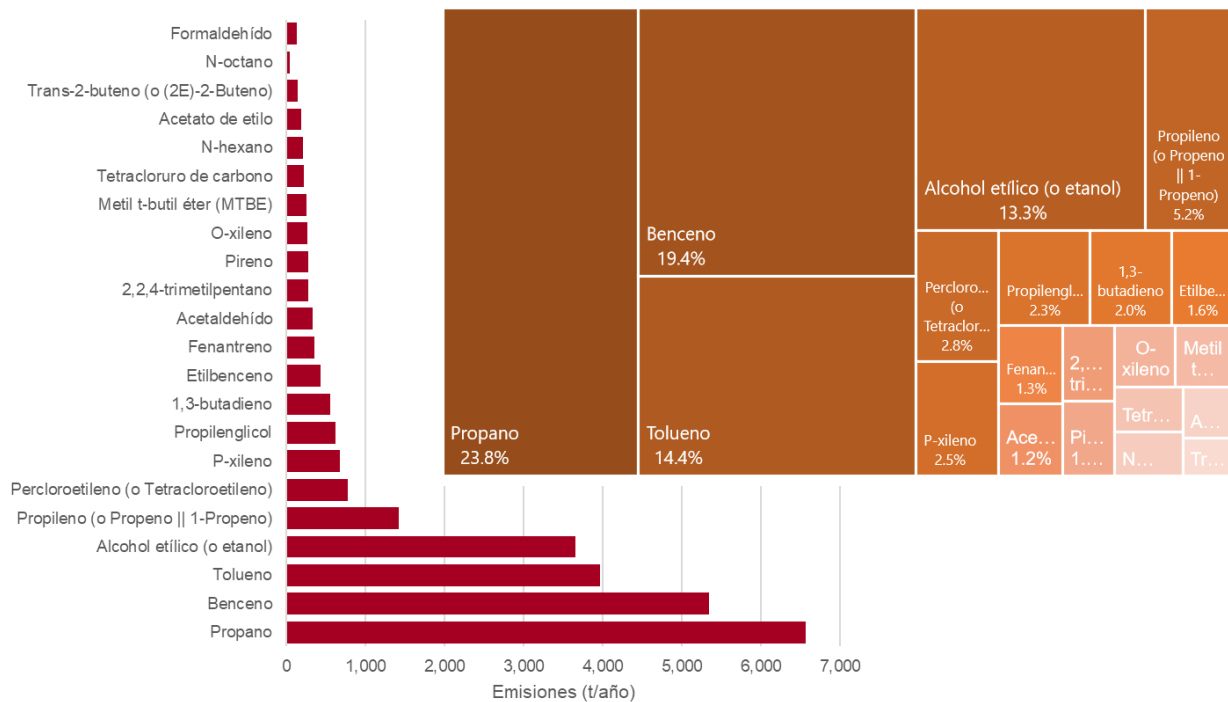


FIGURA 6. EMISIONES DE LOS PRINCIPALES CONTAMINANTES TÓXICOS

Fuente: Elaboración propia con datos de los perfiles de la base de datos del SPECIATE 5.2 publicado por la EPA (<https://www.epa.gov/air-emissions-modeling/speciate>).

La categoría con mayor potencial de reducción de emisiones de contaminantes tóxicos, son la combustión doméstica, los componentes del gas LP no quemados en instalaciones domésticas y el uso doméstico de solventes, ya que tan solo estas tres categorías aportan más del 56.2% de las emisiones totales de contaminantes tóxicos.

En la Tabla 5, se muestra el Inventario de Emisiones de Contaminantes Tóxicos por Fuente o Categoría.

TABLA 5. INVENTARIO DE EMISIONES DE CONTAMINANTES TÓXICOS POR FUENTE O CATEGORÍA

Tipo de fuente o categoría	Emisiones		
	t/año	% Individual	% Acumulado
Combustión doméstica	7,984	29.0%	29.0%
Componentes del gas LP no quemados en instalaciones domésticas (HCNQ)	4,127	15.0%	43.9%
Uso doméstico de solventes	3,378	12.3%	56.2%
Manejo y distribución de gas LP	2,007	7.3%	63.5%
Autos Particulares	1,580	5.7%	69.2%
Vehículos de carga ligera	1,063	3.9%	73.1%
Relleno Sanitario	801	2.9%	76.0%
Aguas residuales	745	2.7%	78.7%
Quemas agrícolas	686	2.5%	81.1%
Lavado en seco	526	1.9%	83.1%
Motocicletas	526	1.9%	85.0%
Automotriz	490	1.8%	86.7%
Recubrimiento de superficies arquitectónicas	482	1.7%	88.5%
Incendios forestales	376	1.4%	89.9%
Pintado automotriz	372	1.3%	91.2%
Panificación	369	1.3%	92.5%
Manejo y distribución de combustibles	282	1.0%	93.6%
Taxis	268	1.0%	94.5%
Artes gráficas	261	0.9%	95.5%
Maquinaria agrícola	208	0.8%	96.2%
Recubrimiento de superficies en la industria	200	0.7%	97.0%
Asfaltado	185	0.7%	97.6%
Vehículos de carga >3.8 t Foráneos	89	0.3%	98.0%
Aplicación de plaguicidas	89	0.3%	98.3%
Petróleo y petroquímica	78	0.3%	98.6%
Limpieza de superficies industriales	48	0.2%	98.7%
Metalúrgica (incluye la siderúrgica)	41	0.1%	98.9%
Tractocamiones foráneos	37	0.1%	99.0%
Alimentos y bebidas	36	0.1%	99.2%
Pintura para señalización vial	35	0.1%	99.3%
Quema de residuos a cielo abierto	30	0.1%	99.4%
Ladrilleras	30	0.1%	99.5%
Locomotoras	20	0.1%	99.6%
Microbuses y Vagonetas TPE	16	0.1%	99.6%
Autobús TPE	14	0.1%	99.7%
Generación de energía eléctrica	13	0.0%	99.7%
Combustión industrial	12	0.0%	99.8%
Asados al carbón	12	0.0%	99.8%
Combustión comercial	12	0.0%	99.9%

Vehículos de carga >3.8 t	9	0.0%	99.9%
Autobuses foráneos	5	0.0%	99.9%
Autobús particular	5	0.0%	99.9%
Otras industrias	5	0.0%	99.9%
Esterilización de material hospitalario	5	0.0%	100.0%
Aeronaves	4	0.0%	100.0%
Cemento y cal	3	0.0%	100.0%
Industria textil	1	0.0%	100.0%
Tractocamiones	1	0.0%	100.0%
Química	1	0.0%	100.0%
Minerales no metálicos	0.2	0.0%	100.0%
Celulosa y papel	0.1	0.0%	100.0%
Combustión agrícola	0.1	0.0%	100.0%
Papel y cartón	0.03	0.0%	100.0%
Impresión	0.02	0.0%	100.0%
Plástico y hule	0.02	0.0%	100.0%
Tratamiento de residuos peligrosos	0.02	0.0%	100.0%
Mezclas químicas	0.02	0.0%	100.0%
Extracción/Beneficio minerales no metálicos	0.02	0.0%	100.0%
Derivados del petróleo y carbón	0.01	0.0%	100.0%
Pinturas y tintas	0.004	0.0%	100.0%
Industria de la madera	0.003	0.0%	100.0%

Fuente: Elaboración propia con datos de los perfiles de la base de datos del SPECIATE 5.2 publicado por la EPA (<https://www.epa.gov/air-emissions-modeling/speciate>).

3.3. Emisiones generadas por municipio

La Tabla 6, contiene las emisiones generadas por municipio, donde podemos observar que el municipio de Puebla es el mayor emisor de casi todos los contaminantes, excepto de las emisiones de PM_{2.5} y SO₂ que se generan mayoritariamente en el municipio de San Pedro Cholula y Acajete por las ladrilleras y el sector de fabricación de cemento y cal respectivamente, tanto por la utilización de leña para la cocción de ladrillos y coque de petróleo como por las reacciones que se llevan a cabo en el horneado de la materia prima para la fabricación de cemento y cal.

TABLA 6. EMISIONES GENERADAS EN LOS MUNICIPIOS POBLANOS

Municipio	Emisiones (t/año)								
	PM10	PM2.5	SO ₂	CO	NO _x	COV	NH ₃	CN	CO _{2e}
Puebla	4,151	1,512	425	64,800	15,249	20,833	1,799	233	3,157,531
Cuatlaningo	1,090	779	49	7,363	2,264	4,297	194	28	2,188,274
Cuatlanichán	97	69	47	1,015	788	1,233	85	7	1,648,081
Palmar de Bravo	491	334	909	1,981	2,829	1,772	798	27	1,480,021
Rafael Lara Grajales	78	64	8	875	2,111	1,419	69	6	855,016
San Pedro Cholula	3,585	3,102	53	11,252	1,646	3,243	253	82	791,040
Tehuacán	1,327	1,010	69	13,661	2,126	5,456	5,163	128	607,872
Acajete	274	183	2,438	1,992	881	1,361	227	23	584,593
Huejotzingo	340	242	40	3,449	4,162	2,160	375	28	484,680
San Martín Texmelucan	318	188	21	3,845	3,431	3,108	374	24	483,154
Chietla	2,872	1,701	136	3,204	1,262	9,252	168	230	423,018
San Miguel Xoxtla	208	110	3	484	632	1,275	35	3	350,978

Municipio	Emisiones (t/año)								
	PM10	PM2.5	SO ₂	CO	NO _x	COV	NH ₃	CN	CO _{2e}
San Andrés Cholula	512	220	41	7,720	2,033	3,525	283	28	273,618
Atlixco	469	278	29	5,119	2,020	5,503	499	37	269,446
Izúcar de Matamoros	672	505	119	4,839	1,084	8,303	296	61	242,932
San Felipe Tepatlán	33	30	1	245	433	2,745	69	4	210,721
Tecamachalco	421	285	18	3,011	1,013	2,588	4,305	35	210,458
Ajalpan	772	684	20	4,364	472	2,234	848	60	206,835
Zacatlán	490	357	20	3,710	763	2,027	478	43	192,780
Huachinango	425	329	23	3,852	810	2,385	330	43	151,739
Amozoc	279	192	18	2,748	965	2,457	236	25	144,691
Coronango	1,717	1,526	19	4,280	888	2,109	107	39	143,248
Teziutlán	328	201	17	3,063	935	4,590	227	20	142,694
Chalchicomula de Sesma	471	332	25	3,294	905	2,231	531	35	141,360
Tepeaca	232	145	125	2,385	1,003	2,163	312	20	136,955
Chignahuapan	676	458	15	3,323	934	2,272	530	40	135,623
Quecholac	201	136	9	1,483	877	2,572	248	17	129,741
Tlacotepec de Benito Juárez	353	247	13	2,171	604	1,556	2,767	30	127,095
Tlachichuca	581	434	34	4,208	540	1,376	1,588	40	126,308
Xicotepec	259	209	12	2,372	639	2,419	553	28	107,985
Tochtepec	139	91	6	826	399	1,078	1,619	11	101,546
Cuyoaco	496	288	8	2,547	686	1,812	542	30	100,025
Tepemaxalco	15	8	0	52	235	4,563	13	1	96,555
Tlatlauquitepec	306	211	12	2,241	537	1,392	351	26	87,133
Coxcatlán	448	288	23	1,079	539	3,770	135	38	80,501
Zautla	325	260	21	2,697	367	986	147	25	79,628
Tlahuapan	260	181	10	1,588	575	1,685	311	20	79,616
Libres	278	182	14	1,837	907	2,391	265	20	77,988
San Salvador el Seco	244	157	12	1,397	478	1,183	443	17	77,582
Cuetzalan del Progreso	240	209	9	1,927	734	2,913	400	26	76,221
Acatlán	217	151	10	1,849	456	2,806	270	20	72,884
Zacapoaxtla	226	168	10	1,827	623	1,669	170	20	71,715
Tepanco de López	137	91	6	848	651	2,136	3,976	11	67,454
Acatzingo	189	115	8	1,408	533	1,359	202	15	66,282
Oriental	139	92	8	770	444	1,026	869	11	63,077
Santiago Miahuatlán	139	113	7	902	587	1,994	273	11	62,321
Ocoyucan	86	61	6	999	531	1,323	203	9	59,217
Chiautla	225	155	9	1,293	505	4,463	127	22	57,422
Ixtacamaxtitlán	237	155	8	1,202	478	1,067	343	19	56,396
Guadalupe Victoria	121	71	4	576	644	1,821	2,662	8	55,073
Tepeyahualco	272	173	11	1,409	365	803	246	18	54,590
Juan C. Bonilla	539	469	7	1,499	897	2,709	79	13	54,260
Chignautla	179	136	11	1,539	725	2,168	137	15	53,089
Tetela de Ocampo	189	150	8	1,350	360	868	180	19	51,852
Vicente Guerrero	223	186	7	1,493	515	1,631	202	22	50,649
Xiutetelco	149	109	7	1,258	529	1,522	137	14	50,560
Cañada Morelos	179	130	8	1,171	585	1,582	381	16	50,064
Nopalucan	189	112	7	958	829	2,390	210	13	49,062
Altepexi	119	92	7	774	672	2,332	78	12	48,367
San José Chiapa	108	69	5	455	431	2,032	146	7	48,039
Atoyatempan	67	51	3	472	802	2,684	240	6	47,529
Huaquechula	221	133	8	1,065	813	4,207	177	16	47,341
San Salvador el Verde	108	80	6	874	396	1,109	159	10	45,691
Yehualtepec	154	115	6	890	748	2,150	1,446	10	43,454
Venustiano Carranza	98	71	5	644	577	2,833	204	11	43,371
Hueytamalco	133	93	5	877	594	3,302	395	13	43,014
Tepexi de Rodríguez	183	111	6	1,086	500	2,845	154	13	42,088
Tulcingo	194	159	16	1,773	219	1,680	74	14	40,807
San José Miahuatlán	308	272	7	923	359	1,668	888	11	39,884

Municipio	Emisiones (t/año)								
	PM10	PM2.5	SO ₂	CO	NO _x	COV	NH ₃	CN	CO _{2e}
Tecali de Herrera	97	67	6	780	519	1,327	111	9	38,906
Chichiquila	173	151	5	1,205	429	1,547	156	18	38,434
Zoquitlán	163	142	5	1,124	409	3,253	186	18	38,433
General Felipe Ángeles	137	94	7	969	729	2,249	133	9	37,759
San Matías Tlalancaleca	91	63	10	474	468	1,307	131	5	37,458
Chilchotla	151	118	6	1,038	583	1,847	152	12	36,797
San Gregorio Atzompa	46	27	3	532	632	1,865	163	4	36,182
Tlaola	147	132	5	1,062	942	5,195	195	17	36,139
Zinacatepec	90	70	6	640	416	1,663	948	9	35,821
San Nicolás Buenos Aires	171	102	4	644	520	1,429	174	12	35,250
Jolalpan	142	104	4	766	364	6,270	112	13	34,520
San Sebastián Tlacotepec	181	146	5	886	561	6,173	287	18	33,423
Tochimilco	117	83	4	738	256	732	134	10	33,334
Los Reyes de Juárez	76	46	4	686	836	2,527	85	6	33,304
Pantepec	102	81	4	661	602	2,669	206	11	32,941
Atempan	85	63	5	769	761	2,356	120	8	32,544
San Gabriel Chilac	76	57	3	570	385	1,587	109	7	31,651
Coyomeapan	258	224	7	1,133	321	2,268	140	27	31,172
Francisco Z. Mena	110	77	4	523	1,320	6,843	432	11	31,001
Huehuetla	121	110	4	895	557	2,919	131	13	30,165
Pahuatlán	71	63	3	572	528	2,440	121	8	30,135
Chiconcuautla	116	105	3	886	456	3,286	136	13	30,127
Esperanza	99	63	5	544	857	2,441	135	8	28,976
Tehuizingo	107	72	4	637	529	8,000	76	9	28,929
Quimixtlán	109	92	4	770	568	2,607	114	12	28,739
Huitzilán de Serdán	109	101	3	885	480	1,970	141	13	27,724
Tlacuilotepec	111	100	4	734	376	2,960	235	13	27,264
Ahuacatlán	93	82	3	712	281	1,478	115	10	27,208
San Salvador Huixcolotla	47	31	4	473	751	2,249	44	4	27,136
Tilapa	94	66	7	504	469	4,179	72	8	27,071
Tepatlxco de Hidalgo	86	62	6	707	431	1,217	77	6	26,502
Chiautzingo	74	51	4	614	335	878	76	7	26,364
Tepeojuma	82	57	7	450	366	4,112	55	7	25,837
Zaragoza	69	40	4	549	364	946	90	5	25,716
Sochtepec	86	54	4	487	530	1,480	119	6	25,006
Eloxochitlán	106	91	3	744	431	3,210	218	11	24,869
Tepexco	148	85	3	460	458	6,177	74	9	24,705
Santa Inés Ahuatempan	61	40	2	317	215	2,095	76	6	23,293
Atzitzintla	90	58	3	451	393	1,071	134	7	23,283
Xochitlán de Vicente Suárez	70	63	3	565	520	2,052	84	8	22,868
Aquixtla	69	48	3	397	394	1,137	144	6	22,777
Atzitzihuacán	104	62	3	423	550	2,242	107	7	22,251
Calpan	69	45	3	477	460	1,264	75	6	22,136
Huitziltepec	41	27	1	248	332	1,013	684	3	22,131
Jalpan	67	55	3	461	481	3,090	254	8	21,778
Cuatempan	74	59	4	583	422	1,812	114	6	21,573
Zihuateutla	71	54	2	429	400	1,962	377	7	21,535
Tepeyahualco de Cuauhtémoc	30	20	1	182	544	1,748	589	2	21,347
Ocoatepec	111	72	5	771	397	1,154	80	6	21,275
Tianguismanalco	59	41	3	464	390	1,127	91	5	21,268
San Nicolás de los Ranchos	70	50	4	585	211	522	50	6	21,075
Tenampulco	86	50	2	335	560	2,039	120	6	20,822
Nealtican	48	29	3	432	550	1,542	42	4	20,689
Olintla	83	74	2	612	447	3,728	118	9	20,661
Santa Isabel Cholula	46	30	4	430	650	1,874	71	4	20,597
Huehuetlán el Chico	67	46	3	352	299	4,153	62	6	20,431
Tepetzintla	88	77	3	599	312	1,785	90	9	20,208

Municipio	Emisiones (t/año)								
	PM10	PM2.5	SO ₂	CO	NO _x	COV	NH ₃	CN	CO _{2e}
Tlanepantla	25	17	1	194	597	1,894	89	2	20,159
Acateno	75	46	2	316	411	2,053	188	6	19,413
Teopantlán	37	27	1	231	217	4,599	39	3	19,364
Hueyapan	57	46	2	418	449	4,496	91	6	19,306
Lafragua	78	51	3	436	529	1,505	94	6	19,191
Ayototco de Guerrero	59	37	2	301	252	889	126	5	18,976
Xochitlán Todos Santos	74	46	2	317	383	1,163	86	5	18,975
Tlapanalá	85	48	3	371	514	3,245	60	5	18,527
Santo Tomás Hueyotlipan	34	21	2	321	525	1,578	59	3	17,967
Petlalcingo	65	40	2	354	287	2,007	134	5	17,603
Jopala	52	43	2	343	795	3,056	231	6	17,473
Aljojuca	45	29	2	262	299	894	93	3	17,177
San Juan Atenco	66	38	3	302	414	1,084	84	5	16,798
Ahuazotepec	46	29	3	366	333	900	64	4	16,571
Zapotitlán	49	32	2	328	176	501	77	4	16,340
Tzicatlacoyan	37	27	2	296	126	524	57	4	16,301
San Felipe Teotlalcingo	44	29	2	300	598	1,773	64	4	15,656
Ixcaquixtla	57	29	2	360	372	1,075	65	3	15,461
Acteopan	64	39	1	232	281	2,914	34	4	15,231
Cuapiaxtla de Madero	31	19	3	265	672	2,092	62	3	14,883
Naupan	52	44	2	369	756	4,661	93	6	14,485
Epatlán	49	35	3	264	526	9,511	36	4	14,292
Domingo Arenas	42	33	2	315	790	2,583	36	4	13,894
Huehuetlán el Grande	54	33	2	231	455	4,452	56	4	13,889
Mazapiltepec de Juárez	48	29	2	213	625	1,854	75	3	13,644
Guadalupe	57	30	2	279	848	9,787	81	4	13,286
Zacapala	62	37	2	261	417	5,749	64	5	13,032
Ixtepec	48	44	1	379	804	3,183	54	5	12,955
Molcaxac	52	28	2	288	354	2,051	65	3	12,713
Caltepec	44	28	1	220	170	1,011	141	3	12,712
Hermenegildo Galeana	44	39	1	331	1,143	4,431	103	5	12,650
Cohuecan	45	26	1	177	347	2,023	32	3	12,479
Tecomatlán	47	28	2	240	280	6,084	50	3	12,347
Chapulco	43	35	2	251	354	1,102	45	3	12,184
Huatlatlauca	41	25	1	242	669	4,704	45	3	11,968
Nicolás Bravo	33	26	1	245	227	623	44	4	11,432
Juan Galindo	22	14	1	241	520	2,287	25	2	11,415
Coatzingo	39	27	1	216	339	4,465	33	3	11,401
Piactla	41	25	2	213	185	3,534	37	3	11,288
Tlapacoya	52	40	1	268	384	1,458	117	5	11,277
Hueytlalpan	44	38	1	318	595	2,349	60	5	11,202
Chila	31	21	1	235	685	6,007	53	3	11,067
Tlaltenango	37	22	2	177	587	1,894	60	2	11,020
Juan N. Méndez	48	29	1	208	378	1,160	58	3	10,906
Zongozotla	35	30	2	305	44	2,535	68	3	10,557
Honey	36	21	1	154	529	1,863	89	3	10,494
San Jerónimo Tecuanipan	31	17	2	191	892	2,800	43	2	10,457
Yaonáhuac	29	19	1	210	346	1,742	52	2	10,447
Teteles de Avila Castillo	24	14	1	210	681	2,561	40	1	10,357
Tlaxco	32	27	1	217	284	1,258	135	4	10,121
Tepango de Rodríguez	30	27	1	234	94	6,193	53	3	9,755
Amixtlán	33	29	1	248	268	2,074	90	4	9,593
Ixcamilpa de Guerrero	40	26	1	167	136	2,963	39	4	9,582
Tuzamapan de Galeana	31	21	1	172	197	850	72	3	9,523
Xochiltepec	28	18	2	146	344	7,057	27	2	8,972
Cuayuca de Andrade	38	22	1	146	277	6,353	35	3	8,540
San Pedro Yeloixtlahuaca	22	13	1	131	287	4,600	41	2	8,335

Municipio	Emisiones (t/año)								
	PM10	PM2.5	SO ₂	CO	NO _x	COV	NH ₃	CN	CO _{2e}
San Jerónimo Xayacatlán	20	14	1	154	249	2,007	39	2	8,184
San Antonio Cañada	27	23	1	212	234	1,942	159	3	7,939
Jonotla	30	20	1	159	612	2,736	73	2	7,505
Ahuatlán	28	18	1	137	231	4,030	38	3	7,302
Atexcal	33	17	1	141	316	1,145	81	2	7,172
Xochiapulco	23	17	1	142	308	1,300	30	2	7,056
Teotlalco	29	17	1	109	269	6,955	24	2	6,740
Zapotitlán de Méndez	16	14	1	123	189	982	46	2	6,560
Atzala	21	15	2	103	735	6,020	25	2	6,343
San Pablo Anicano	19	11	1	107	378	5,786	40	2	6,144
Chigmecatitlán	6	4	0	41	609	5,784	8	1	5,834
Chinantla	19	11	1	113	690	7,916	21	2	5,793
Coyotepec	32	13	1	110	371	1,407	37	1	5,715
Nauzontla	15	11	1	104	480	1,729	24	1	5,644
Cohetzala	19	12	1	75	125	3,123	19	2	5,348
Zoquiapan	21	15	1	120	128	942	37	2	5,317
Camocuautla	18	16	1	131	91	2,067	34	2	5,265
Ahuehuetitla	28	14	1	112	208	3,929	27	1	5,131
Xicotlán	16	10	1	62	105	2,611	18	2	5,102
Caxhuacan	12	10	1	92	293	1,013	36	1	4,641
Mixtla	10	5	2	79	507	1,587	12	1	4,387
Chila de la Sal	10	7	1	55	231	8,730	11	2	4,265
Axutla	12	7	1	59	132	5,446	14	2	4,212
Albino Zertuche	11	7	0	50	37	1,050	14	1	4,170
San Juan Atzompa	5	3	0	36	418	4,060	11	0	4,158
Santa Catarina Tlaltempan	5	3	0	27	326	3,810	7	0	4,038
San Diego la Mesa Tochimiltzingo	11	7	0	58	151	3,643	27	1	3,936
La Magdalena Tlatlauquitepec	3	1	0	18	456	4,675	12	0	3,934
Atlequizayan	12	10	0	83	684	2,694	26	1	3,832
San Martín Totoltepec	11	5	0	33	235	5,160	19	1	3,594
Totoltepec de Guerrero	10	8	0	48	55	720	14	1	3,211
San Miguel Ixitlán	6	3	0	22	361	2,773	31	1	2,994
Xayacatlán de Bravo	7	5	0	62	97	5,781	9	1	2,826
Coatepec	5	4	0	29	374	1,406	29	0	1,918

Fuente: Elaboración propia con datos del anuario estadístico, Balance Energético Estatal de Puebla 2020, CONAGUA, CONAFOR, CONEVAL, diagnóstico básico para la gestión integral de los residuos, EPA (AP-42, WebFire, Evaporative Emissions from On-road Vehicles in MOVES2014, MOVES-México), Gobierno del Estado de Puebla, Hojas técnicas de pinturas y recubrimientos (Sherwin Williams, Nervion pinturas, Axalta, Comex), INEGI (DENUE, ENIGH, Censo de Población y Vivienda, EMIM, Censos económicos, Volumen total del mercado de pintura para repintado automotriz, longitud de la red de calles por municipio, Banco de Información Económica), Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, SENER (SIE, Balance Nacional de Energía, Comisión Reguladora de Energía), POWER-Data Access Viewer Prediction Of Worldwide Energy Resource, Modelo Mexicano de Biogás, SAGARPA, SEMARNAT, Secretaría de Salud, entre otros.

4. EMISIONES GENERADAS EN LOS MUNICIPIOS POBLANOS QUE PERTENECEN A LA ZMVP

Del análisis de las emisiones por municipio, se puede identificar a los principales municipios donde se generan la mayor cantidad de contaminantes y de las especies reactivas formadoras de ozono; con lo cual nos permitió analizar en específico a los municipios poblanos que forman parte de la Zona Metropolitana del Valle de Puebla (ZMVP), donde seguramente sus habitantes son los que están expuestos a una concentración mayor de contaminantes y en específico a la contaminación de ozono.

TABLA 7. EMISIONES GENERADAS EN LOS MUNICIPIOS POBLANOS QUE PERTENECEN A LA ZMVP

Municipio	Emisiones (t/año)								
	PM10	PM2.5	SO ₂	CO	NO _x	COV	NH ₃	CN	CO _{2e}
Coronango	1,717.1	1,525.6	19.5	4,279.7	887.8	2,108.7	107.5	38.6	143,248.3
Cuatlaningo	1,090.2	779.2	49.1	7,362.9	2,263.6	4,296.8	194.3	28.2	2,188,273.8
Chiautzingo	74.4	51.2	3.8	614.2	335.0	878.3	76.5	6.5	26,364.1
Domingo Arenas	42.4	33.2	1.7	315.2	789.6	2,582.6	36.3	4.2	13,894.4
Huejotzingo	340.0	241.6	39.8	3,448.6	4,161.6	2,159.6	374.7	28.0	484,679.6
Juan C. Bonilla	539.1	469.1	6.8	1,498.7	897.0	2,709.1	78.9	13.2	54,259.6
Ocoyucan	86.2	61.4	6.1	999.1	530.7	1,322.6	202.7	8.9	59,217.3
Puebla	4,151.4	1,512.4	424.7	64,800.1	15,248.9	20,832.7	1,799.1	233.0	3,157,531.3
San Andrés Cholula	511.6	219.5	40.6	7,720.4	2,033.5	3,525.1	283.1	28.2	273,617.7
San Felipe Teotlaningo	44.3	28.5	1.8	300.1	598.5	1,772.7	64.4	3.5	15,655.6
San Gregorio Atzompa	45.8	26.5	3.2	532.4	632.4	1,865.0	162.6	3.7	36,182.4
San Martín Texmelucan	317.8	188.3	21.0	3,844.9	3,430.8	3,107.8	374.2	24.0	483,153.6
San Miguel Xoxtla	207.8	110.3	3.1	484.2	631.6	1,274.7	35.4	3.0	350,978.4
San Pedro Cholula	3,585.3	3,102.0	52.7	11,252.5	1,646.3	3,242.8	253.4	81.6	791,040.1
San Salvador el Verde	108.4	79.8	5.5	874.3	395.8	1,109.0	159.1	10.2	45,690.6
Tepatlatxco de Hidalgo	85.6	62.1	5.8	706.7	431.0	1,216.8	77.3	6.4	26,501.8
Tlaltenango	37.5	22.4	1.5	176.7	587.2	1,893.7	60.5	2.1	11,019.8
ZMVT	12,984.9	8,513.2	686.6	109,210.7	35,501.1	55,897.9	4,339.9	523.2	8,161,308.4

Fuente: Elaboración propia con datos del anuario estadístico, Balance Energético Estatal de Puebla 2020, CONAGUA, CONAFOR, CONEVAL, diagnóstico básico para la gestión integral de los residuos, EPA (AP-42, WebFire, Evaporative Emissions from On-road Vehicles in MOVES2014, MOVES-México), Gobierno del Estado de Puebla, Hojas técnicas de pinturas y recubrimientos (Sherwin Williams, Nervion pinturas, Axalta, Comex), INEGI (DENUE, ENIGH, Censo de Población y Vivienda, EMIM, Censos económicos, Volumen total del mercado de pintura para repintado automotriz, longitud de la red de calles por municipio, Banco de Información Económica), Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, SENER (SIE, Balance Nacional de Energía, Comisión Reguladora de Energía), POWER-Data Access Viewer Prediction Of Worldwide Energy Resource, Modelo Mexicano de Biogás, SAGARPA, SEMARNAT, Secretaría de Salud, entre otros.

4.1. Emisiones relacionadas con la calidad del aire por partículas suspendidas en la ZMVP

La calidad del aire por partículas suspendidas menores a 10 micrómetros (PM₁₀) y menores a 2.5 micrómetros (PM_{2.5}) en la ZMVP está influenciada por su dinámica atmosférica para dispersar o concentrar la carga de emisiones de estos contaminantes, que en mayor medida se generan en los municipios de San Pedro Cholula y Coronango, por la presencia de ladrilleras y en el municipio de Puebla por el polvo que se desprende con el tránsito vehicular en los caminos no pavimentados. Figura 7 y 8.

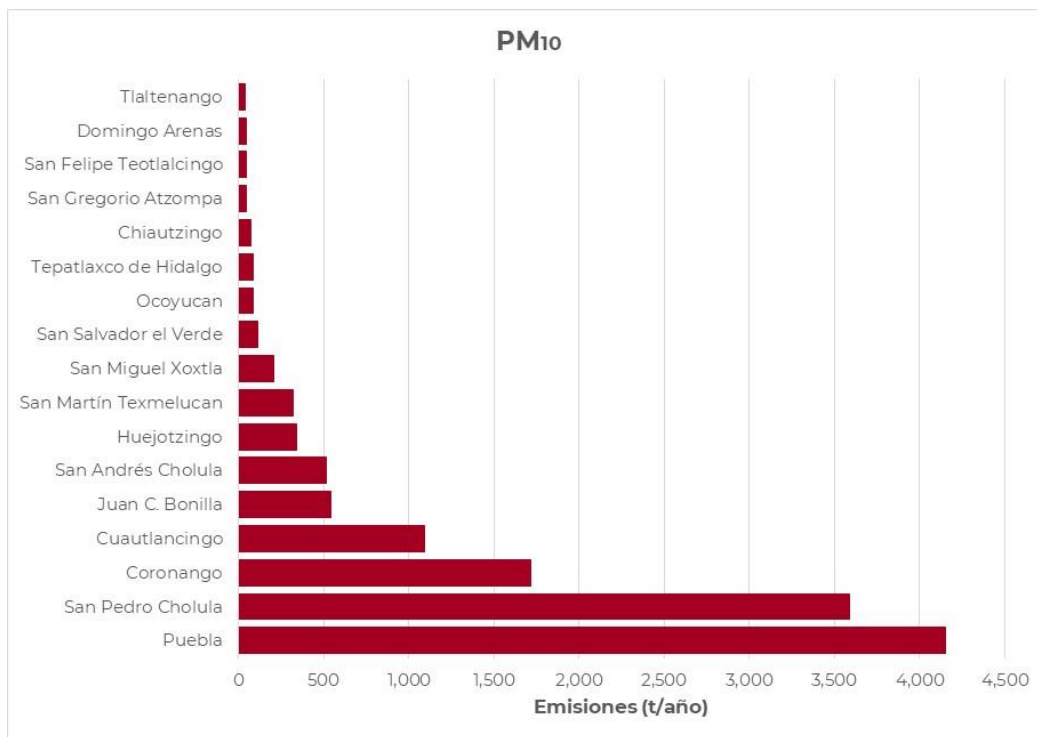


FIGURA 7. EMISIONES DE PM₁₀ GENERADAS EN LOS MUNICIPIOS QUE PERTENECEN A LA ZMVP

Fuente: Elaboración propia con datos del IEEPuebla-2020.

En los municipios de San Pedro Cholula y Coronango, se genera emisiones de partículas debido a la actividad de fabricación de ladrillos donde se utiliza leña como combustible y en el municipio de Puebla por el polvo que se desprende de las vialidades con el tránsito vehicular. Figura 9.

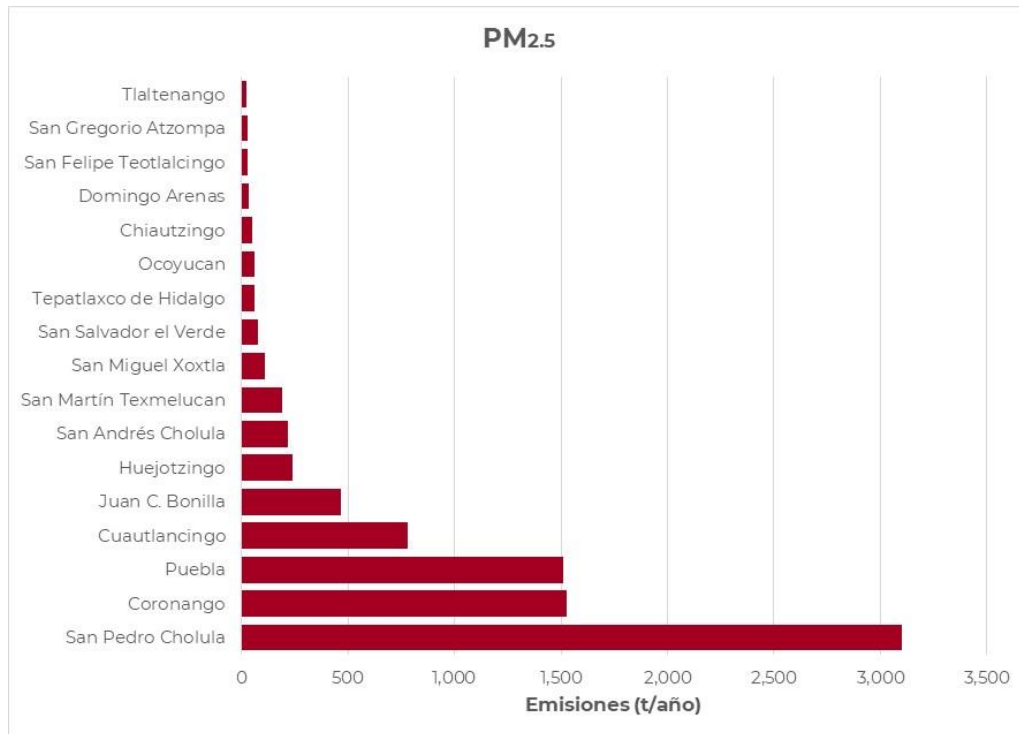
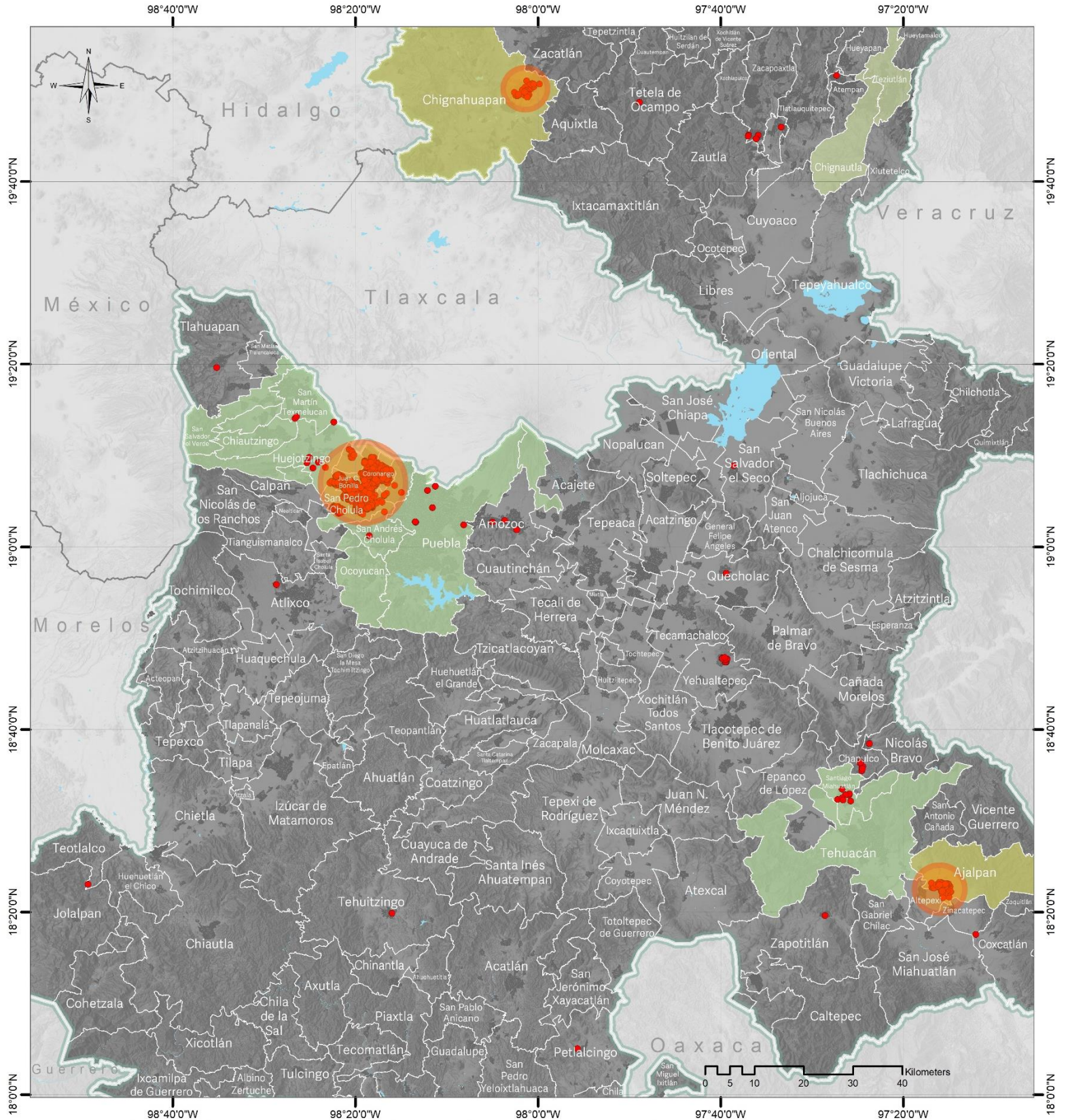


FIGURA 8. EMISIONES DE PM2.5 GENERADAS EN LOS MUNICIPIOS QUE PERTENECEN A LA ZMVP

Fuente: Elaboración propia con datos del IEEPuebla-2020.

De los inventarios que se han elaborado para el estado de Puebla, siempre resalta como un sector importante en la generación de partículas suspendidas la fabricación de ladrillos. En la ZMVP al año 2020, se tenían registradas 1,767 ladrilleras, y de estas el 61% se ubican en San Pedro Cholula, el 30% en Coronango y el 9% en Juan C. Bonilla. Mapa 038 y Tabla 8, DENUE 2021.



Simbología

- Límite municipal
- Mancha urbana
- Cuerpos de agua
- Límite del Estado de Puebla
- Límite estatal
- Municipios del Estado de Puebla
- Ladrilleras
- Zona de ubicación masiva de ladrilleras
- Zonas metropolitanas
- Ajalpan y Chignahuapan



M038. Ubicación geográfica de ladrilleras

Fuente: Elaboración Propia con datos del DENEU 2021 consultado 07/2022 en <https://www.inegi.org.mx/app/descarga/?ti=6>.
Mapa Base: Marco Geoestadístico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.

Coordinate System: MEXICO ITRF 2008 LCC
Projection: Lambert Conformal Conic 2SP
Datum: ITRF 2008

TABLA 8. LADRILLERAS REGISTRADAS EN LA ZPVP POR MUNICIPIO

Municipio	Ladrilleras	
	Número	Porcentaje
San Pedro Cholula	1,074	61%
Coronango	534	30%
Juan C. Bonilla	159	9%
Total	1,767	100.0%

Fuente: Elaborada con datos del DENUE 2021 consultado 07/2022 en <https://www.inegi.org.mx/app/descarga/?ti=6>

Por lo que estas 1,767 ladrilleras aportan el 57% de la PM_{2.5}. Figura 9.

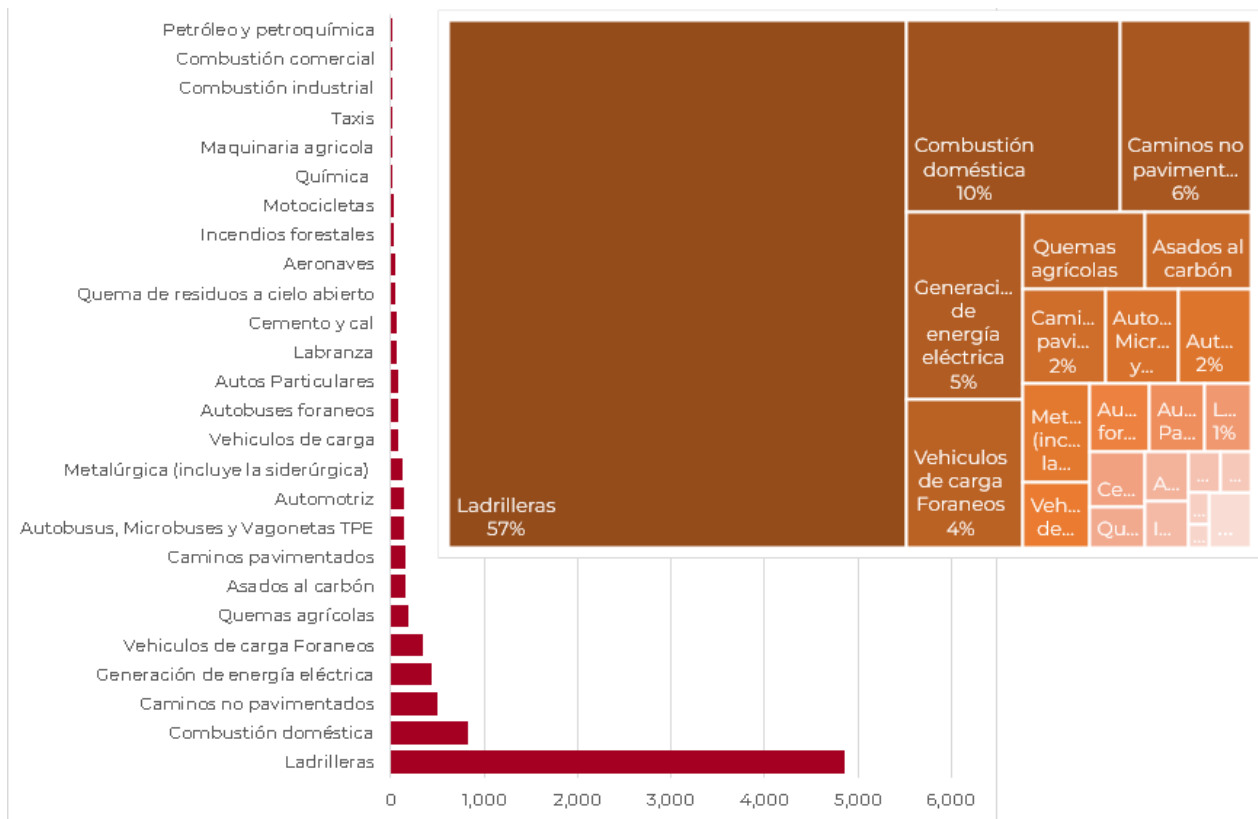


FIGURA 9. EMISIONES DE PM_{2.5} POR SECTOR, ZMVP 2020

Fuente: Elaboración propia con datos del IEEPuebla-2020.

Po lo que un elemento estratégico para mejorar la calidad del aire es reducir las emisiones generadas por la fabricación de ladrillos (Ladrilleras), debido a que son fuentes que en sus procesos queman combustibles como la leña, lo que genera grandes cantidades de material particulado. Las ladrilleras son fuentes emisoras que generan contaminantes de forma ostensible e impactan significativamente en la calidad del aire que respiran los habitantes que viven cerca de estas fuentes.

4.2 Emisiones Relacionadas con la calidad del aire por ozono en la ZMVP

Los principales precursores de ozono son los NO_x y COV.

La mayor generación de NO_x, la aportan las fuentes móviles y sobre todo los autos particulares, además de la generación de energía eléctrica. Y la mayor generación de los COV la aportan: el uso doméstico de solventes, los autos particulares y las fugas de gas LP. Figuras 11 y 12.

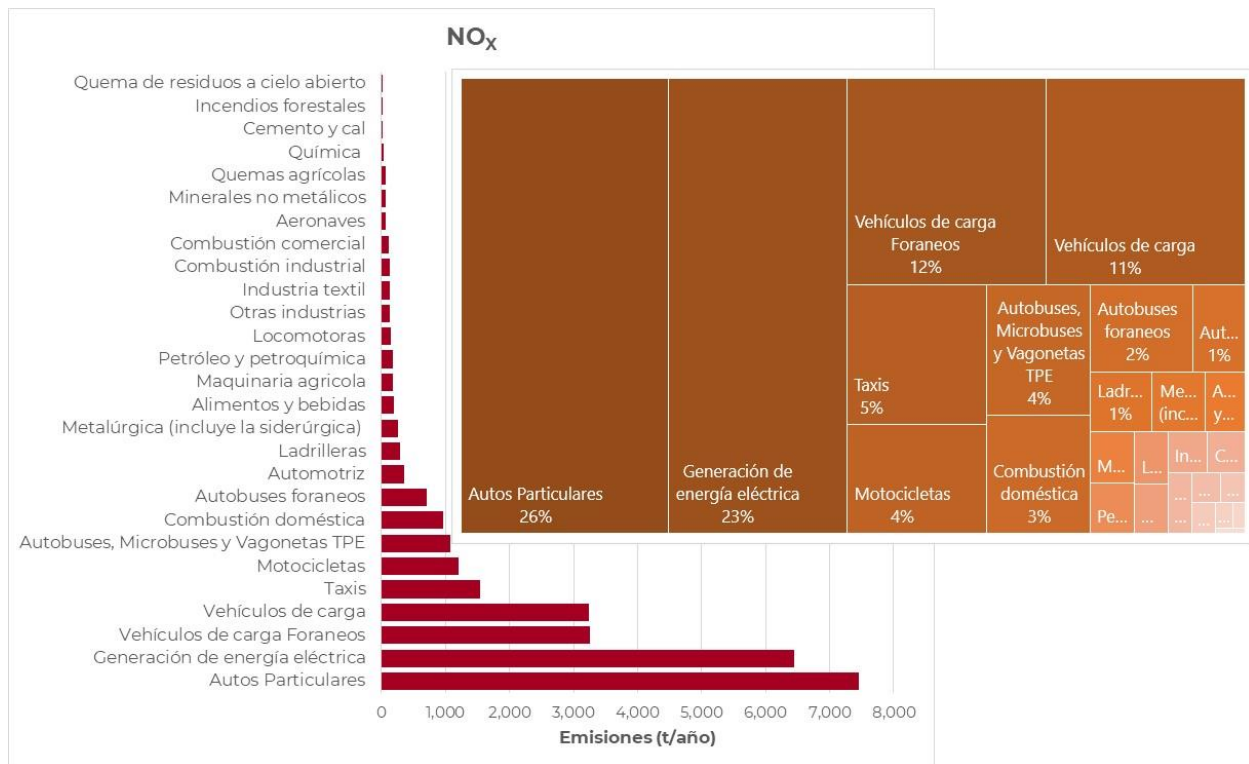


FIGURA 10. EMISIONES DE NO_x GENERADAS EN LA ZMVP

Fuente: Elaboración propia con datos del IEEPuebla-2020

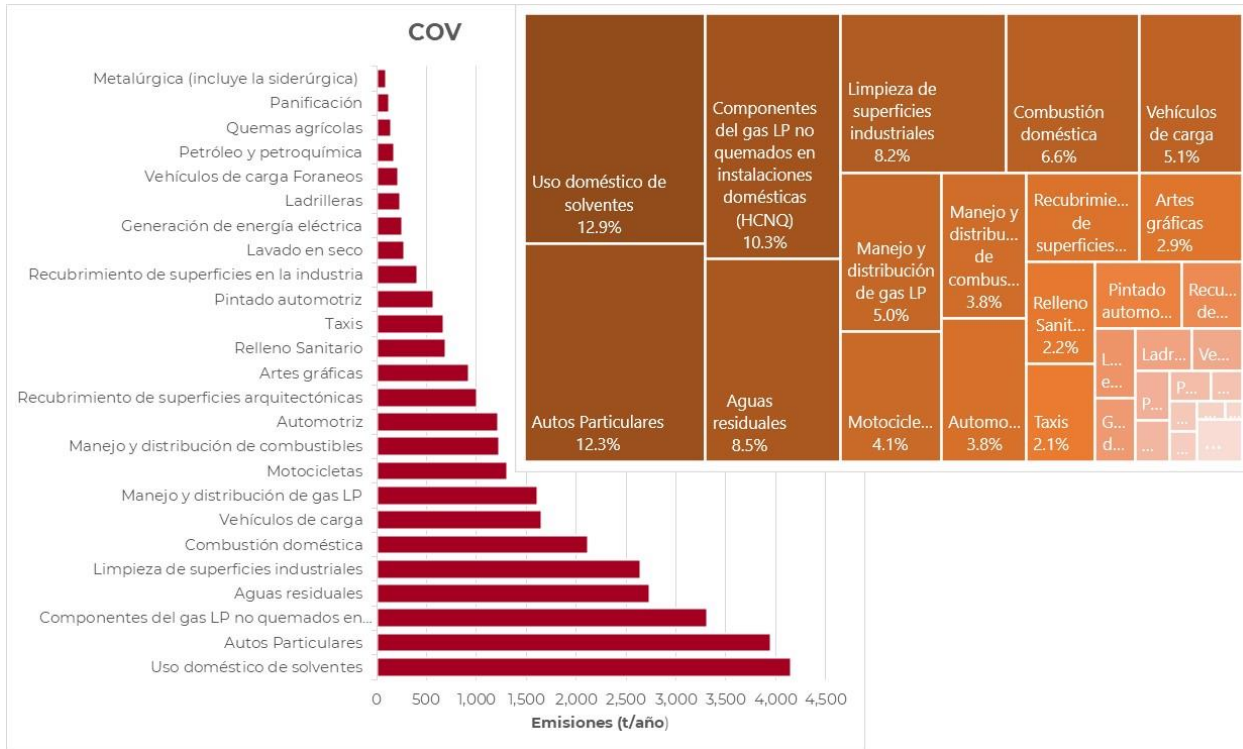


FIGURA 11. EMISIONES DE COV GENERADAS EN LA ZMVP

Fuente: Elaboración propia con datos del IEEPuebla-2020

A continuación, se presentan las emisiones desagregadas por fuente o categoría de la ZMVP.

TABLA 9. INVENTARIO DE EMISIONES DE CONTAMINANTES CRITERIO Y DE GYCEI, ZMVP

Fuente o categoría	Emisiones (t/año)									
	PM ₁₀	PM _{2.5}	SO ₂	CO	NO _x	COV	NH ₃	CN	CO ₂ e	
Fuentes Puntuales	1,003.7	825.6	102.9	2,119.6	7,805.5	1,799.5	16.3	10.0	3,276,606.8	
Automotriz	151.8	138.4	4.6	104.3	357.9	1,220.8	2.1	0.4	114,633.5	
Celulosa y papel	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Cemento y cal	109.6	62.6	54.5	16.2	23.7	1.0	0.7	0.1	28,963.0	
Generación de energía eléctrica	443.1	443.1	7.0	1,483.2	6,438.1	255.7	0.0	6.2	2,256,092.1	
Metalúrgica (incluye la siderúrgica)	232.6	132.5	2.8	212.8	255.1	98.5	8.1	1.3	359,970.3	
Petróleo y petroquímica	7.4	7.4	0.6	81.3	175.7	172.5	3.1	0.5	134,976.1	
Pinturas y tintas	0.6	0.3	0.0	0.0	0.0	2.6	0.0	0.0	478.9	
Química	41.3	24.2	0.9	36.9	34.9	32.8	1.5	0.3	68,506.8	
Tratamiento de residuos peligrosos	0.0	0.0	0.0	0.1	0.4	0.0	0.0	0.0	334.7	
Alimentos y bebidas	5.1	5.1	0.8	56.7	185.8	3.8	0.3	0.4	96,111.4	
Derivados del petróleo y carbón	0.0	0.0	0.2	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	92.4	
Extracción/Beneficio minerales no metálicos	0.0	0.0	0.6	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	192.4	
Impresión	0.0	0.0	0.0	0.5	1.5	0.0	0.0	0.0	697.5	
Industria de la madera	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	30.0	
Industria textil	4.0	4.0	6.9	43.1	130.2	3.3	0.2	0.3	72,896.5	
Mezclas químicas	0.1	0.1	0.0	1.3	4.4	0.1	0.0	0.0	2,258.0	
Minerales no metálicos	1.6	1.6	0.6	17.8	59.0	1.2	0.1	0.1	30,168.3	
Otras industrias	6.1	6.1	22.9	63.7	133.4	7.1	0.1	0.4	107,436.6	
Papel y cartón	0.1	0.1	0.5	1.3	4.4	0.1	0.0	0.0	2,354.0	
Plástico y hule	0.0	0.0	0.1	0.2	0.7	0.0	0.0	0.0	414.5	
Fuentes de Área	10,943.1	6,860.4	140.5	18,962.3	1,578.3	22,446.9	4,174.3	279.0	2,556,837.0	
Combustión comercial	7.9	7.9	9.1	67.2	112.0	6.7	0.1	4.8	112,687.7	

Combustión agrícola	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	78.5
Combustión doméstica	853.2	823.3	83.4	7,127.7	970.3	2,114.3	50.8	123.8	868,217.9
Combustión industrial	9.3	9.3	1.6	100.2	122.6	6.8	0.6	1.1	169,887.4
Artes gráficas	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	925.0	0.0	0.0	0.0
Asfaltado	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	51.7	0.0	0.0	0.0
Lavado en seco	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	281.5	0.0	0.0	0.0
Limpieza de superficies industriales	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2,644.3	0.0	0.0	0.0
Pintado automotriz	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	573.9	0.0	0.0	0.0
Pintura para señalización vial	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	84.8	0.0	0.0	0.0
Recubrimiento de superficies arquitectónicas	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1,010.4	0.0	0.0	0.0
Recubrimiento de superficies en la industria	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	404.3	0.0	0.0	0.0
Uso doméstico de solventes	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4,154.4	0.0	0.0	0.0
Manejo y distribución de gas LP	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1,610.8	0.0	0.0	0.0
Componentes del gas LP no quemados en instalaciones domésticas (HCNQ)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3,311.8	0.0	0.0	0.0
Manejo y distribución de combustibles	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1,231.9	0.0	0.0	0.0
Asados al carbón	206.1	164.5	0.0	410.4	7.6	26.5	0.0	23.0	26,441.4
Panificación	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	126.4	0.0	0.0	0.0
Aplicación de fertilizantes	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	289.0	0.0	0.0
Aplicación de plaguicidas	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15.2	0.0	0.0	0.0
Emisiones ganaderas	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1,396.4	0.0	121,966.6
Corrales de engorda	11.7	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Labranza	284.6	63.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Aguas residuales	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2,741.2	0.0	0.0	40,189.2
Quema de residuos a cielo abierto	48.9	44.8	1.3	109.3	7.7	11.1	0.0	5.4	1,099.3
Relleno Sanitario	0.0	0.0	0.0	13.1	0.0	694.4	0.0	0.0	893,376.9
Caminos pavimentados	649.4	157.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Caminos no pavimentados	3,312.7	503.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Incendios forestales	47.2	40.1	4.4	468.2	14.0	32.7	4.7	2.9	8,088.7
Emisiones domésticas de NH3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2,398.0	0.0	0.0
Esterilización de material hospitalario	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.6	0.0	0.0	0.0
Quemas agrícolas	198.4	190.9	6.3	1,257.0	57.4	143.5	25.1	22.9	53,833.6
Ladrilleras	5,313.7	4,855.1	34.4	9,409.2	286.5	240.7	9.6	95.1	260,969.6
Fuentes móviles no carreteras	59.5	59.5	19.5	171.6	389.2	39.4	0.0	37.5	36,388.5
Locomotoras	2.9	2.9	10.2	17.9	140.7	5.8	0.0	1.2	6,297.5
Aeronaves	44.0	44.0	7.0	114.9	67.9	19.3	0.0	30.8	22,610.5
Maquinaria agrícola	12.7	12.7	2.2	38.9	180.6	14.4	0.0	5.5	7,480.5
Fuentes móviles carreteras	978.5	767.8	423.8	87,957.2	18,485.9	7,909.8	149.3	196.7	2,291,476.1
Autos Particulares	144.5	76.5	156.4	39,508.3	7,463.9	3,948.2	57.9	15.4	950,807.1
Taxis	26.5	9.4	42.3	7,900.2	1,547.1	668.8	14.0	1.6	257,311.4
Autobuses, Microbuses y Vagonetas TPE	160.1	140.0	27.2	1,145.4	1,076.9	82.8	1.8	29.8	104,627.5
Autobuses foráneos	93.5	82.1	16.2	209.8	702.4	30.2	0.9	23.1	57,983.0
Vehículos de carga	112.3	86.9	50.3	17,478.2	3,237.8	1,651.5	15.0	17.5	293,077.7
Vehículos de carga Foráneos	399.1	346.4	69.0	1,644.6	3,257.3	215.8	4.3	105.9	248,624.7
Motocicletas	42.5	26.3	62.4	20,070.7	1,200.5	1,312.5	55.5	3.3	379,044.8
Fuentes naturales	N/A	N/A	N/A	N/A	7,242.2	23,702.4	N/A	N/A	0.0
Emisiones biogénicas	0.0	0.0	0.0	0.0	7,242.2	23,702.4	0.0	0.0	0.0
Total	12,984.9	8,513.2	686.6	109,210.7	35,501.1	55,897.9	4,339.9	523.2	8,161,308.4

Fuente: Elaboración propia con datos del anuario estadístico, Balance Energético Estatal de Puebla 2020, CONAGUA, CONAFOR, CONEVAL, diagnóstico básico para la gestión integral de los residuos, EPA (AP-42, WebFire, Evaporative Emissions from On-road Vehicles in MOVES2014, MOVES-México), Gobierno del Estado de Puebla, Hojas técnicas de pinturas y recubrimientos (Sherwin Williams, Nervion pinturas, Axalta, Comex), INEGI (DENUE, ENIGH, Censo de Población y Vivienda, EMIM, Censos económicos, Volumen total del mercado de pintura para repintado automotriz, longitud de la red de calles por municipio, Banco de Información Económica), Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, SENER (SIE, Balance Nacional de Energía, Comisión Reguladora de Energía), POWER-Data Access Viewer Prediction Of Worldwide Energy Resource, Modelo Mexicano de Biogás, SAGARPA, SEMARNAT, Secretaría de Salud, entre otros.

Para ampliar el análisis de los precursores de ozono, es importante analizar la generación de emisiones de COV por su potencial en la formación de ozono. Los resultados de este análisis se presentan en la Figura 12.

Las emisiones de COV generados por los autos particulares tienen el mayor potencial de generación de ozono.

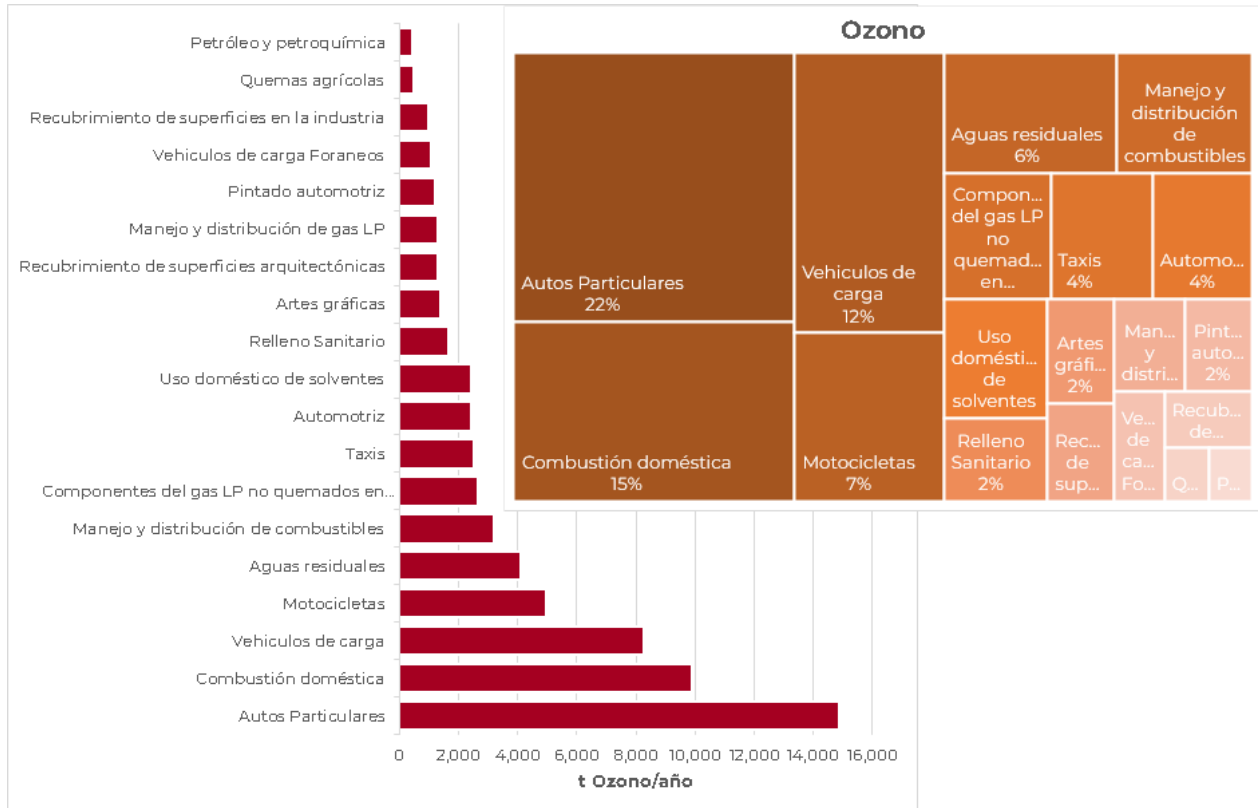


FIGURA 12. EMISIONES DE COV POR SU POTENCIAL EN LA FORMACIÓN DE OZONO (ZMVP)

Fuente: Elaboración propia con datos del IEEPuebla-2020.

5 ANÁLISIS E IDENTIFICACIÓN DE LAS PRINCIPALES FUENTES DE EMISIONES DE GEI Y CCVC (CO₂, CH₄, N₂O Y CN)

Los principales gases de efecto invernadero (GEI) son el dióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄) y el óxido nitroso (N₂O). Además de estos gases, existen contaminantes como el carbono negro (CN) que es considerado como un compuesto climático de vida corta (CCVC) por permanecer poco tiempo en la atmósfera, y que además tiene un gran potencial de calentamiento, debido a esto su control y regulación es importante en la mitigación del calentamiento global. En conjunto a los GEI y a los CCVC, se les agrupa como Compuestos y Gases de Efecto Invernadero (GyCEI).

Se estimó que, en el estado de Puebla en el año 2020 se generaron un poco más de 18 millones de toneladas de dióxido de carbono, más de 96.4 mil toneladas de metano, un poco más de 1,370 toneladas de óxido nitroso y un poco más de 2,808 toneladas de carbono negro. En la Tabla 10, se presentan las emisiones de GyCEI generadas en el Estado de Puebla en el año 2020.

TABLA 10. EMISIONES DE GYCEI GENERADAS EN EL ESTADO DE PUEBLA EN EL AÑO 2020

Fuente o categoría	Emisiones (t/año)				
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CN	CO ₂ e
Fuentes Puntuales	8,082,947	189	40	236	8,098,718
Alimentos y bebidas	126,964	1.92	0.19	0.47	127,068
Automotriz	13,933	0.21	0.02	0.05	13,944
Celulosa y papel	3,566,623	30.13	5.87	2.92	3,569,023
Cemento y cal	2,254,760	24.44	2.44	6.21	2,256,092
Derivados del petróleo y carbón	359,697	5.33	0.53	1.35	359,988
Extracción/Beneficio minerales no metálicos	134,982	1.99	0.20	0.51	135,091
Generación de energía eléctrica	479	0.01	0.00	0.00	479
Impresión	68,649	1.01	0.10	0.26	68,704
Industria de la madera	400	0.01	0.00	0.00	400
Industria textil	1,308,585	119.75	28.14	222.84	1,319,395
Metalúrgica (incluye la siderúrgica)	1,728	0.02	0.02	0.01	1,735
Mezclas químicas	2,227	0.03	0.03	0.01	2,236
Minerales no metálicos	852	0.02	0.01	0.00	855
Otras industrias	88	0.00	0.00	0.00	89
Papel y cartón	82,797	1.26	0.98	0.31	83,092
Petróleo y petroquímica	2,248	0.03	0.03	0.01	2,258
Pinturas y tintas	30,248	0.44	0.44	0.11	30,377
Plástico y hule	123,952	2.04	0.50	0.44	124,141
Química	2,991	0.04	0.04	0.01	3,003
Tratamiento de residuos peligrosos	746	0.01	0.01	0.00	747
Fuentes de Área	6,051,841	95,759	1,090	1,968	9,022,015
Combustión comercial	307,542	25	1	15	308,385
Combustión agrícola	2,668	0.22	0.00	0	2,676
Combustión doméstica	3,492,070	4,770	143	1,178	3,663,573
Combustión industrial	618,383	9	9	4	620,910
Asados al carbón	63,927	114	2	59	67,728
Emisiones ganaderas	0	32,806	608	0	1,079,663
Aguas residuales	0	1,892	129	0	87,257
Quema de residuos a cielo abierto	9,003	323	5	94	19,288
Relleno Sanitario	135,644	54,013	0	0	1,648,013

Incendios forestales	216,960	228	31	82	231,434
Quemas agrícolas	950,932	1,021	44	426	991,159
Ladrilleras	254,712	557	119	110	301,929
Fuentes móviles no carreteras	303,319	18	95	228	329,032
Maquinaria agrícola	50,314	3	3	10	51,090
Locomotoras	22,692	2	1	31	22,994
Aeronaves	230,313	13	92	186	254,948
Fuentes móviles carreteras	3,581,148	465	145	377	3,632,461
Autos Particulares	1,297,838	135	52	21	1,315,419
Taxis	353,133	28	8	2	355,984
Microbuses y Vagonetas TPE	20,645	3	1	1	20,862
Autobús TPE	118,780	26	0	39	119,569
Autobús particular	47,819	8	0	15	48,075
Autobuses foráneos	29,648	3	0	16	29,750
Vehículos de carga ligera	597,182	122	76	31	620,618
Vehículos de carga >3.8 t	23,757	6	0	4	24,040
Vehículos de carga >3.8 t Foráneos	177,468	31	4	60	179,337
Tractocamiones	14,454	3	0	4	14,535
Tractocamiones foráneos	378,609	40	0	178	379,873
Motocicletas	521,814	60	3	5	524,399
Total	18,019,255	96,430	1,370	2,808	21,082,225

De las emisiones de CO₂ generadas en el estado de Puebla, las fuentes o categorías con mayor aportación, son la fabricación del cemento y cal, la combustión doméstica y la generación de electricidad que en suma contribuye con el 56% (9,313,453 toneladas CO₂) de todas las emisiones de bióxido de carbono generadas en el estado de Puebla.

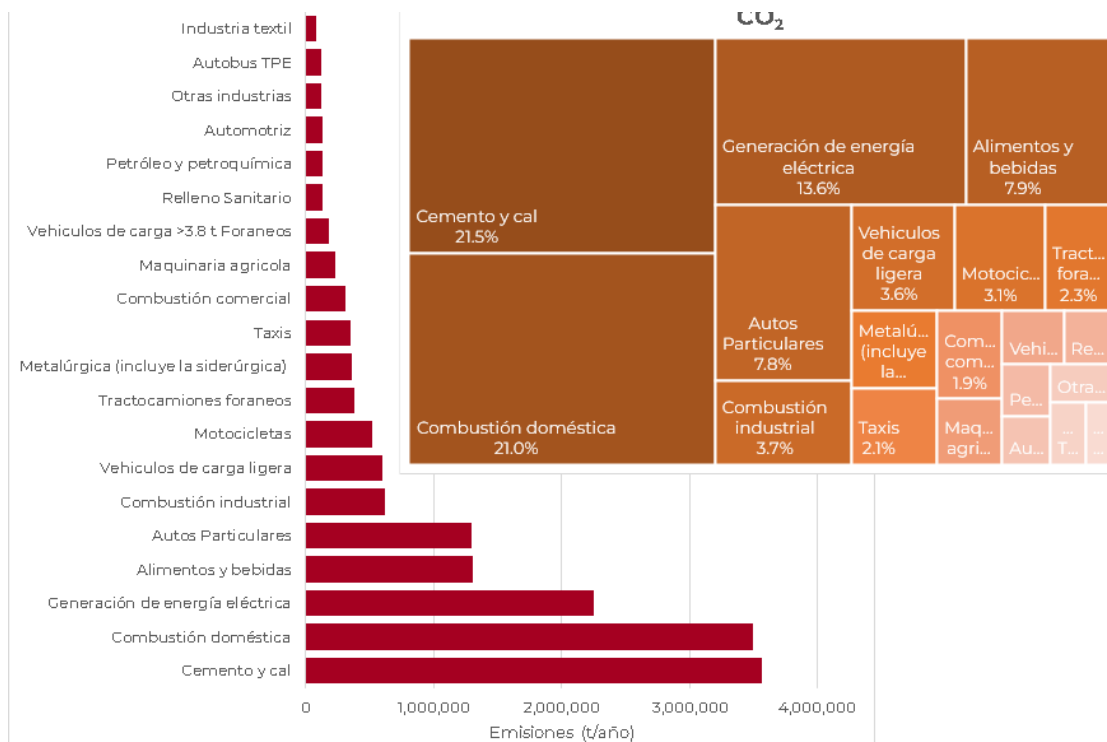


FIGURA 13. EMISIONES DE CO₂E DE LAS FUENTES O CATEGORÍAS RELEVANTES

Fuente: Elaboración propia con datos del IEEPuebla-2020

De las emisiones de CH₄ generadas en el estado de Puebla, las fuentes o categorías con mayor aportación son los rellenos sanitarios y las emisiones ganaderas, que, en suma, contribuye con el 91% (86,820 toneladas CH₄) de todas las emisiones de metano generadas en el estado de Puebla.

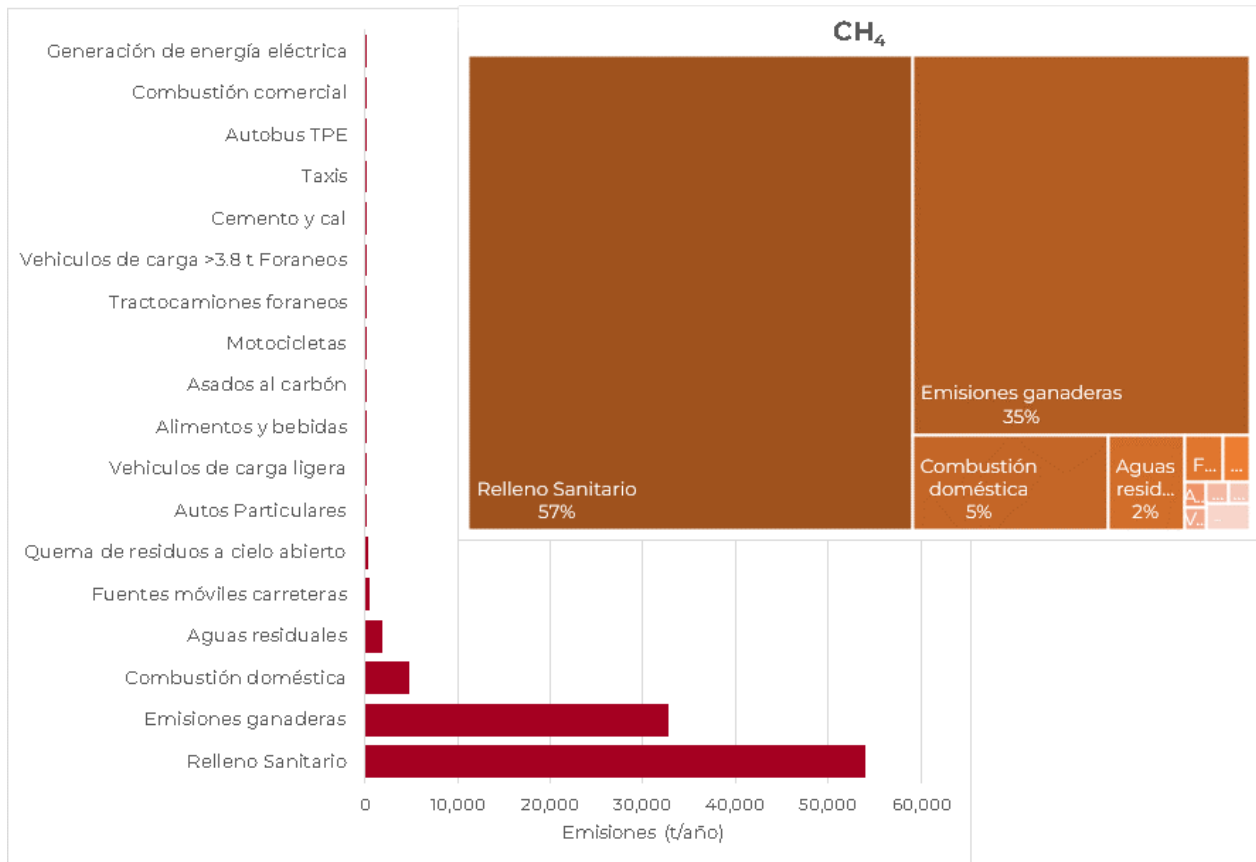


FIGURA 14. EMISIONES DE CH₄ DE LAS FUENTES O CATEGORÍAS RELEVANTES

Fuente: Elaboración propia con datos del IEEPuebla-2020

De las emisiones de N₂O generadas en el estado de Puebla, las fuentes o categorías con mayor aportación, son las emisiones ganaderas y la combustión doméstica, que, en suma, contribuye con el 54% (751 toneladas de N₂O) de todas las emisiones de óxido nitroso generadas en el estado de Puebla.

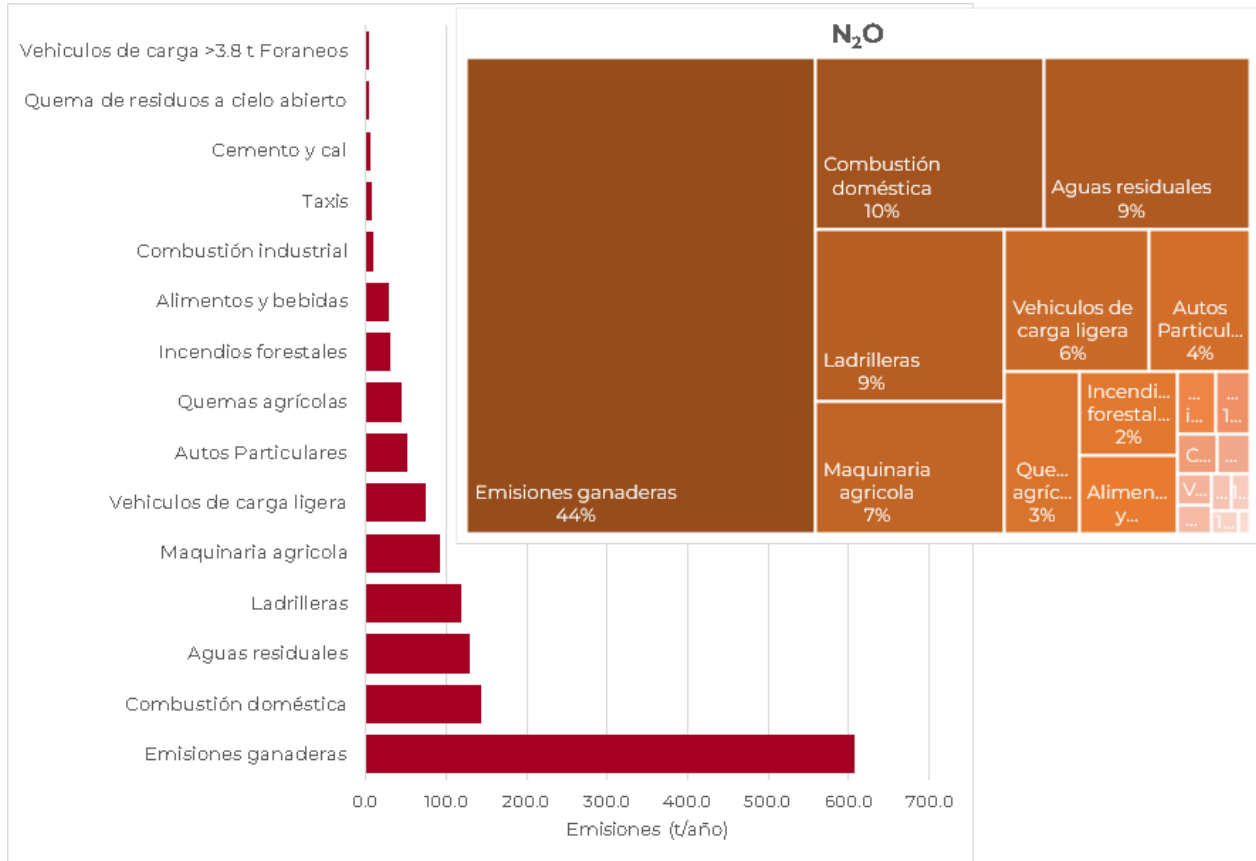


FIGURA 15. EMISIONES DE N₂O DE LAS FUENTES O CATEGORÍAS RELEVANTES

Fuente: Elaboración propia con datos del IEEPuebla-2020

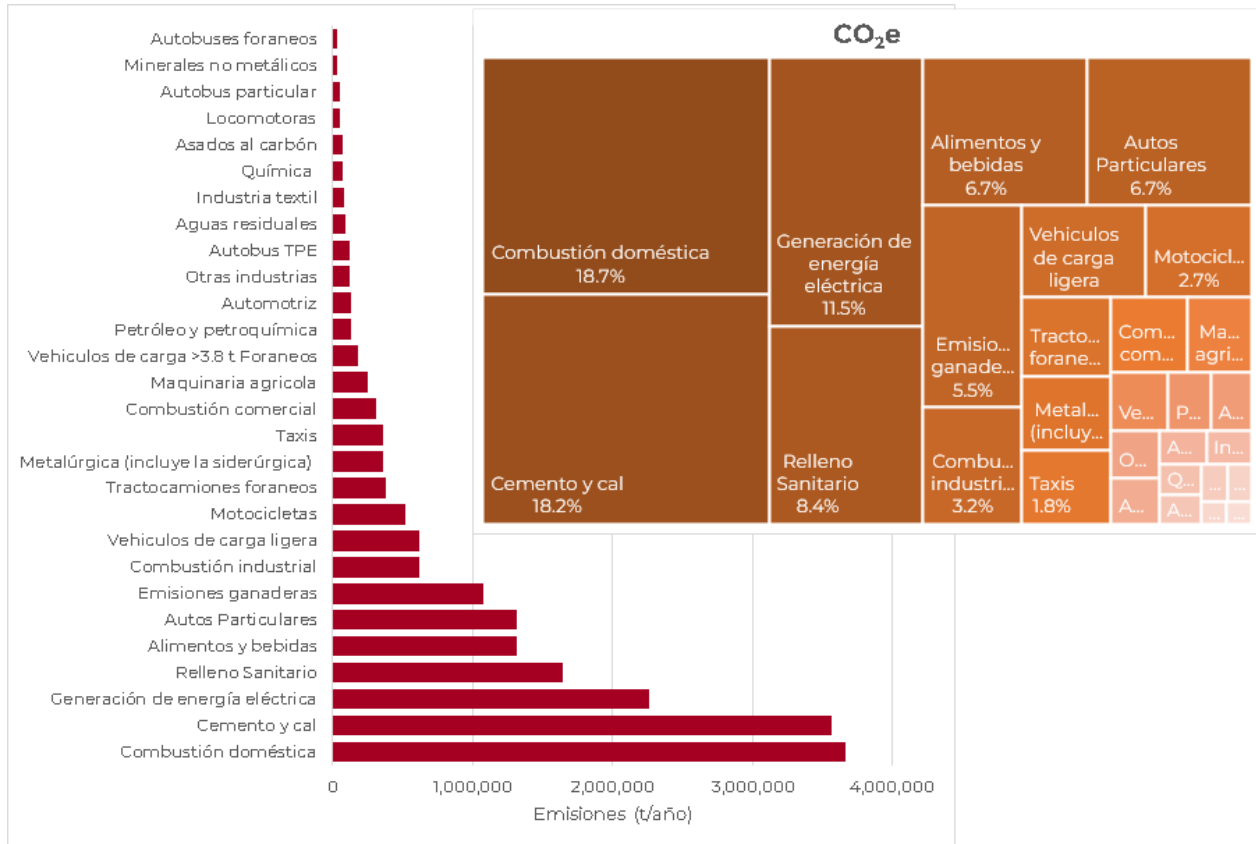


FIGURA 17. EMISIONES DE CO₂e DE LAS FUENTES O CATEGORÍAS RELEVANTES

Fuente: Elaboración propia con datos del IEEPuebla-2020

En la Tabla 11, se presenta el inventario de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero del año 2020 con la clasificación y categorías del IPCC.

TABLA 11. INVENTARIO DE EMISIONES DE GASES Y COMPUESTOS DE EFECTO INVERNADERO

CATEGORÍA / FUENTE / SUBFUENTE DE EMISIÓN	EMISIONES (Mg)				
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂ e	CN
[1] Energía	11,310,734	805	199	11,386,019	738
[1A] Actividades de quema del combustible	11,310,734	805	199	11,386,019	738
[1A1] Industrias de la energía	2,389,742	26	3	2,391,183	7
[1A1a] Actividad principal producción de electricidad y calor	2,254,760	24	2	2,256,092	6
[1A1b] Refinación del petróleo	134,982	1.99	0.20	135,091	1
[1A2] Industrias manufactura y de la construcción	3,594,338	171	46	3,611,196	233
[1A2a] Hierro y acero	342,929	5.1	0.5	343,206	1.3
[1A2b] Metales no ferrosos	16,768	0	0	16,782	0
[1A2c] Sustancias químicas	70,897	1	0	70,962	0.3
[1A2d] Pulpa, papel e imprenta	17,775	0.26	0.07	17,802	0.07
[1A2e] Procesamiento de alimentos, bebidas y tabaco	1,308,585	120	28	1,319,395	223

CATEGORÍA / FUENTE / SUBFUENTE DE EMISIÓN	EMISIONES (Mg)				
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂ e	CN
[1A2f] Minerales no metálicos	881,849	31	6	884,387	3
[1A2g] Equipo de transporte	126,964	2	0	127,068	0
[1A2j] Madera y productos de la madera	88	0.00	0.003	89	0.005
[1A2l] Textiles y cueros	82,797	1	1	83,092	0.3
[1A2m] Industria no especificada	745,687	11	9	748,413	4.3
[1A3] Transporte	3,654,153	470	148	3,706,545	418
[1A3a] Aviación civil	22,692	2	1	22,994	31
[1A3b] Autotransporte	3,581,148	465	145	3,632,461	377
[1A3c] Ferrocarriles	50,314	3	3	51,090	10
[1A4] Otros sectores	1,672,500	138	3	1,677,096	81
[1A4a] Comercial/institucional	307,542	25	1	308,385	15
[1A4b] Residencial	1,362,290	112	2	1,366,035	66
[1A4c] Agropecuario/silvicultura/pesca/piscifactorías	2,668	0	0	2,676	0
[2] Procesos industriales y uso de productos	2,717,250	0	0	2,717,250	0
[2A] Industria de los minerales	2,717,250	0	0	2,717,250	0
[2A1] Producción de cemento	2,313,429			2,313,429	
[2A2] Producción de cal	403,821			403,821	
[2A5] Otros	0			0	
[3] Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra	1,163,427	34,055	682	2,297,791	508
[3A] Ganado		32,806	608	1,079,664	
[3A1] Fermentación entérica		30,728		860,394	
[3A2] Gestión del estiércol		2,078	608	219,269	
[3B] Tierra	4,465			4,465	
[3B1] Tierra forestales	1,026			1,026	
[3B1a] Tierras forestales que permanecen como tal	1,015			1,015	
[3B1b] Tierras convertidas a tierras forestales	10			10	
[3B2] Tierra de cultivo	3,120			3,120	
[3B2a] Tierras de cultivo que permanecen como tal	3,171			3,171	
[3B2b] Tierras convertidas a tierras de cultivo	-51			-51	
[3B3] Praderas	280			280	
[3B3a] Praderas que permanecen como tal	279			279	
[3B3b] Tierras convertidas en praderas	1.5			1.5	
[3B4] Humedales	0.00			0.00	
[3B4a] Humedales que permanecen como tal	0.0			0.0	
[3B4b] Tierras convertidas en humedales	0.0			0.0	
[3B5] Asentamientos	8.12			8.12	
[3B5a] Asentamientos que permanecen como tal	7.2			7.2	

CATEGORÍA / FUENTE / SUBFUENTE DE EMISIÓN	EMISIONES (Mg)				
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂ e	CN
[3B5b] Tierras convertidas en asentamientos	0.9			0.9	
[3B6] Otras tierras	31.1			31.1	
[3B6a] Otras tierras que permanecen como tal	31.6			31.6	
[3B6b] Tierras convertidas en otras tierras	-0.5			-0.5	
[3C] Fuentes agregadas y fuentes de emisión no CO₂ de la tierra	1,167,892	1,249	74	1,222,592	508
[3C1] Emisiones de GEI por quemado de biomasa	1,167,892	1,249	74	1,222,592	508
[3C1a] Emisiones de quemado de biomasa en tierras forestales	216,960	228	31	231,434	82
[3C1b] Emisiones de quemado de biomasa en tierras de cultivo	950,932	1,021	44	991,159	426
[4] Residuos	144,647	56,228	134	1,754,559	94
[4A] Eliminación de residuos sólidos	135,644	54,013	0	1,648,013	0
[4A1] Sitios gestionados de eliminación de residuos (rellenos sanitarios)	135,644	54,013	0	1,648,013	
[4C] Incineración y quema a cielo abierto de residuos	9,003	323	5	19,288	94
[4C2] Quema a cielo abierto de residuos sólidos	9,003	323	5	19,288	94
[4D] Tratamiento y eliminación de aguas residuales	0	1,892	129	87,257	0
[4D1] Tratamiento y eliminación de aguas residuales municipales		1,892	129	87,257	
Total	15,336,057	91,089	1,015	18,155,619	1,341

Fuente: Elaboración propia con datos del anuario estadístico, Balance Energético Estatal de Puebla 2020, CONAGUA, CONAFOR, CONEVAL, diagnóstico básico para la gestión integral de los residuos, EPA (AP-42, WebFire, Evaporative Emissions from On-road Vehicles in MOVES2014, MOVES-México), Gobierno del Estado de Puebla, Hojas técnicas de pinturas y recubrimientos (Sherwin Williams, Nervion pinturas, Axalta, Comex), INEGI (DENUE, ENIGH, Censo de Población y Vivienda, EMIM, Censos económicos, Volumen total del mercado de pintura para repintado automotriz, longitud de la red de calles por municipio, Banco de Información Económica), Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, SENER (SIE, Balance Nacional de Energía, Comisión Reguladora de Energía), POWER-Data Access Viewer Prediction Of Worldwide Energy Resource, Modelo Mexicano de Biogás, SAGARPA, SEMARNAT, Secretaría de Salud, entre otros.

6. PROYECCIÓN DE EMISIONES DE GASES CRITERIO, TÓXICOS Y GYCEI AL 2030

La tendencia de las emisiones está directamente relacionada con las perspectivas: del consumo energético, de la economía, del crecimiento poblacional y con el marco regulatorio ambiental aplicado a los diferentes sectores. En específico el Inventario Estatal de Emisiones de Puebla del año 2020 (año base), se proyectó al año 2030 y al año 2050 con las perspectivas del consumo energético por tipo de combustible publicadas por la SENER. Con la proyección de las emisiones se estableció la línea base 2020-2050 que nos indica el ritmo al que se estima continuarán creciendo/decreciendo las emisiones de cada una de las fuentes o categorías de emisión inventariadas, es decir, es el escenario tendencial de las emisiones futuras sin la aplicación de nuevas medidas de mitigación de emisiones. Ver Tabla 12.

TABLA 12. LÍNEA BASE POR TIPO DE EMISIÓN

Emisiones de:	t/año			Tendencia
	2020	2030	2050	
PM₁₀	40,467	44,665	57,544	
PM_{2.5}	27,870	28,595	34,218	
SO₂	5,427	6,378	8,637	
CO	278,452	337,836	487,517	
NO_x	140,203	159,120	198,181	
COV	616,500	623,274	651,960	
NH₃	57,060	63,894	73,720	
CO₂	18,019,255	20,945,779	28,742,859	
CH₄	96,430	161,451	406,019	
N₂O	1,370	1,396	1,631	
CN	2,808	2,959	3,680	
CO₂e	21,082,225	25,668,969	40,369,807	
Tóxicos	27,568	29,856	39,905	

Fuente: Elaboración propia con datos del IEEPuebla-2020, CONAPO-PROYECCIONES DE LA POBLACIÓN DE MÉXICO Y DE LAS ENTIDADES FEDERATIVAS 2016-2050, Modelo Mexicano de Biogás, SENER Y Modelo Mexicano de Biogás.

6.1. Tendencia por sector o fuente

Es importante mencionar, que en el sector industrial (fuentes puntuales), se espera un incremento en el consumo energético de combustible, por lo que repercutirá directamente en un aumento de las emisiones. Las emisiones de las fuentes de área se incrementan no solo por el uso y consumo de combustibles (gas natural, gas LP, diésel y coque), sino también por el incremento de la población que demandará entre otros, un mayor consumo de solventes y productos que lo contienen; así como más productos del campo que incidirían en un aumento en la labranza y crianza de ganado con un aumento en el uso de corrales de engorda, fertilizantes, plaguicidas y quemas agrícolas.

También, con el aumento de la población se generarán más residuos que repercutirán en un aumento de las emisiones en las categorías de aguas residuales, rellenos sanitarios y quema de residuos a cielo abierto. Con el aumento del parque vehicular se prevé un aumento en el consumo de gasolina y diésel, que repercute no solo en un aumento de las emisiones de las fuentes móviles, sino también en las fuentes de área con el aumento de la infraestructura vial que requerirá el uso de más asfalto y pintura de tránsito y un aumento de estaciones de servicio que aumentará las emisiones de vapores de gasolina.

Hay sectores o prácticas que se prevé no crezcan e incluso disminuya, como las provenientes de la quema de leña para cocción de alimentos y calentamiento de agua, y no se prevé crecimiento en las emisiones provenientes de la vegetación. Todos estos cambios, afectan el factor de actividad que se ve reflejado en un aumento en la generación de emisiones al año 2050 respecto al año 2020. En la Tabla 13 se presentan las emisiones por tipo de fuente de los años 2020, 2030 y 2050.

TABLA 13. LÍNEA BASE POR TIPO DE FUENTE

Tipo de fuente	Emisiones 2020 (t/año)									
	PM ₁₀	PM _{2.5}	SO ₂	CO	NO _x	COV	NH ₃	CN	CO _{2e}	Tóxicos
Fuentes Puntuales	4,143	2,670	3,804	4,579	12,769	2,701	21	236	8,098,718	669
Fuentes de Área	34,037	23,271	771	134,101	7,485	67,771	56,816	1,968	9,022,015	23,054
Fuentes móviles no carreteras	501	501	164	1,586	7,366	556	0	228	329,032	233
Fuentes móviles carreteras	1,786	1,428	688	138,186	31,124	12,555	223	377	3,632,461	3,612
Fuentes naturales	N/A	N/A	N/A	N/A	81,459	532,917	N/A	N/A	N/A	N/A
Total	40,467	27,870	5,427	278,452	140,203	616,500	57,060	2,808	21,082,225	27,568

Tipo de fuente	Emisiones 2030 (t/año)									
	PM ₁₀	PM _{2.5}	SO ₂	CO	NO _x	COV	NH ₃	CN	CO _{2e}	Tóxicos
Fuentes Puntuales	4,780	3,092	4,403	5,564	15,089	3,233	26	276	9,166,241	796
Fuentes de Área	36,692	22,827	751	122,561	7,100	67,546	63,534	1,851	10,738,920	23,327
Fuentes móviles no carreteras	675	675	218	2,133	9,890	747	0	306	400,023	313
Fuentes móviles carreteras	2,518	2,001	1,006	207,578	45,582	18,831	334	526	5,363,784	5,420
Fuentes naturales	N/A	N/A	N/A	N/A	81,459	532,917	N/A	N/A	N/A	N/A
Total	44,665	28,595	6,378	337,836	159,120	623,274	63,894	2,959	25,668,969	29,856

Tipo de fuente	Emisiones 2050 (t/año)									
	PM ₁₀	PM _{2.5}	SO ₂	CO	NO _x	COV	NH ₃	CN	CO _{2e}	Tóxicos
Fuentes Puntuales	5,894	3,857	5,808	7,183	20,036	4,459	35	326	11,915,315	1,096
Fuentes de Área	46,722	26,256	842	134,764	7,968	82,441	73,135	2,087	19,121,689	29,407
Fuentes móviles no carreteras	1,007	1,007	366	3,222	15,189	1,127	0	457	617,045	472
Fuentes móviles carreteras	3,922	3,098	1,621	342,348	73,529	31,016	550	811	8,715,759	8,930
Fuentes naturales	N/A	N/A	N/A	N/A	81,459	532,917	N/A	N/A	N/A	N/A
Total	57,544	34,218	8,637	487,517	198,181	651,960	73,720	3,680	40,369,807	39,905

Fuente: Elaboración propia con datos del Anuario estadístico por estados, Balance Energético Estatal de Puebla 2020, CONAGUA, CONAFOR, CONEVAL, Diagnóstico básico para la gestión integral de los residuos, EPA (AP-42, WebFire, Evaporative Emissions from On-road Vehicles in MOVES2014, MOVES-México), Gobierno del Estado de Puebla, Hojas técnicas de pinturas y recubrimientos (Sherwin Williams, Nervion pinturas, Axalta, Comex), INEGI (DENUE, ENIGH, Censo de Población y Vivienda, EMIM, Censos económicos, Volumen total del mercado de pintura para repintado automotriz, Longitud de la red de calles por municipio, Banco de Información Económica), Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, SENER (SIE, Balance Nacional de Energía, Comisión Reguladora de Energía), POWER-Data Access Viewer Prediction Of Worldwide Energy Resource, Modelo Mexicano de Biogás, SAGARPA, SEMARNAT, Secretaría de Salud, entre otros.

6.2. Otros tipos de análisis tendencial

Con los resultados de las estimaciones de las proyecciones, podemos realizar varios tipos de análisis, como los siguiente:

Análisis tendencial de PM_{2.5}

En la Figura 18, se muestra la proyección de las emisiones de PM_{2.5} por fuente y a diferencia de las demás fuentes, las emisiones generadas por las fuentes de área disminuirán ligeramente al año 2030 por un baja en el consumo de leña en la combustión doméstica y en la cocción de ladrillos, pero a pesar de que el consumo de leña seguirá bajando al año 2050 las emisiones aumentarán por el aumento de partículas en las demás categorías, principalmente en las provenientes de la quema agrícola.

Fuente o categoría	Emisiones de PM _{2.5} (t/año)			Gráficos		
	2020	2030	2050			
Fuentes Puntuales	2,670	3,092	3,857			
Fuentes de Área	23,271	22,827	26,256			
Fuentes móviles no carreteras	501	675	1,007			
Fuentes móviles carreteras	1,428	2,001	3,098			

FIGURA 18. TENDENCIA DE EMISIONES DE PM_{2.5} POR TIPO DE FUENTE

Fuente: Elaboración propia con datos del IEEPuebla-2020

Escenarios de reducción de emisiones

La línea base nos permitirá evaluar la reducción de emisiones esperada por la aplicación de las medidas de mitigación del Programa de Gestión de Calidad del Aire y de Acción ante el Cambio Climático 2021-2030. Por ejemplo, con la reducción de emisiones de PM_{2.5} y CO_{2e} de todas las medidas que integran el Programa, se tendrían los escenarios de reducción que se muestra en las figuras 19 y 20.

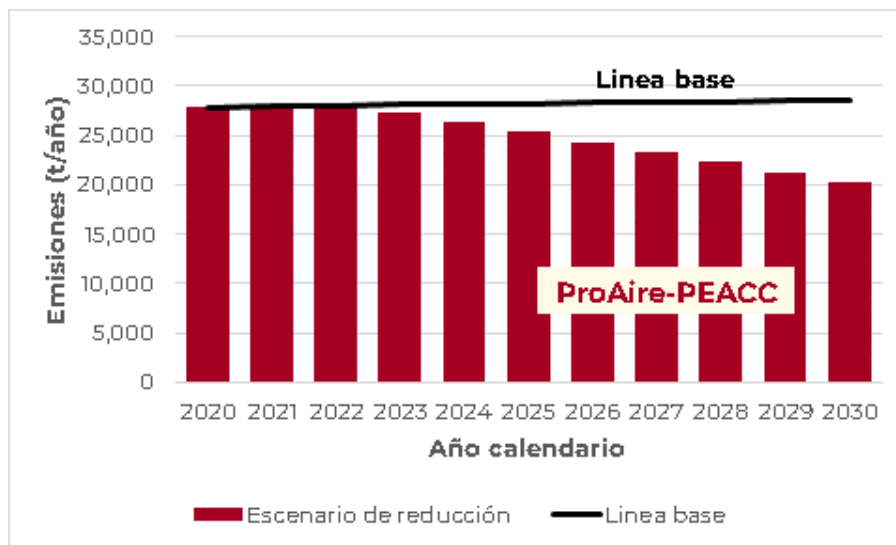


FIGURA 19. LÍNEA BASE DE PM_{2.5} VS ESCENARIO DE REDUCCIÓN

Fuente: Elaboración propia con datos del IEEPuebla-2020

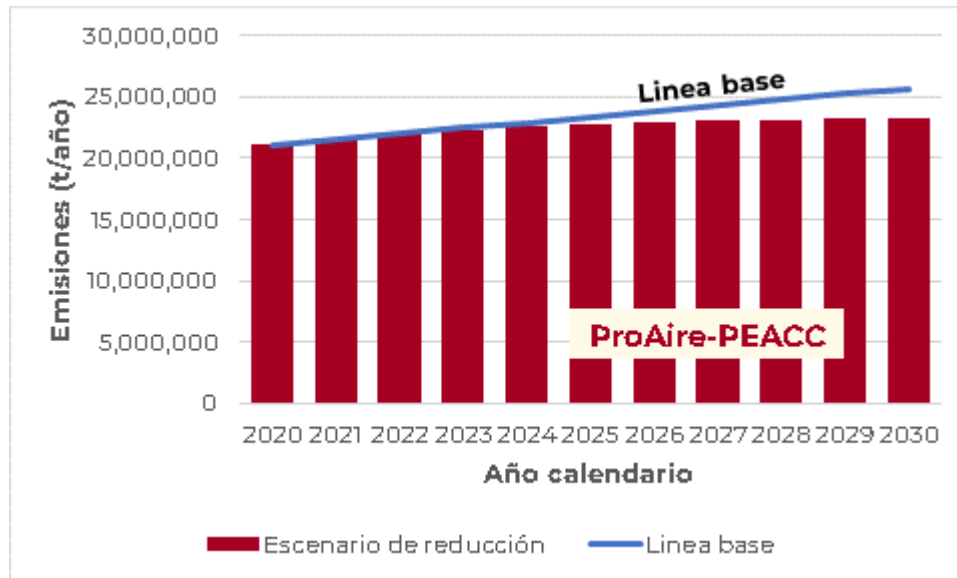


FIGURA 20. LÍNEA BASE DE CO₂E VS ESCENARIO DE REDUCCIÓN

Fuente: Elaboración propia con datos del IEEPuebla-2020

7. ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS

CN	Carbono negro
CONEVAL	Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social
CO	Monóxido de carbono
COV	Compuestos orgánicos volátiles
DENUE	Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas
Gas LP	Gas licuado de petróleo
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
INEM-2018	Inventario Nacional de Emisiones de Contaminantes Criterio 2018
IEEPuebla-2020	Inventario Estatal de Emisiones de Puebla del año 2020
NO _x	Óxidos de nitrógeno
PJ	Peta Joules
PM ₁₀	Partículas menores de 10 micrómetros
PM _{2.5}	Partículas menores a 2.5 micrómetros
SEMARNAT	Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales
SENER	Secretaría de Energía
SO ₂	Dióxido de azufre
ZMVP	Zona Metropolitana del Valle de Puebla

8. REFERENCIAS

EPA (1995). AP-42, Compilation of Air Pollutant Emission Factors.

EPA (2013). WebFIRE (Disponible en: <https://cfpub.epa.gov/webfire/>)

EPA (2014). MOVES2014a (Motor Vehicle Emission Simulator) MODEL/ U.S. Environmental Protection Agency).

EPA (2022). SPECIATE Version 5.2 Database Development Documentation.

IPCC (2006). Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero.

SEMARNAT (2020). Fuentes de Área-Agropecuarias.

SEMARNAT (2020). Fuentes de área-Almacenamiento y transporte de derivados del petróleo.

SEMARNAT (2020). Fuentes de área-Fuentes Industriales Ligeras y Comerciales.

SEMARNAT (2020). Fuentes de área-Fuentes Misceláneas.

SEMARNAT (2020). Fuentes de Área-Manejo de residuos.

SEMARNAT (2020.) Fuentes de área-Quema de Combustibles.

SEMARNAT (2020). Fuentes de área-Uso de solventes.

SEMARNAT (2020). Manual para determinar las emisiones biogénicas utilizando "GLOBEIS".

SEMARNAT-INECC (2005). Guía de elaboración y usos de inventarios de emisiones.

SEMARNAT-INECC (2013v. Guía metodológica para la estimación de emisiones de fuentes fijas.

SEMARNAT-INECC/WGA, 2009. Guía metodológica para la estimación de emisiones vehiculares en ciudades mexicanas.

USAID-INECC, 2016. Guía del Usuario de MOVES-México. Programa para el Desarrollo de Emisiones Bajas en México (MLED). https://pdf.usaid.gov/pdf_docs/pa00mbg7.pdf.