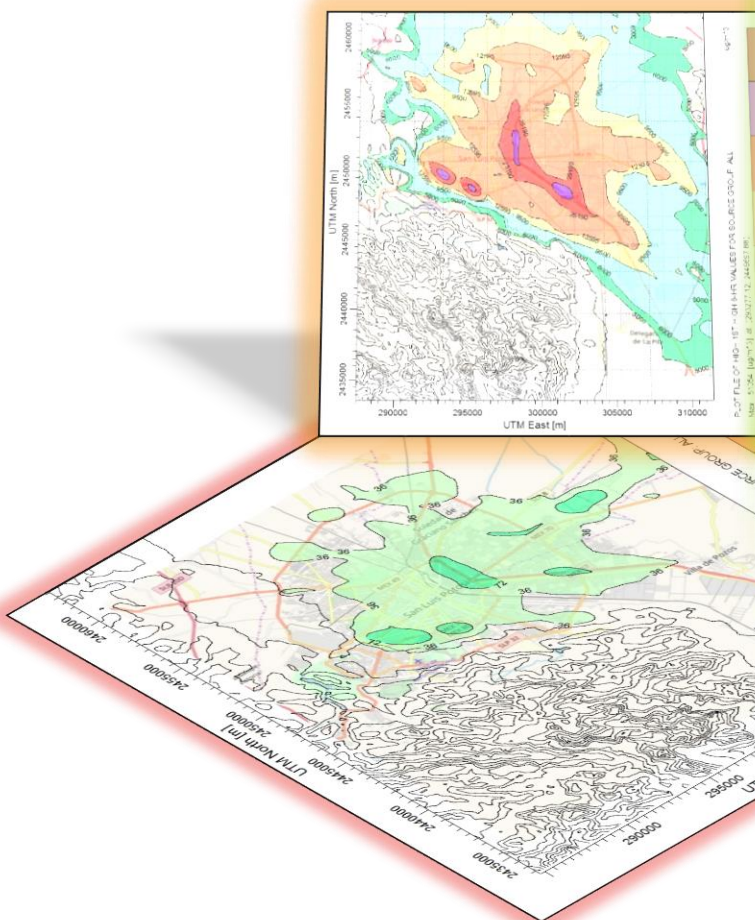


2018

ACTUALIZACIÓN DEL INVENTARIO DE EMISIONES Y MODELACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE EN LA CIUDAD DE SAN LUIS POTOSÍ



Informe Final

Desarrollado por: SARAN
Estudios y Proyectos
Ambientales S de R L de C V
Preparado para: Secretaría
de Ecología y Gestión
Ambiental

Contenido

ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS	3
INTRODUCCIÓN	5
2. METODOLOGÍA	6
2.1. FUENTES FIJAS	6
2.2. FUENTES DE ÁREA.....	7
2.3. FUENTES MOVILES	7
2.4. FUENTES NATURALES.....	10
3. RESULTADOS DEL INVENTARIO DE EMISIONES CONTAMINANTES.....	11
4. ANÁLISIS POR CONTAMINANTE.....	16
4.1. EMISIONES DE PARTÍCULAS PM10	16
4.2. EMISIONES DE PARTÍCULAS PM2.5.....	17
4.3. EMISIONES DE BIÓXIDOS DE AZUFRE.....	17
4.4. EMISIONES DE MONÓXIDO DE CARBONO	18
4.5. EMISIONES DE OXIDOS DE NITROGENO.....	19
4.6. EMISIONES DE COMPUESTOS ORGANICOS VOLATILES.....	20
4.7. EMISIONES DE CARBONO NEGRO.....	21
5. INVENTARIO DE EMISIONES POR MUNICIPIO	23
6. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LAS EMISIONES	28
6.1. EMISIONES TOTALES	30
6.2. METEOROLOGÍA	33
7. MODELACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE DE LA CIUDAD DE SAN LUIS POTOSÍ-SOLEDAD DE GRACIANO SÁNCHEZ	35
7.1 RESULTADOS DE LA MODELACIÓN	37
8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	43
BIBLIOGRAFIA.....	45

ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

AERMOD. Atmospheric dispersion modeling. Interfase de modelos de dispersión de aire

AGEP. Área geoestadística básica

AP42. Compilation of Air Pollutant Emission Factors/ Compendio de factores de emisión publicado por la EPA

CN. Carbono negro

CH₄. Metano

CO. Monóxido de Carbono

COV. Compuestos Orgánicos Volátiles

DATGEN2013. Base de Datos General de Fuentes Fijas del año 2013

EPA. Environmental Protection Agency/ Agencia de Protección al Ambiente de los Estados Unidos de América

GLOBEIS. Global Biosphere Emissions

INECC. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático

INEGI. Instituto Nacional de Geografía e informática

MLED. Programa para el Desarrollo Bajo en Emisiones de México

MOVES2014a: Latest Version of MOtor Vehicle Emission Simulator/ Última versión del simulador de emisión de vehículos automotores

MOVES-México. MOtor Vehicle Emission Simulator-Mexico/ Software (MOVES2014a) para simular la generación de emisiones de vehículos automotores de la EPA que incorpora una base de datos con información para México

NOM. Norma Oficial Mexicana

NO_x. Óxidos de Nitrógeno

PM₁₀. Partículas menores a 10 micrómetros

PM_{2.5}. Partículas menores a 2.5 micrómetros

SEGAM. Secretaría de Ecología y Gestión Ambiental

SEMARNAT. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales

SENER. Secretaría de Energía

SO₂. Dióxido de Azufre

SRV FII. Sistema de Recuperación de Vapores Fase II

U.S. o EE. UU. Estados Unidos de América

USAID. Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional

INTRODUCCIÓN

El crecimiento poblacional de algunas ciudades de México, ha traído como consecuencia: una ampliación de la mancha urbana, un crecimiento del número de vehículos en circulación, un mayor número de comercios, servicios, un aumento en el número de industrias y otras actividades; lo cual hace necesario crecer en el consumo energético. Todo esto repercute en un aumento en la generación de emisiones contaminantes que seguramente han propiciado que las concentraciones de contaminantes en el aire sean más tóxicas, por lo que, para fortalecer las bases de la toma de decisiones en materia de reducción de emisiones contaminantes, es fundamental el desarrollo y actualización periódica de los Inventarios de Emisiones Contaminantes.

En México a nivel nacional y para algunos estados, se han elaborado inventarios de emisiones contaminantes, donde se estima por cada tipo de fuente la cantidad de cada contaminante criterio que se genera; y para el caso específico del Estado de San Luis Potosí, se cuenta con las estimaciones de emisiones contaminantes por municipio, las que se reportan en los Inventarios Nacionales de Emisiones Contaminantes de los años 2005 y año 2008, que publica la SEMARNAT.

La finalidad de este proyecto, es el de actualizar el inventario de emisiones para modelar la dispersión de los contaminantes mediante la aplicación de un modelo matemático, para lo que fue necesario desarrollar y actualizar el inventario de emisiones contaminantes para los municipios de San Luis Potosí y Soledad de Graciano Sánchez.

Los resultados del desarrollo de este inventario, nos muestran para el año 2016, la generación de emisiones por tipo de fuente para cada contaminante; por lo que se pueden identificar las principales fuentes de emisión, las cuales se distribuirán en forma espaciada y temporal para modelar la dispersión de cada contaminante y comprobar si la ubicación de las estaciones de monitoreo con que cuenta la Secretaría de Ecología y Gestión Ambiental es la adecuada para evaluar la calidad del aire de la zona urbana.

Los resultados de este proyecto servirán de base para que las autoridades ambientales puedan evaluar los resultados del monitoreo ambiental que se están obteniendo actualmente y poder tomar decisiones pertinentes si es necesario una reubicación.

2. METODOLOGÍA

Para elaborar el presente inventario de emisiones contaminantes, se analizaron y utilizaron las mejores metodologías disponibles de acuerdo a las condiciones actuales de la información disponible para los municipios de San Luis Potosí y Soledad de Graciano Sánchez.

En general para estimar las emisiones contaminantes para el año 2016, se partió de la información y avances realizados y proporcionados por la SEMARNAT, después para completar el trabajo, se establecieron para algunas fuentes específicas, las técnicas metodológicas con base en el análisis de la información contenida en: los manuales y guías de estimación de emisiones contaminantes elaboradas para México, las publicaciones de varios de los inventarios de emisiones que se han elaborado en México, y las publicaciones sobre el tema que ha elaborado la Agencia de Protección al Ambiente de los Estados Unidos de América (EPA por sus siglas en inglés).

La base metodológica utilizada, es la descrita en los manuales del Programa de Inventario de Emisiones para México, mismos que a falta de información local o nacional, recomiendan el uso de factores de emisión y/o modelos matemáticos para realizar el cálculo.

Es importante hacer énfasis, en que, para seleccionar la metodología, se tomó en cuenta la factibilidad de su aplicación en función de la información necesaria y la disponible. Asimismo, también los resultados del proyecto nos muestran que, a falta de información o datos medidos en fuente, la estimación de emisiones se realizó mediante el uso de factores de emisión y modelos de emisión mexicanos o de la EPA. Entre las principales fuentes de información está el compendio de factores de emisión denominado "AP42", la Base de Datos del Speciate, el modelo MOVES-México que, aunque fue diseñado para utilizarse en Estados Unidos de América, a este modelo se le incorporó una base de datos con información de los municipios mexicanos, entre otra información local.

2.1. FUENTES FIJAS

La SEMARNAT nos proporcionó la información de la base de datos general federal 2016 y la base de datos general estatal 2013; la cual fue tomada como datos iniciales para actualizar el inventario de emisiones al año 2016, con la documentación de las cédulas de operación proporcionada por la Secretaría de

Ecología y Gestión Ambiental (SEGAM), por los informes de consumo energético de la SENER, entre otra información.

La información proporcionada está integrada por dos archivos denominados como DATGEN2016 Estatal y DATGEN2013 Federal y a la información proporcionada por la SEGAM Cédulas de operación Anual 2016. Cada uno de los archivos antes mencionados contienen información por industria de datos generales, los consumos de materias primas, consumos de combustibles y emisiones, entre otros.

Antes de utilizar los datos de la DATGEN2013 Estatal, fue necesario procesar la información de las fuentes fijas que proporcionó el gobierno del Estado de San Luis Potosí, para actualizar la base al año 2016. Para esto se realizó la estimación de las emisiones por combustión y de procesos de las fuentes fijas con los datos registrados en la base de datos que proporcionó el gobierno del estado, de donde se tomaron los datos de consumo de combustible y los datos de actividad y operación de las actividades industriales, aplicándoles los factores de emisión publicados por la U.S. EPA en el AP42; previo a la estimación de las emisiones se aplicó control de calidad verificando los consumos energéticos registrados con los consumos estatales publicados por la Secretaría de Energía.

2.2. FUENTES DE ÁREA

Para el caso de las fuentes de área, el primer paso fue revisar y analizar la información que nos proporcionó la SEMARNAT y comparar con los datos de actividad registrados en los Anuarios estadísticos publicados por el Instituto Nacional de Geografía e informática (INEGI) para los años 2016 y 2017, además se tomó con mayor énfasis las actividades a desarrollar para mejorar las estimaciones de emisiones que nos proporcionaron, resaltando las mejoras metodológicas en las categorías de: pinturas para señalización vial, combustión doméstica y manejo y distribución de combustibles.

2.3. FUENTES MOVILES

La estimación de las emisiones generadas por los vehículos automotores, se realizó con base al uso del modelo MOVES2014a de EPA de Estados Unidos adaptado para México (MOVES-México) y desarrollado por la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional, USAID, a través del Programa

para el Desarrollo Bajo en Emisiones de México, MLED, en colaboración con el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC).

Con el uso del modelo MOVES-México, se obtuvieron emisiones para cada contaminante por tipo de vehículo, año modelo y combustible, que fueron ajustadas con los resultados del análisis de la flota vehicular proporcionada por el gobierno del Estado.

Como parte importante del inventario de emisiones, está la estimación del parque vehicular registrado en los municipios de San Luis Potosí y de Soledad de Graciana Sánchez, ver Cuadro 3.1.

La base municipal de la flota vehicular proporcionada por la SEGAM, se procesó y se agrupó por tipo de vehículo, combustible utilizado, tipo de servicio y año modelo desagregado por municipio; para esto, primero se consideró que los vehículos de años modelo 1983 y anteriores tienen muy poco uso, por lo que no fueron considerados para el cálculo de las emisiones, se realizó un ajuste a los vehículos de mayor edad por considerar que algunos ya no están en circulación y esto se realizó con base en los resultados reportados en las Estadísticas de vehículos de motor registrados en circulación INEGI y Encuesta sobre el consumo de combustible en el sector autotransporte de carga y pasajero por modalidad, SENER/AIE, 2010.

Cuadro 3.1. Número de vehículos registrados en San Luis Potosí y Soledad de Graciano Sánchez por tipo y año/modelo

Tipo de Vehículo	Autos de Pasajeros/Taxis	Camionetas públicas de Pasajeros	Autobuses	Camiones de carga ligera	Camiones de carga media	Camiones de carga pesada (Tractocamión)	Motocicletas	Total
Año/modelo								
1986	1,238	370	3	1,514	98	45	52	3,320
1987	1,222	396	2	1,468	67	44	46	3,245
1988	1,457	476	1	2,018	118	76	36	4,182
1989	2,373	521	1	2,270	158	75	51	5,449
1990	3,031	601	1	2,089	213	87	46	6,068
1991	3,553	1,420	4	2,559	332	97	58	8,023
1992	4,414	1,803	11	2,474	321	201	106	9,330
1993	4,359	2,770	2	2,644	342	165	117	10,399
1994	5,033	2,286	5	3,213	285	122	100	11,044
1995	4,255	2,995	4	2,368	189	83	62	9,956
1996	3,219	3,758	0	1,852	157	41	80	9,107
1997	3,878	2,597	4	2,683	311	77	81	9,631
1998	5,621	2,632	6	2,345	402	85	114	11,205
1999	4,659	1,737	5	1,821	424	104	165	8,915
2000	6,681	2,007	22	1,982	535	114	232	11,573

Tipo de Vehículo	Autos de Pasajeros/Taxis	Camionetas públicas de Pasajeros	Autobuses	Camiones de carga ligera	Camiones de carga media	Camiones de carga pesada (Tractocamión)	Motocicletas	Total
Año/modelo								
2001	8,594	2,029	15	1,916	662	166	279	13,661
2002	9,250	1,940	9	1,769	680	115	453	14,216
2003	8,743	1,880	8	1,595	496	145	506	13,373
2004	9,856	1,860	12	1,834	632	155	564	14,913
2005	11,042	2,775	18	1,942	583	202	794	17,356
2006	9,402	2,333	65	2,364	681	216	1,521	16,582
2007	9,557	2,601	68	2,626	746	228	1,531	17,357
2008	8,846	2,074	99	2,279	967	263	2,176	16,704
2009	6,355	1,597	76	1,751	935	213	1,468	12,395
2010	6,415	1,530	11	1,390	500	67	2,674	12,587
2011	7,318	1,733	53	1,585	781	96	3,969	15,535
2012	9,651	1,610	18	1,660	707	177	5,585	19,408
2013	9,892	1,765	21	1,429	642	220	6,748	20,717
2014	10,303	1,749	27	1,757	845	172	7,121	21,974
2015	13,659	1,965	9	1,624	937	126	7,642	25,962
2016	15,816	2,792	14	2,099	1,141	27	6,910	28,799
Total	209,692	58,602	594	62,920	15,887	4,004	51,287	402,986

Como se puede observar en el Cuadro 3.1, el parque vehicular registrado en la zona de estudio es de casi 403 mil vehículos, el cual en general tienen en promedio 12 años de antigüedad. De manera individual los camiones de carga ligera (62,920), tienen en promedio casi 17 años de antigüedad, las camionetas públicas de pasajeros casi 15 años y los autos de pasajeros/taxis cerca de 12 años de antigüedad.

Otras fuentes de importancia estimadas, son las industrias, que para este inventario se analizaron 97 fuentes, entre las más importante por sus emisiones de partículas, están las fundidoras dentro del sector metalúrgico. También dentro de las fuentes de área se inventariaron alrededor de 300 ladrilleras.

En este inventario, se incluye la estimación de emisiones de: partículas PM10, partículas PM2.5, Dióxido de Azufre (SO₂), Monóxido de Carbono (CO), Óxidos de Nitrógeno (NO_x), Compuestos Orgánicos Volátiles (COV), Carbono negro (CN) y Metano (CH₄). Este inventario, es la herramienta indicativa básica para seleccionar y diseñar las políticas públicas más adecuadas que permitirán incidir en las fuentes que verdaderamente generan las mayores emisiones contaminantes y con ello optimizar los recursos económicos para su prevención y control.

En los cuadros 3.2 y 3.3, se presentan los resultados concentrados del Inventario de emisiones contaminante por tipo de fuente de los municipios de San Luis Potosí-Soledad de Graciano Sánchez 2016.

2.4. FUENTES NATURALES

Las fuentes naturales se tomaron del inventario nacional de emisiones, las cuales fueron estimadas mediante la toma de datos de la cobertura vegetal municipal por cada una de las principales especies existentes y con la aplicación del modelo GLOBEIS modificado para México para la estimación de las emisiones en cada uno de los municipios del proyecto.

Es importante mencionar que para la mayor parte de las fuentes, se consideró la estimación de emisiones de carbono negro partiendo de las emisiones de las partículas PM_{2.5} y aplicándoles una fracción porcentual dependiendo de la fuente o categoría donde se estaba generando el contaminante.

3. RESULTADOS DEL INVENTARIO DE EMISIONES CONTAMINANTES

En este capítulo se presenta el inventario de emisiones contaminantes de los municipios de San Luis Potosí y Soledad de Graciano Sánchez del año 2016, y el cual servirá de base para modelar la calidad del aire de esta zona.

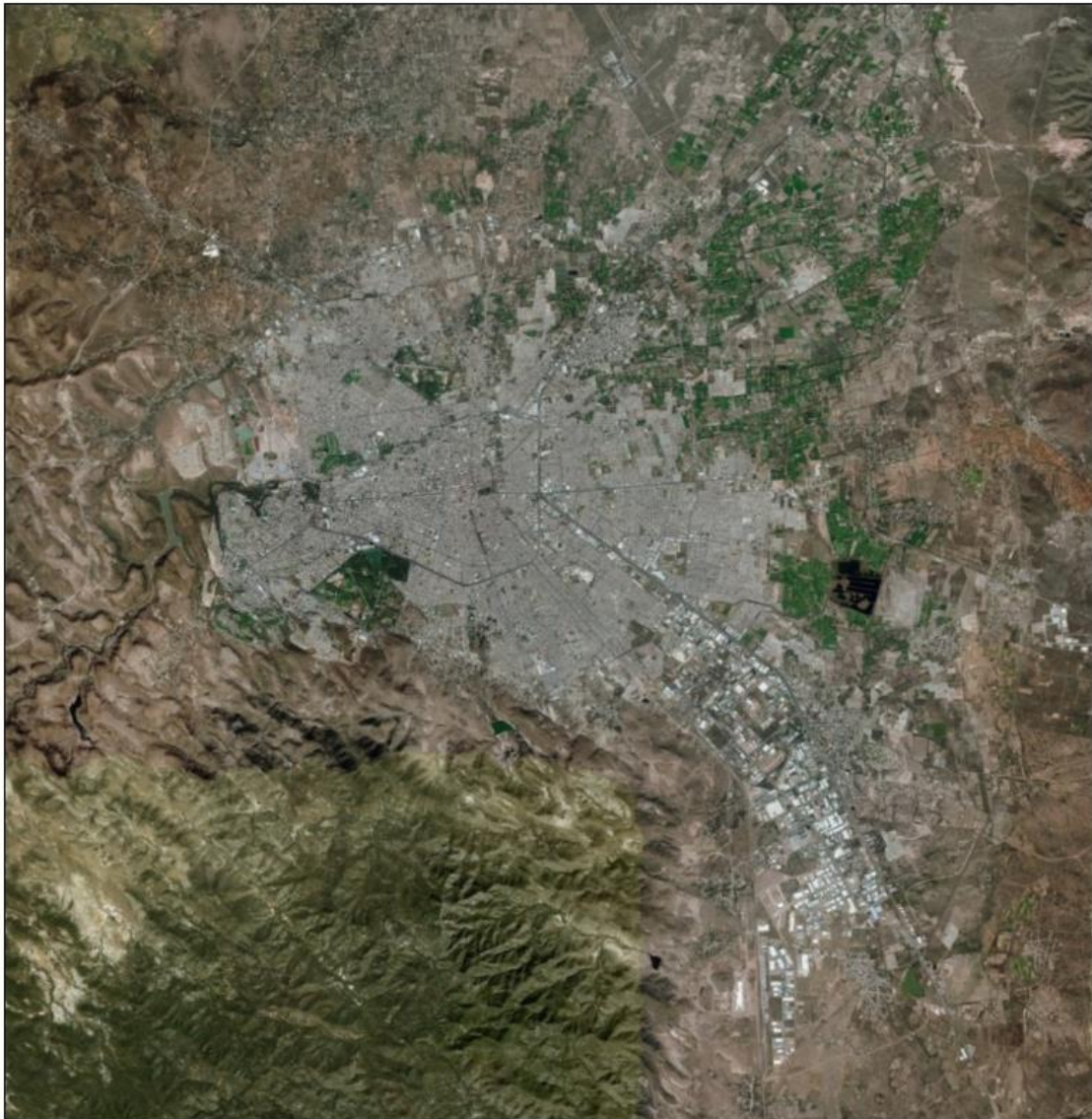


Figura 3.1 Área de Estudio del Inventario de Emisiones de San Luis Potosí y Soledad de Graciano Sánchez

Cuadro 3.2. Inventario de Emisiones de Contaminantes Criterio de los municipios de San Luis Potosí-Soledad de Graciano Sánchez 2016

Tipo de fuente	Emisiones (t/año)							
	PM10	PM2.5	SO ₂	CO	NO _x	COV	CN	CH ₄
Fuentes puntuales	1,359	914	738	12,426	2,526	1,135	4	27
Fuentes de área	2,440	1,508	137	1,233	704	13,201	33	52,648
Fuentes Móviles	1,339	1,227	553	103,928	18,274	11,455	175	386
Vegetación y suelos	N/A	N/A	N/A	N/A	1,655	3,210	N/A	N/A
Total	5,139	3,649	1,427	117,587	23,159	29,001	213	53,061

Fuente: Elaboración propia N/A no aplica

**Cuadro 3.3. Inventario de Emisiones Porcentual de Contaminantes
Criterio de los municipios de San Luis Potosí-Soledad de Graciano
Sánchez 2016**

Tipo de fuente	Emisiones porcentuales							
	PM10	PM2.5	SO ₂	CO	NO _x	COV	CN	CH ₄
Fuentes puntuales	26%	25%	52%	11%	11%	4%	2%	0%
Fuentes de área	47%	41%	10%	1%	3%	46%	16%	99%
Fuentes Móviles	26%	34%	39%	88%	79%	39%	82%	1%
Vegetación y suelos	N/A	N/A	N/A	N/A	7%	11%	N/A	N/A
Total	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Fuente: Elaboración propia N/S no significativo

En los Cuadros 3.2 y 3.3, podemos apreciar que las fuentes puntuales son las que generan la mayor cantidad de emisiones de SO₂; las fuentes de área, emiten la mayor cantidad de partículas PM10, partículas PM2.5 y COV; y las fuentes móviles generan la mayor cantidad de CO, NO_x y CN y son los segundos generadores de COV.

En el Cuadro 3.4, se presenta el inventario de emisiones desagregado por categorías en toneladas al año y porcentualmente.

**Cuadro 3.4. Inventario Desagregado de Emisiones de Contaminantes
Criterio por categoría de los municipios de San Luis Potosí-Soledad de
Graciano Sánchez, 2016**

Tipo de fuente	Emisiones [ton/año]							
	PM10	PM2.5	SO ₂	CO	NO _x	COV	CN	CH ₄
Fuentes puntuales	1,359.3	913.8	737.5	12,425.9	2,525.7	1,134.7	4.3	26.7
Fabricación de Accesorios, aparatos eléctricos y equipos de generación eléctrica	18.0	17.9	16.3	53.5	246.8	39.9	0.0	0.2
Industria de Alimentos y bebidas	3.9	3.4	38.0	24.7	58.0	25.5	1.0	0.9
Industria Automotriz	2.8	2.8	0.2	31.4	71.0	2.1	0.1	1.0
Industria de Celulosa y papel	0.6	0.6	0.0	6.4	14.4	0.4	0.0	0.2
Fabricación de Cemento, cal, yeso y otros productos minerales no metálicos	48.5	33.0	486.7	17.0	63.7	1.4	0.0	0.7
Industria de Derivados del petróleo y carbón	0.0	0.0	0.4	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0
Extracción/Beneficio minerales no metálicos	1.6	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Impresión	0.1	0.1	1.8	0.1	0.2	0.0	0.0	0.0
Industria textil	0.2	0.1	1.5	1.1	5.2	0.0	0.0	0.0
Manejo de desechos y	0.1	0.1	0.1	1.4	3.2	0.1	0.0	0.1

Tipo de fuente	Emisiones [ton/año]							
	PM10	PM2.5	SO ₂	CO	NO _x	COV	CN	CH ₄
remediación								
Industria Metálica	0.7	0.7	0.1	6.8	15.4	0.7	0.0	0.2
Industria Metalúrgica (incluye la siderúrgica)	1,245.1	822.7	184.3	12,050.4	1,519.2	280.6	2.2	15.3
Mezclas químicas	0.1	0.1	0.0	1.6	3.7	0.1	0.0	0.1
Minerales no metálicos	7.8	5.1	0.4	0.3	1.5	5.5	0.0	0.0
Otras industrias	0.0	0.0	0.3	0.2	0.9	0.0	0.0	0.0
Industria Petróleo y petroquímica	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	29.7	0.0	0.0
Industria de Plástico y hule	0.0	0.0	0.0	0.4	0.8	0.0	0.0	0.0
Industria Química	6.9	4.8	5.7	24.5	55.7	319.7	0.1	0.9
Industria del Vidrio	22.8	21.4	1.6	206.1	465.9	429.0	0.8	7.1
Fuentes de área	2,440.4	1,508.2	137.2	1,232.7	704.3	13,201.2	33.1	52,648.3
Combustión Agrícola	25.2	25.2	23.5	77.2	358.9	0.1	3.8	0.7
Combustión Comercial	2.8	2.8	0.3	30.0	43.8	1.6	0.2	0.8
Combustión Doméstica	14.6	14.4	1.9	139.4	142.5	17.5	3.2	6.5
Combustión industrial	3.9	1.0	0.2	19.8	77.4	0.8	0.1	0.2
Artes Gráficas	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1,125.0	N/A	N/A
Asfaltado	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	10.2	N/A	N/A
Lavado en Seco	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	221.6	N/A	N/A
Limpieza de Superficies Industriales	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	2,428.8	N/A	N/A
Pintado Automotriz	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	259.6	N/A	N/A
Pintura para Señalización vial	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	7.61	N/A	N/A
Recubrimiento de Superficies en la Industria	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	446.6	N/A	N/A
Recubrimiento de Superficies Arquitectónicas	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	472.0	N/A	N/A
Uso Doméstico de Solventes	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	3,603.1	N/A	N/A
Manejo y distribución de GLP	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	3,239.9	N/A	N/A
Manejo y distribución de combustibles	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	928.5	N/A	N/A
Actividades de Construcción	585.9	58.6	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Asados al carbón	91.0	72.6	0.0	181.1	3.3	11.7	10.2	0.0
Panificación	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	144.6	N/A	N/A
Aplicación de Fertilizantes	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Aplicación de Plaguicidas	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	3.3	N/A	N/A
Emisiones Ganaderas	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1,043.5
Corrales de engorda	4.3	0.5	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Labranza	89.9	19.9	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Aguas Residuales	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	120.0	N/A	7,667.2
Relleno Sanitario	0.0	0.0	0.0	1.6	0.0	84.9	0.0	3,276.0
Quema de residuos a cielo abierto	0.3	0.3	0.0	0.6	0.0	0.2	0.0	0.0
Incendios en construcciones	0.2	0.2	0.0	3.1	0.1	0.2	0.0	0.0

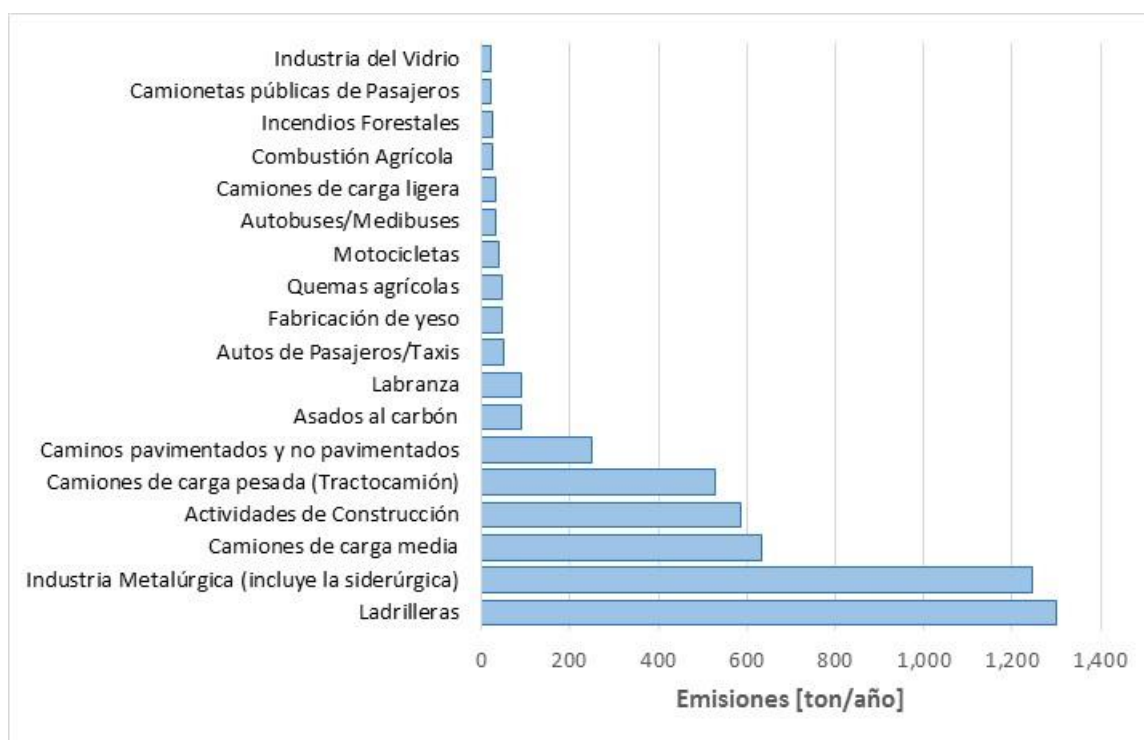
Tipo de fuente	Emisiones [ton/año]							
	PM10	PM2.5	SO ₂	CO	NO _x	COV	CN	CH ₄
Esterilización de material hospitalario	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0.6	N/A	N/A
Incendios Forestales	25.2	21.3	2.3	238.7	7.4	17.4	1.5	1.5
Quemas agrícolas	45.0	43.1	1.4	284.4	11.4	26.5	5.2	14.8
Caminos pavimentados y no pavimentados	250.8	60.7	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Ladrilleras	1,301.5	1,187.7	107.6	256.9	59.4	28.9	8.9	40,636.8
Fuentes Móviles	1,339.1	1,226.8	552.5	103,928.4	18,274.4	11,454.7	175.1	386.4
Autos de Pasajeros/Taxis	48.6	43.0	142.2	32,898.7	6,058.4	4,184.1	10.0	65.3
Camionetas públicas de Pasajeros	23.3	20.6	52.1	13,677.3	2,518.2	1,637.8	4.9	36.4
Autobuses/Medibuses	34.1	31.4	6.5	448.5	196.0	37.8	5.4	4.6
Camiones de carga ligera	34.0	30.1	52.9	17,358.1	2,719.0	1,936.3	7.5	47.0
Camiones de carga media	631.8	581.1	100.7	5,954.9	2,551.5	530.0	44.9	94.9
Camiones de carga pesada (Tractocamión)	527.0	484.8	99.7	878.4	2,885.4	146.0	97.5	60.5
Motocicletas	40.4	35.7	98.5	32,712.4	1,346.0	2,982.7	4.9	77.6
Vegetación y suelos	N/A	N/A	N/A	N/A	1,655.0	3,210.0	N/A	N/A
Total	5,138.8	3,648.8	1,427.2	117,587.0	23,159.4	29,000.7	212.5	53,061.4

4. ANÁLISIS POR CONTAMINANTE

En este capítulo se analizan las emisiones antropogénicas de los principales contaminantes que impactan la calidad del aire.

4.1. EMISIONES DE PARTÍCULAS PM10

A continuación, se analizarán las emisiones para cada uno de los contaminantes presentados en Tabla 3.4

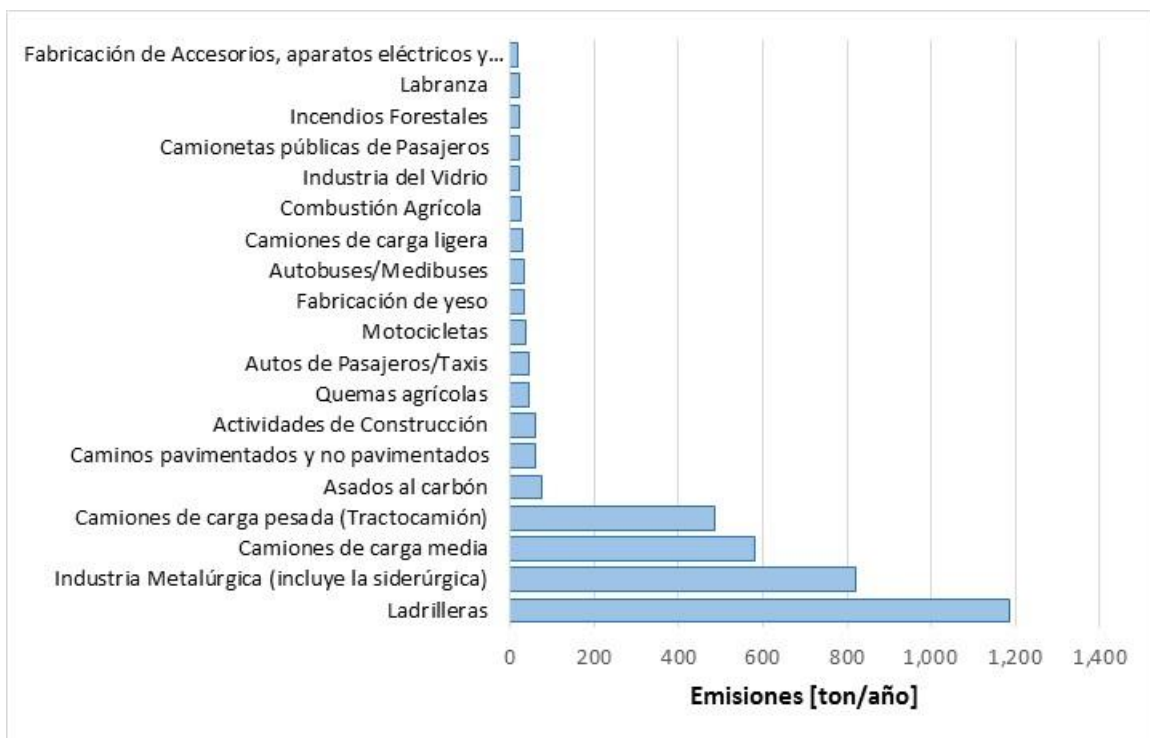


Gráfica 4.1 Principales emisiones de PM10

En la Gráfica 4.1, podemos observar que los mayores generadores de partículas PM10, son: las ladrilleras y la industria metalúrgica; le siguen en orden de importancia, los camiones de carga mediana, las actividades de construcción y los camiones de carga pesada; posteriormente le siguen los caminos pavimentados y no pavimentados; y con menor aportación están, el uso de carbón en puestos de asados de carne, la labranza agrícola, los taxis, entre otros de menor importancia.

4.2. EMISIONES DE PARTÍCULAS PM2.5

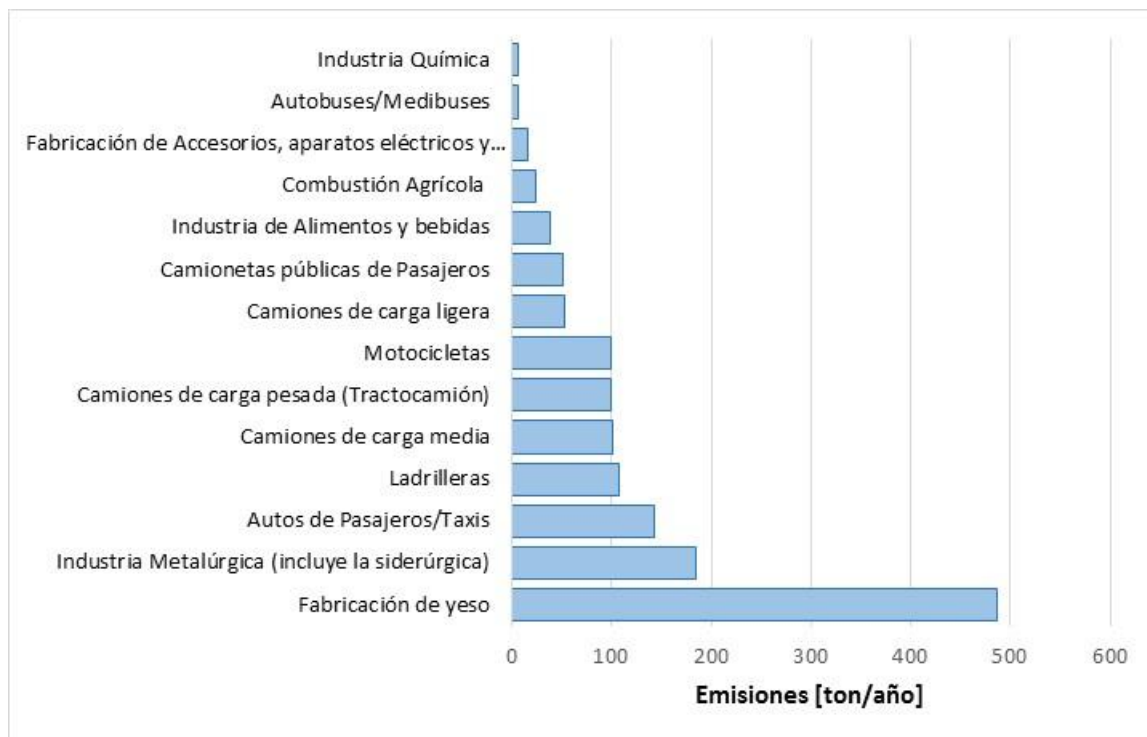
Por lo que se refiere a la generación de partículas PM2.5, la principal categoría son las ladrilleras, seguida por la industria metalúrgica, los camiones de carga mediana y pesada, estos últimos es debido a que son vehículos que consumen como combustible diésel; es importante también considerar por su nivel de toxicidad, las emisiones resultantes de las taquerías y puestos ambulantes de comida que utilizan carbón como combustible.



Gráfica 4.2 Principales emisiones de PM2.5

4.3. EMISIONES DE BIÓXIDOS DE AZUFRE

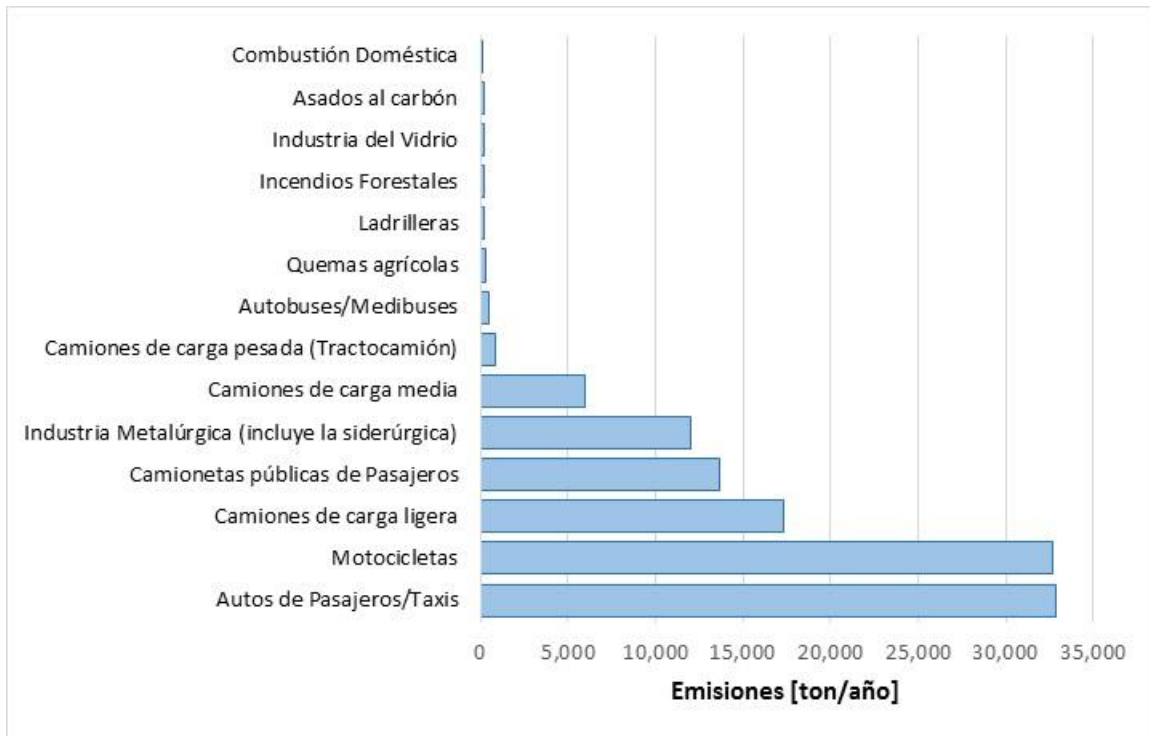
Por lo que se refiere a la generación de SO₂, la principal categoría emisoras es la fabricación yeso; y le sigue la industria metalúrgica, los vehículos ligeros y los taxis, las ladrilleras y los camiones de carga media y pesada, entre otras.



. Gráfica 4.3 Principales emisiones de SO₂

4.4. EMISIONES DE MONÓXIDO DE CARBONO

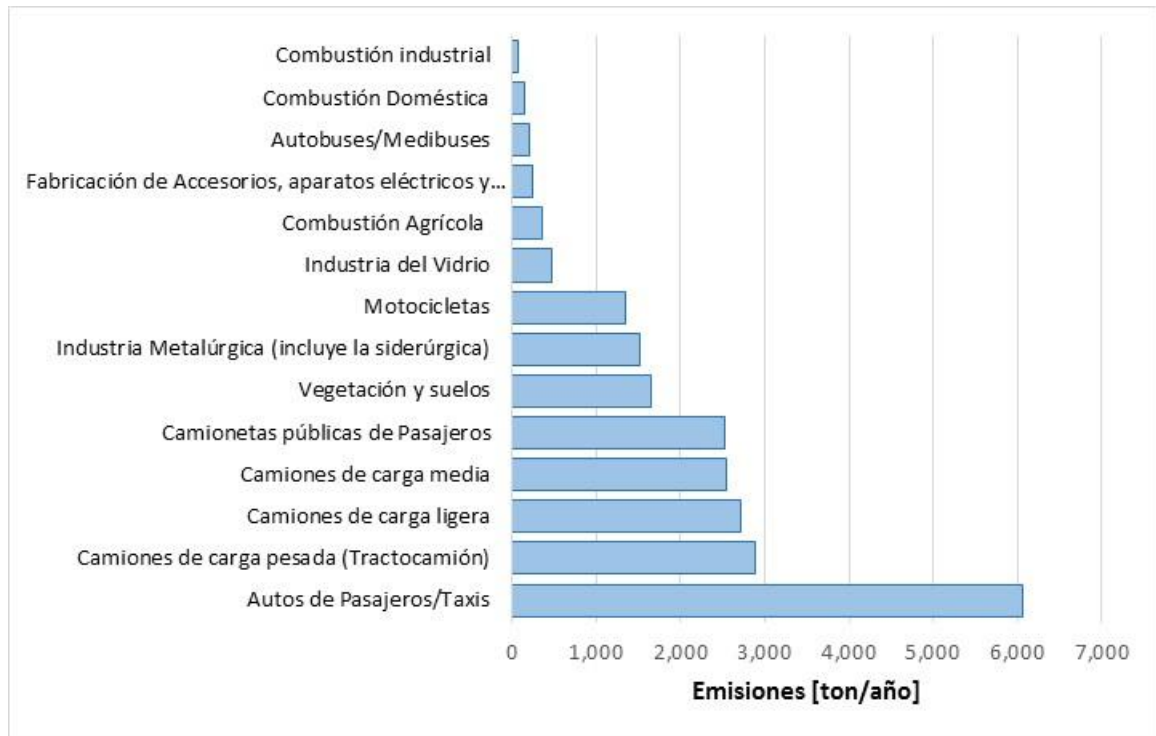
Por lo que se refiere al monóxido de Carbono, como se puede observar en la gráfica el principal emisor son los autos particulares y los taxis junto con las motocicletas y en general los vehículos ligeros que utilizan gasolina como combustible; otra fuente importante de emisiones de este contaminante es la industria metalúrgica que se genera principalmente en el proceso de fundición de chatarra.



Gráfica 4.4 Principales emisiones de CO

4.5. EMISIONES DE OXIDOS DE NITROGENO

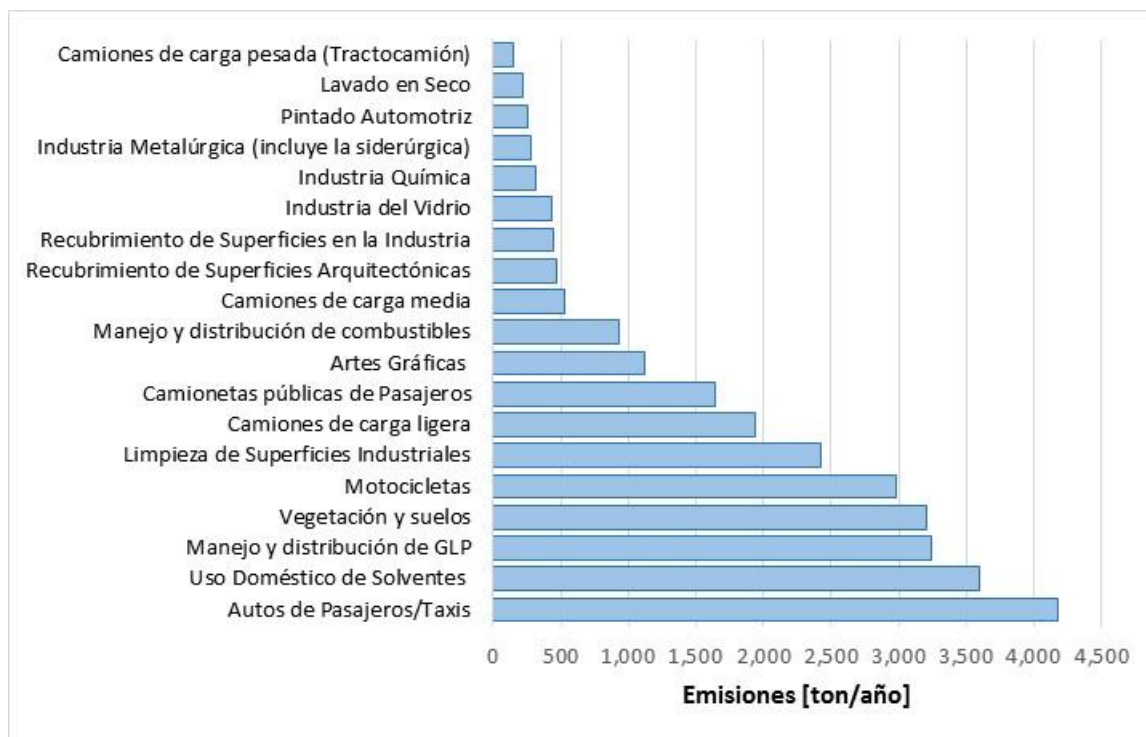
Las emisiones de Óxidos de Nitrógeno son generadas mayoritariamente por las categorías del sector de fuentes móviles, como son los autos de pasajeros y taxis, los camiones de carga; la vegetación y el suelo también es una fuente importante de generación de este contaminante debido a la actividad microbiana de los suelos, del sector industrial se pueden resaltar a la industria metalúrgica.



Gráfica 4.5 Principales emisiones de NOX

4.6. EMISIONES DE COMPUESTOS ORGANICOS VOLATILES

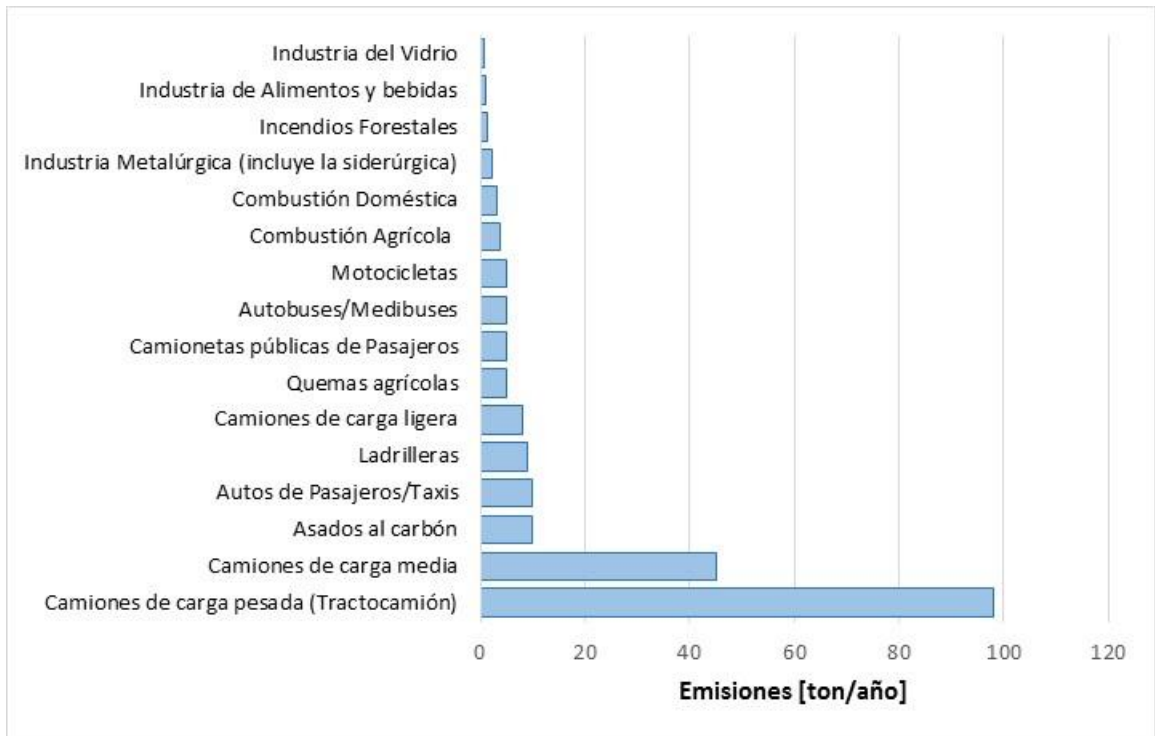
Los compuestos orgánicos volátiles son contaminantes que junto con los NO_x y en presencia de radiación solar se transforman en el contaminante secundario ozono. Los COV se genera principalmente por el manejo y la combustión de la gasolina en las fuentes móviles carreteras o por el uso de solventes o productos que lo contienen ya sea para uso doméstico o industrial; en este inventario se observa que las mayores fuentes generadoras son: los autos de pasajeros y los taxis, el uso doméstico de solventes, la vegetación y suelo, el manejo y distribución de gas LP, las motocicletas, en la limpieza de superficies industriales, camiones de carga ligera, camionetas públicas de pasajeros, artes gráficas, manejo y distribución de combustibles, entre otros.



Gráfica 4.6 Principales emisiones de COV

4.7. EMISIONES DE CARBONO NEGRO

Como una fracción de las emisiones de las partículas, se cuantificó la generación de carbono negro por la importancia que tiene este contaminante en el calentamiento global y en la salud, y se identificó que los mayores emisores de este contaminante son generadas por: los camiones de carga pesada y mediana, en menor cantidad le siguen los asados al carbón, entre otros.



Gráfica 4.7 Principales emisiones de CN

5. INVENTARIO DE EMISIONES POR MUNICIPIO

En los cuadros 5.1 y 5.2, se presentan los resultados concentrados del Inventario de emisiones contaminante por tipo de contaminante y por municipio.

En los cuadros 5.3 y 5.4, se presentan por separado para cada municipio el inventario de emisiones desagregado por categorías en toneladas al año y porcentualmente.

Cuadro 5.1. Inventario de emisiones de contaminantes criterio por municipio, 2016

Municipio	Emisiones [ton/año]							
	PM10	PM2.5	SO ₂	CO	NO _x	COV	CN	CH ₄
San Luis Potosí	4,338	3,011	814	99,224	19,839	23,592	178	38,092
Soledad de Graciano Sánchez	801	638	613	18,363	3,321	5,409	34	14,969
Total	5,139	3,649	1,427	117,587	23,159	29,001	213	53,061

Cuadro 5.2. Inventario de emisiones porcentual de contaminantes criterio por municipio 2016

Municipio	Emisiones [porcentual]							
	PM10	PM2.5	SO ₂	CO	NO _x	COV	CN	CH ₄
San Luis Potosí	84%	83%	57%	84%	86%	81%	84%	72%
Soledad de Graciano Sánchez	16%	17%	43%	16%	14%	19%	16%	28%
Total	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Como se puede apreciar en el Cuadro 5.1, es en el municipio de San Luis Potosí en donde se genera la mayor cantidad de contaminantes.

**Cuadro 5.3. Inventario Desagregado de Emisiones de Contaminantes
Criterio por categoría del municipio de San Luis Potosí, 2016**

Tipo de fuente	Emisiones [ton/año]							
	PM10	PM2.5	SO ₂	CO	NO _x	COV	CN	CH ₄
Fuentes puntuales	1,327.8	892.3	245.2	12,420.7	2,488.0	1,134.1	4.2	26.1
Fabricación de Accesorios, aparatos eléctricos y equipos de generación eléctrica	18.0	17.9	16.3	53.5	246.8	39.9	0.0	0.2
Industria de Alimentos y bebidas	3.7	3.3	32.7	24.6	57.6	25.5	0.9	0.8
Industria Automotriz	2.7	2.7	0.2	30.2	68.2	2.0	0.1	1.0
Industria de Celulosa y papel	0.6	0.6	0.0	6.4	14.4	0.4	0.0	0.2
Fabricación de Cemento, cal, yeso y otros productos minerales no metálicos	17.9	12.1	0.1	13.5	30.6	0.9	0.0	0.2
Industria de Derivados del petróleo y carbón	0.0	0.0	0.4	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0
Extracción/Beneficio minerales no metálicos	1.1	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Impresión	0.1	0.1	1.8	0.1	0.2	0.0	0.0	0.0
Industria textil	0.2	0.1	1.5	1.1	5.2	0.0	0.0	0.0
Manejo de desechos y remediación	0.1	0.1	0.1	1.4	3.2	0.1	0.0	0.1
Industria Metálica	0.7	0.7	0.1	6.8	15.4	0.7	0.0	0.2
Industria Metalúrgica (incluye la siderúrgica)	1,245.1	822.7	184.3	12,050.4	1,519.2	280.6	2.2	15.3
Mezclas químicas	0.1	0.1	0.0	1.6	3.7	0.1	0.0	0.1
Minerales no metálicos	7.7	5.1	0.0	0.1	0.2	5.5	0.0	0.0
Otras industrias	0.0	0.0	0.3	0.2	0.9	0.0	0.0	0.0
Industria Petróleo y petroquímica	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	29.7	0.0	0.0
Industria de Plástico y hule	0.0	0.0	0.0	0.4	0.8	0.0	0.0	0.0
Industria Química	6.9	4.8	5.7	24.5	55.7	319.7	0.1	0.9
Industria del Vidrio	22.8	21.4	1.6	206.1	465.9	429.0	0.8	7.1
Fuentes de área	1,836.8	1,043.0	95.8	902.4	535.9	10,476.2	23.5	37,738.5
Combustión Agrícola	20.8	20.8	19.4	63.7	296.1	0.1	3.1	0.6
Combustión Comercial	1.4	1.4	0.1	15.5	18.4	1.0	0.1	0.4
Combustión Doméstica	9.5	9.4	1.4	88.0	103.5	9.7	2.2	3.7
Combustión industrial	3.1	0.8	0.2	15.7	61.6	0.6	0.1	0.2
Artes Gráficas	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1,009.0	N/A	N/A
Asfaltado	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	7.1	N/A	N/A
Lavado en Seco	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	183.2	N/A	N/A
Limpieza de Superficies Industriales	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	2,293.5	N/A	N/A
Pintado Automotriz	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	193.4	N/A	N/A
Pintura para Señalización vial	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	5.3	N/A	N/A
Recubrimiento de Superficies en la Industria	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	369.1	N/A	N/A

Tipo de fuente	Emisiones [ton/año]							
	PM10	PM2.5	SO ₂	CO	NO _x	COV	CN	CH ₄
Recubrimiento de Superficies Arquitectónicas	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	344.2	N/A	N/A
Uso Doméstico de Solventes	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	2,637.8	N/A	N/A
Manejo y distribución de GLP	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	2,371.1	N/A	N/A
Manejo y distribución de combustibles	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	692.4	N/A	N/A
Actividades de Construcción	543.4	54.3	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Asados al carbón	66.6	53.2	N/E	132.6	2.4	8.6	7.4	N/E
Panificación	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	109.7	N/A	N/A
Aplicación de Fertilizantes	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Aplicación de Plaguicidas	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	2.4	N/A	N/A
Emisiones Ganaderas	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	470.0
Corrales de engorda	2.7	0.3	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Labranza	55.2	12.2	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Aguas Residuales	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	120.0	N/A	7,667.2
Relleno Sanitario	N/A	N/A	N/A	1.2	N/A	64.6	N/A	2,495.2
Quema de residuos a cielo abierto	0.3	0.2	0.0	0.6	0.0	0.2	0.0	N/E
Incendios en construcciones	0.1	0.1	0.0	2.2	0.1	0.1	0.0	N/E
Esterilización de material hospitalario	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0.4	N/A	N/A
Incendios Forestales	24.0	20.4	2.2	238.7	7.1	16.7	1.5	1.1
Quemas agrícolas	27.3	26.1	0.8	173.0	7.1	16.6	3.1	8.9
Caminos pavimentados y no pavimentados	214.7	51.9	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Ladrilleras	867.7	791.8	71.7	171.2	39.6	19.3	5.9	27,091.2
Fuentes Móviles	1,173.3	1,075.3	473.1	85,901.1	15,404.6	9,463.4	150.5	327.7
Autos de Pasajeros/Taxis	39.9	35.3	122.4	27,489.9	5,071.1	3,496.1	8.2	54.7
Camionetas públicas de Pasajeros	19.1	16.9	44.5	11,206.5	2,071.4	1,333.1	4.0	29.9
Autobuses/Medibuses	30.8	28.3	5.8	399.3	173.5	33.4	4.8	4.2
Camiones de carga ligera	27.7	24.6	45.1	14,320.7	2,263.0	1,590.9	6.1	39.0
Camiones de carga media	573.8	527.8	90.9	5,312.8	2,287.6	472.6	40.3	86.1
Camiones de carga pesada (Tractocamión)	449.6	413.6	85.0	744.8	2,453.4	124.0	83.2	51.2
Motocicletas	32.4	28.7	79.4	26,427.1	1,084.7	2,413.4	3.9	62.7
Vegetación y suelos	N/A	N/A	N/A	N/A	1,410.20	2,518.36	N/A	N/A
Total	4,337.9	3,010.6	814.1	99,224.3	19,838.8	23,592.1	178.2	38,092.3

**Cuadro 5.4. Inventario Desagregado de Emisiones de Contaminantes
Criterio por categoría del municipio de Soledad de Graciano Sánchez,
2016**

Tipo de fuente	Emisiones [ton/año]							
	PM10	PM2.5	SO ₂	CO	NO _x	COV	CN	CH ₄
Fuentes puntuales	31.5	21.5	492.3	5.1	37.6	0.6	0.1	0.6
Fabricación de Accesorios, aparatos eléctricos y equipos de generación eléctrica	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Industria de Alimentos y bebidas	0.2	0.2	5.3	0.1	0.4	0.0	0.1	0.1
Industria Automotriz	0.1	0.1	0.0	1.2	2.8	0.1	0.0	0.0
Industria de Celulosa y papel	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Fabricación de Cemento, cal, yeso y otros productos minerales no metálicos	30.6	20.9	486.6	3.5	33.1	0.5	0.0	0.5
Industria de Derivados del petróleo y carbón	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Extracción/Beneficio minerales no metálicos	0.5	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Impresión	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Industria textil	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Manejo de desechos y remediación	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Industria Metálica	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Industria Metalúrgica (incluye la siderúrgica)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Mezclas químicas	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Minerales no metálicos	0.1	0.0	0.4	0.3	1.3	0.0	0.0	0.0
Otras industrias	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Industria Petróleo y petroquímica	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Industria de Plástico y hule	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Industria Química	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Industria del Vidrio	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Fuentes de área	603.6	465.1	41.4	341.3	168.4	2,725.0	9.6	14,909.8
Combustión Agrícola	4.4	4.4	4.1	13.5	62.8	0.0	0.7	0.1
Combustión Comercial	1.4	1.4	0.2	14.5	25.4	0.6	0.1	0.4
Combustión Doméstica	5.1	5.0	0.6	51.5	39.0	7.8	1.0	2.8
Combustión industrial	0.8	0.2	0.0	4.0	15.8	0.2	0.0	0.0
Artes Gráficas	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	116.0	N/A	N/A
Asfaltado	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	3.0	N/A	N/A
Lavado en Seco	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	38.4	N/A	N/A
Limpieza de Superficies Industriales	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	135.2	N/A	N/A
Pintado Automotriz	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	66.3	N/A	N/A
Pintura para Señalización vial	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	2.3	N/A	N/A
Recubrimiento de Superficies en la	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	77.5	N/A	N/A

Tipo de fuente	Emisiones [ton/año]							
	PM10	PM2.5	SO ₂	CO	NO _x	COV	CN	CH ₄
Industria								
Recubrimiento de Superficies Arquitectónicas	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	127.9	N/A	N/A
Uso Doméstico de Solventes	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	965.4	N/A	N/A
Manejo y distribución de GLP	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	868.7	N/A	N/A
Manejo y distribución de combustibles	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	236.1	N/A	N/A
Actividades de Construcción	42.4	4.2	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Asados al carbón	24.4	19.5	N/E	48.5	0.9	3.1	2.7	N/E
Panificación	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	34.9	N/A	N/A
Aplicación de Fertilizantes	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Aplicación de Plaguicidas	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0.9	N/A	N/A
Emisiones Ganaderas	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	573.5
Corrales de engorda	1.6	0.2	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Labranza	34.7	7.7	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Aguas Residuales	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0.0	N/A	0.0
Relleno Sanitario	N/A	N/A	N/A	0.4	N/A	20.2	N/A	780.9
Quema de residuos a cielo abierto	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	N/E
Incendios en construcciones	0.1	0.1	0.0	0.9	0.0	0.1	0.0	N/E
Esterilización de material hospitalario	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0.1	N/A	N/A
Incendios Forestales	1.1	0.9	0.1	11.0	0.3	0.8	0.1	0.5
Quemas agrícolas	17.7	16.9	0.5	111.4	4.4	9.9	2.0	5.9
Caminos pavimentados y no pavimentados	36.1	8.7	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Ladrilleras	433.8	395.9	35.9	85.6	19.8	9.6	3.0	13,545.6
Fuentes Móviles	165.8	151.5	79.4	18,027.3	2,869.8	1,991.3	24.6	58.7
Autos de Pasajeros/Taxis	8.6	7.6	19.7	5,408.9	987.3	688.0	1.8	10.6
Camionetas públicas de Pasajeros	4.2	3.7	7.6	2,470.8	446.8	304.7	0.9	6.5
Autobuses/Medibuses	3.3	3.0	0.7	49.2	22.6	4.4	0.6	0.4
Camiones de carga ligera	6.3	5.6	7.7	3,037.4	456.0	345.4	1.4	8.1
Camiones de carga media	57.9	53.3	9.8	642.1	263.9	57.4	4.6	8.9
Camiones de carga pesada (Tractocamión)	77.4	71.2	14.7	133.6	432.0	22.0	14.3	9.3
Motocicletas	8.0	7.1	19.1	6,285.3	261.2	569.3	1.0	14.9
Vegetación y suelos	N/A	N/A	N/A	N/A	244.8	691.6	N/A	N/A
Total	800.9	638.2	613.2	18,373.7	3,320.6	5,408.6	34.3	14,969.1

6. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LAS EMISIONES

Parte importante de la modelación, es desagregar de manera espacial las emisiones, lo cual se realizó con base a: la cobertura de la red vial principal, la distribución poblacional de las área geoestadística básica (AGEP), la ubicación de las principales industrias de la Ciudad de San Luis Potosí-Soledad de Graciano Sánchez y la ubicación de las ladrilleras; todo esto montado sobre una malla de 1 kilómetro por 1 kilómetro, considerando que incluya toda la zona urbana, ver Figura 6.1, 6.2 y 6.3.

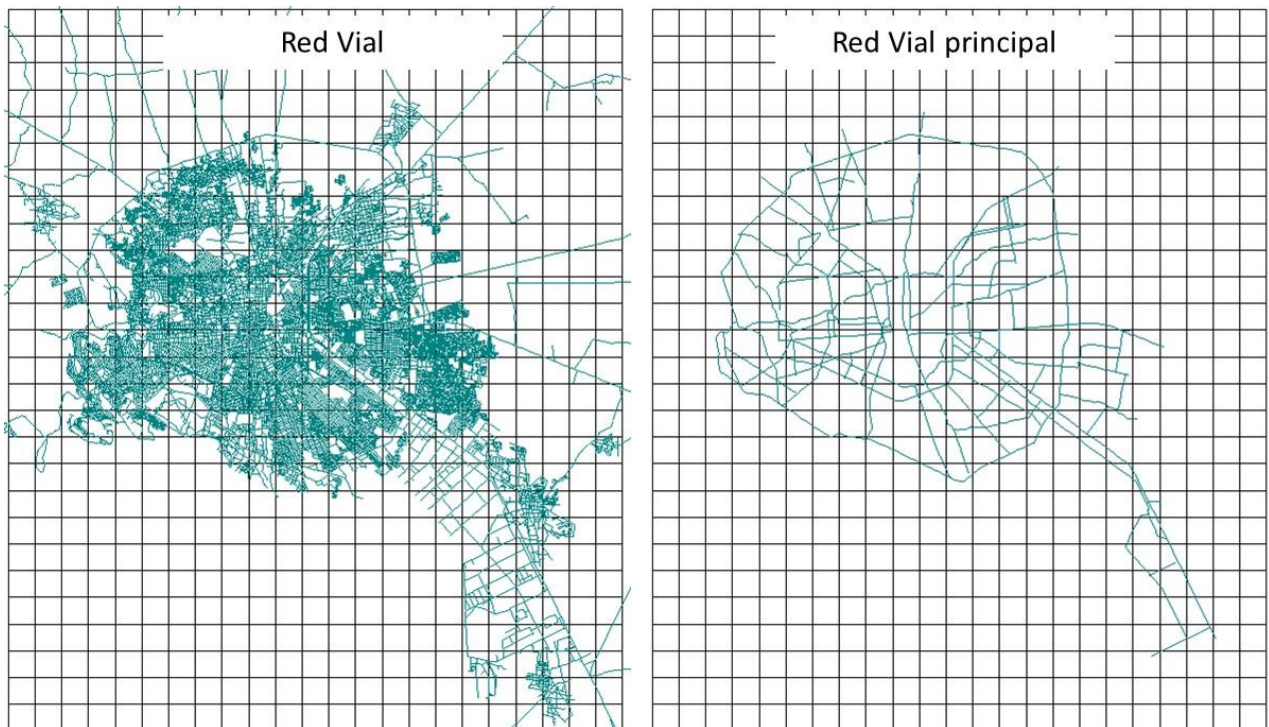


Figura 6.1 Red vial de la Ciudad de San Luis Potosí- Soledad de Graciano Sánchez

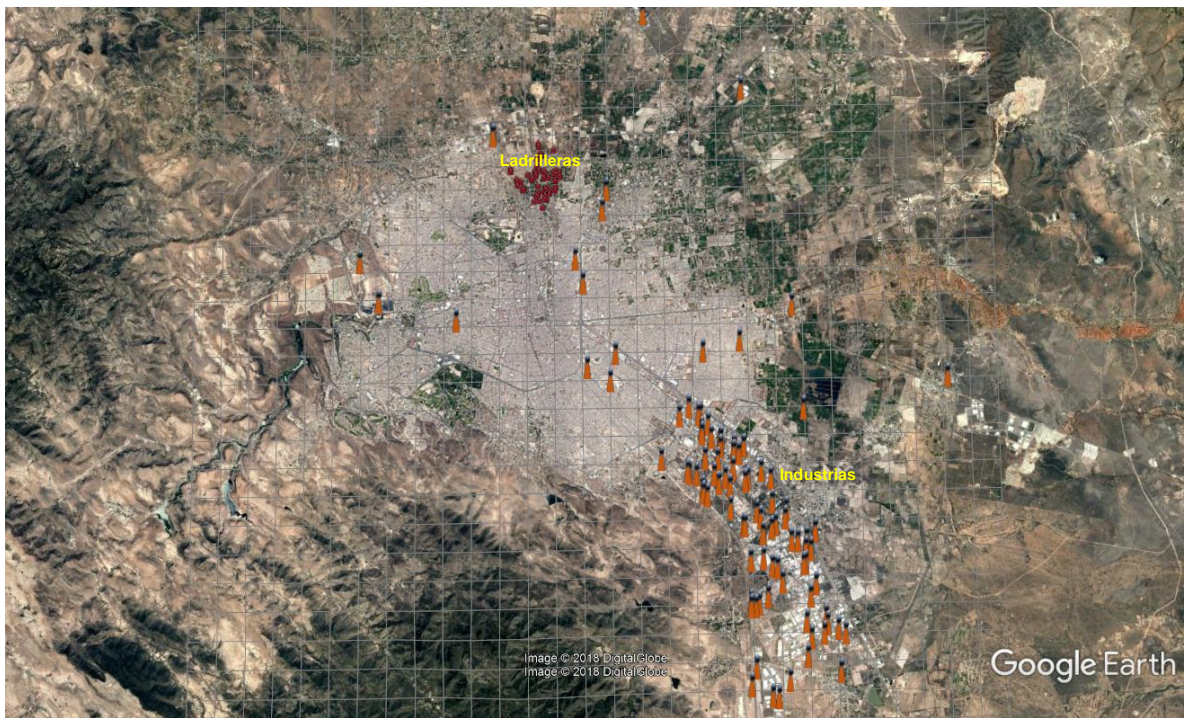


Figura 6.2 Ubicación de las principales industrias y ladrilleras de la Ciudad de San Luis Potosí- Soledad de Graciano Sánchez

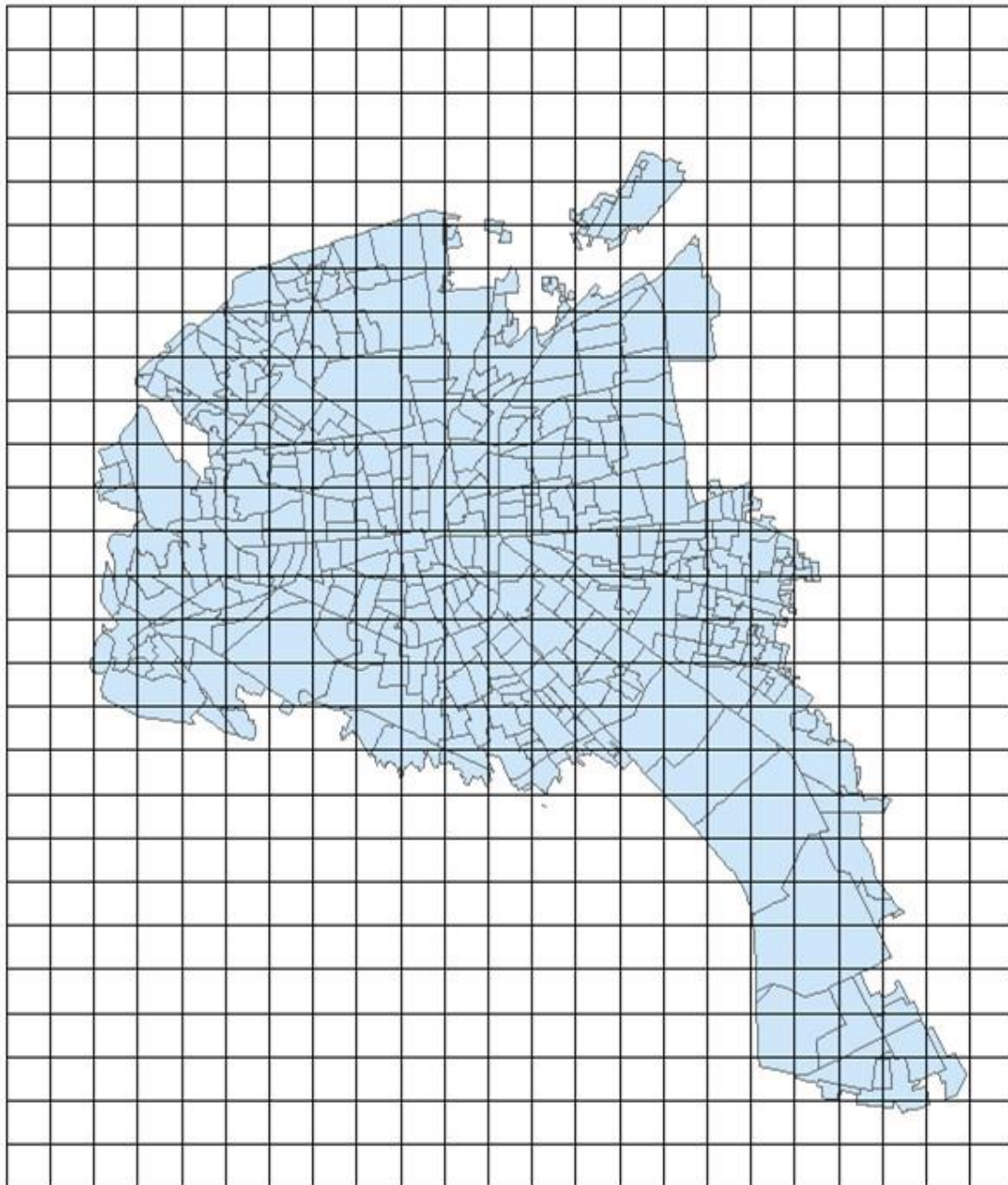


Figura 6.3 Área geoestadística básica de la Ciudad de San Luis Potosí-Soledad de Graciano Sánchez

6.1. EMISIONES TOTALES

Los resultados de la distribución espacial de todas las fuentes seleccionadas que generan partículas y precursores de ozono (NOX y COV) los podemos observar en las siguientes figuras:

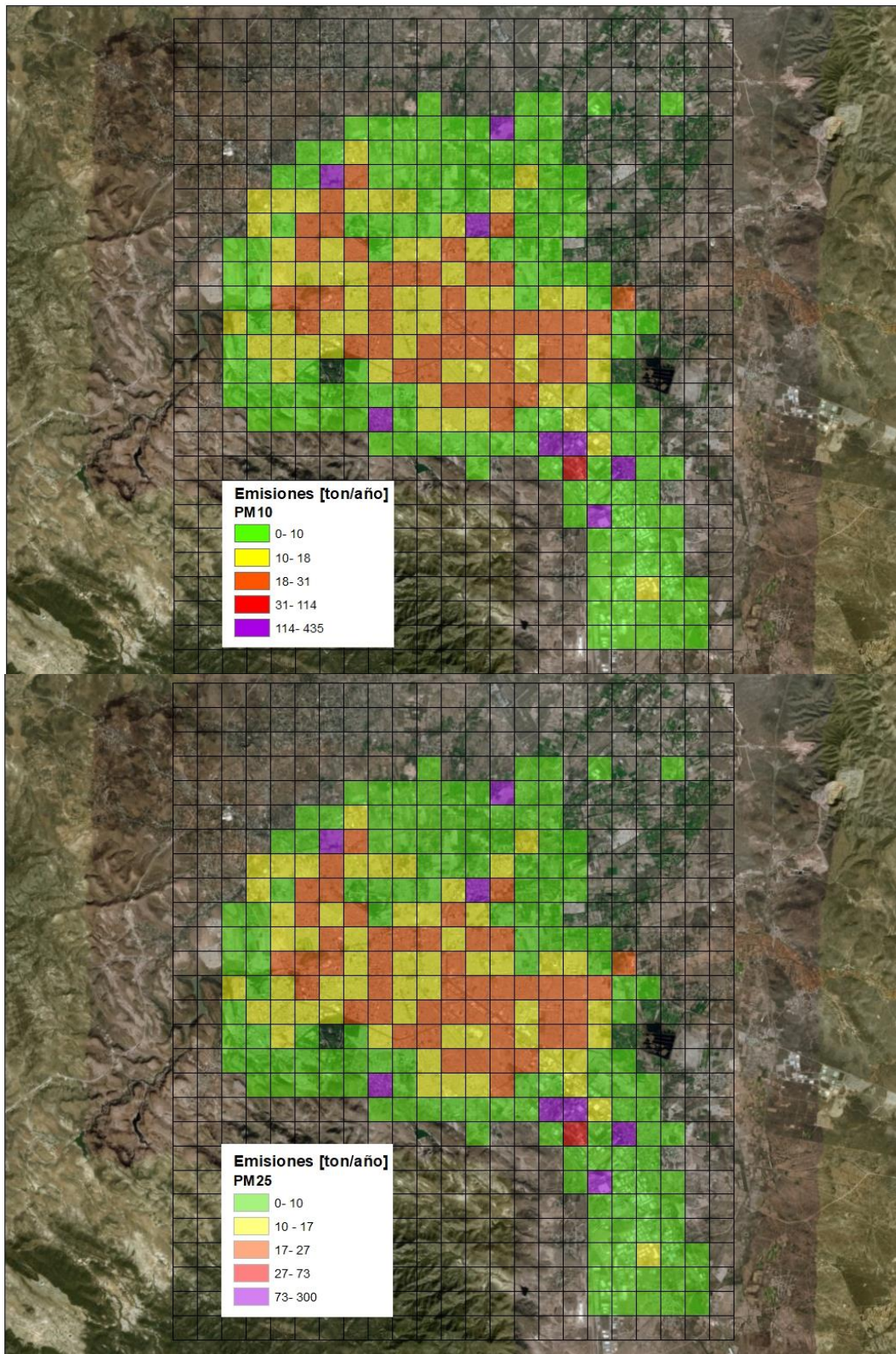


Figura 6.4 Distribución espacial de las emisiones de Partículas PM10 y PM2.5

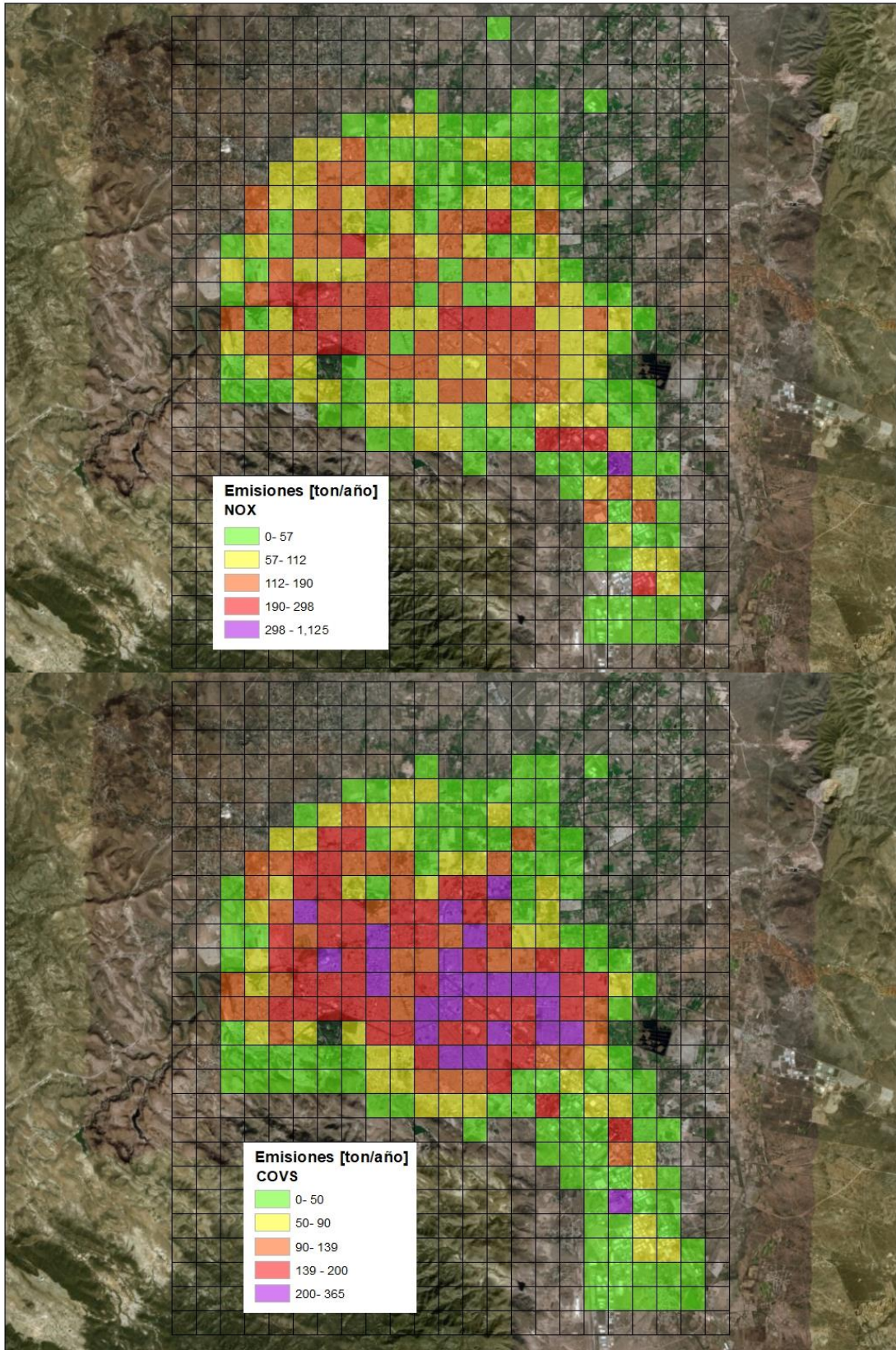


Figura 6.5 Distribución espacial de las emisiones de Precursores de ozono

En el Anexo B, se presentan la distribución espacial de las emisiones por tipo de fuente.

6.2. METEOROLOGÍA

La meteorología de la región es un factor muy importante para determinar los fenómenos de dispersión de los contaminantes, y como podemos observar en la Figura 6.6, los vientos dominantes provienen del SurEste (45° a 67°) a una velocidad de entre 1 y 4 m/s. Por lo que con base a las categorías de estabilidad de Pasquill, podemos tener una atmósfera inestable o muy inestable durante el día y estable durante la noche

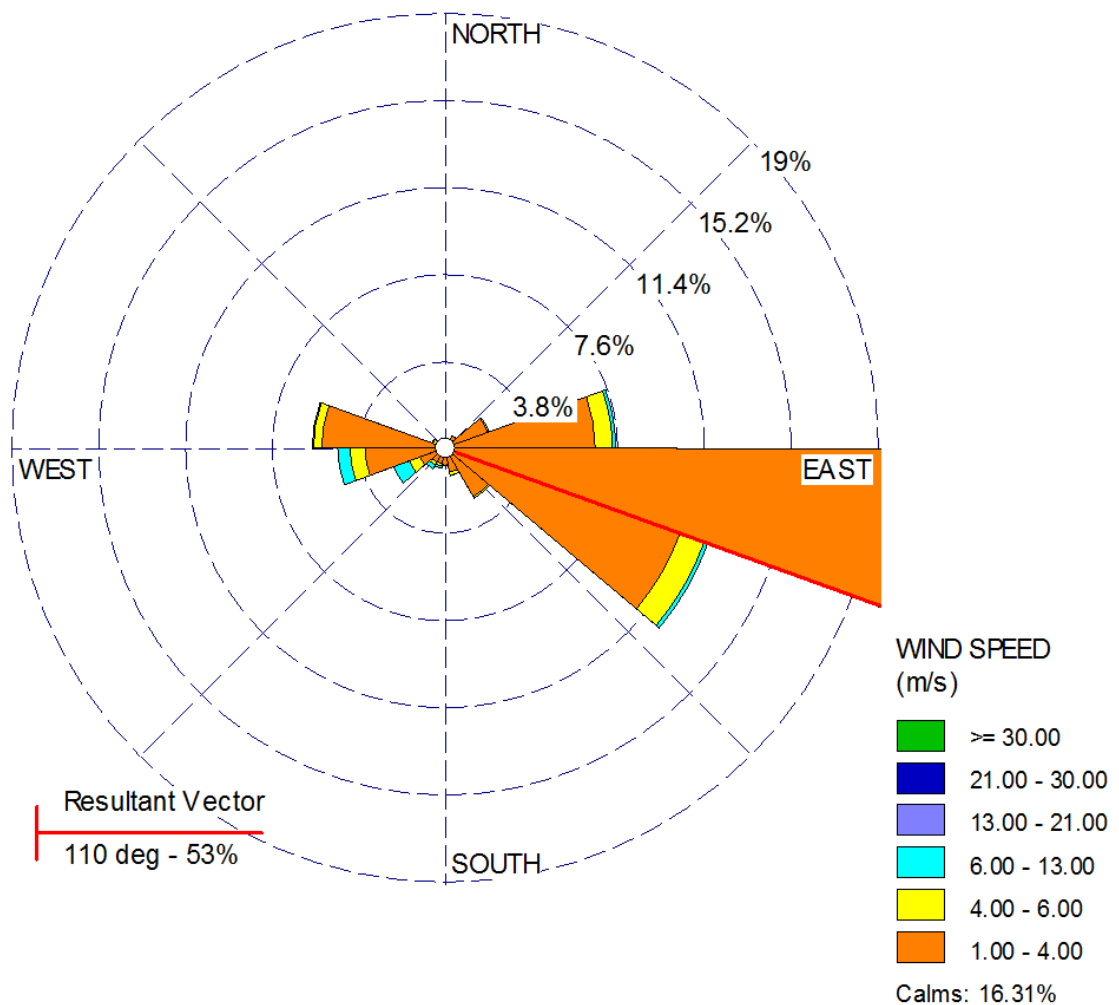


Figura 6.6 Rosa de vientos para de la región a modelar

Ahora mostremos la rosa de vientos dentro de la topografía de la zona de estudio, para analizar las posibilidades de transporte y dispersión de los contaminantes generados en la región. Ver Figura 6.7.

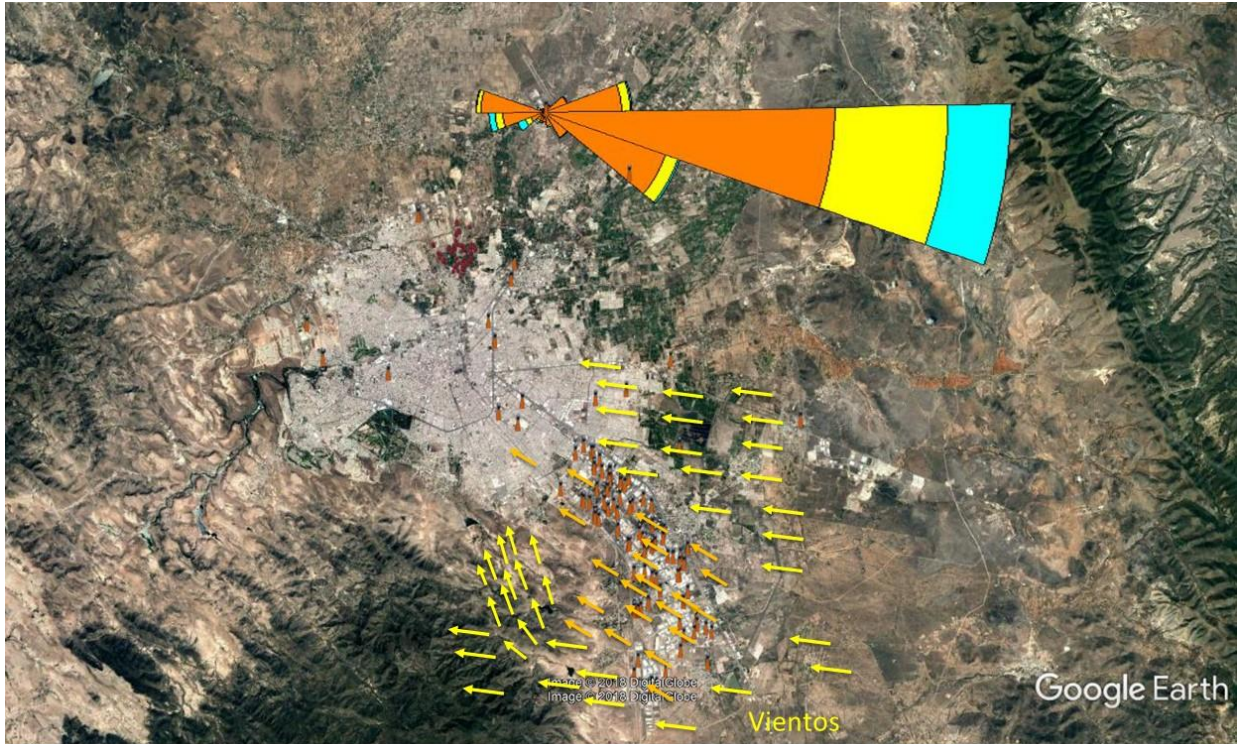


Figura 6.7 Rosa de vientos, topografía y uso de suelo de la región a modelar

Como se puede observar en la Figura 6.7, y con base en la dirección dominante de los vientos, tenemos que por la presencia del cerro El Potosí, parte de estos vientos se desvían hacia la zona urbana de la ciudad; además de que se tienen vientos con dirección a la zona urbana. Esto repercute en que parte de la contaminación que se genera en el Sur de la ciudad que es en donde se ubica la zona industrial, se transporte hacia la zona urbana.

7. MODELACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE DE LA CIUDAD DE SAN LUIS POTOSÍ-SOLEDAD DE GRACIANO SÁNCHEZ

Además de la medición de contaminantes con el monitoreo atmosférico, se tienen la modelación como otra técnica alterna para evaluar la calidad del aire, para esto es necesario contar con información específica de la zona de estudio, entre la más importante está la caracterización: de las fuentes de emisión, de las condiciones meteorológicas y del tipo y uso de suelo.

La modelación ha sido y es ampliamente utilizada: para la evaluación de impactos ambientales, como una herramienta de análisis para la toma de decisiones en los planes y programas de Gestión de la Calidad del Aire y como un método alternativo y complementario de la medición atmosférica de la concentración de contaminantes.

Para evaluar la calidad del aire, existe una gran cantidad de modelos, entre los cuales para elaborar el presente proyecto se utilizó AERMOD que es un modelo Gaussiano regulatorio de la Agencia de Protección del Ambiente de los Estados Unidos (EPA) para evaluar la dispersión de las emisiones contaminantes y es considerado como el modelo de última generación.

Para utilizar el modelo AERMOD, fue necesario preparar el escenario a modelar con la siguiente información:

➤ **De las fuentes puntuales (Principales industria y ladrilleras)**

- Tasa de emisión por contaminante (PM10, SO₂, NO_x, CO) [g/s]
- Altura de chimenea [m]
- Diámetro de chimenea [m]
- Temperatura de salida de la emisión [K]
- Velocidad de salida de la emisión [m/s]
- Elevación de superficie [msnm]

➤ **De las fuentes lineales (Vialidades)**

- Tasa de emisión por contaminante (PM10, SO₂, NO_x, CO) [g/s-m²]
- Altura de emisión [m]
- Ancho de la vialidad [m]
- Elevación de superficie [msnm]

➤ **Meteorológica**

- Velocidad del viento a la altura de referencia [m/s]
- Dirección del viento a la altura de referencia [grados]
- Temperatura del ambiente [K]
- Radiación [Wh/m²]
- Tasa de precipitación (mm)
- Presión atmosférica [mbar]
- Humedad relativa [%]
- Altura y cobertura nubosa [m, %]

La información meteorológica necesaria es horaria en un formato año/mes/día/hora.

- Además de lo anterior se estableció una malla de puntos receptores con su elevación de superficie [msnm], la topografía y el uso del suelo.

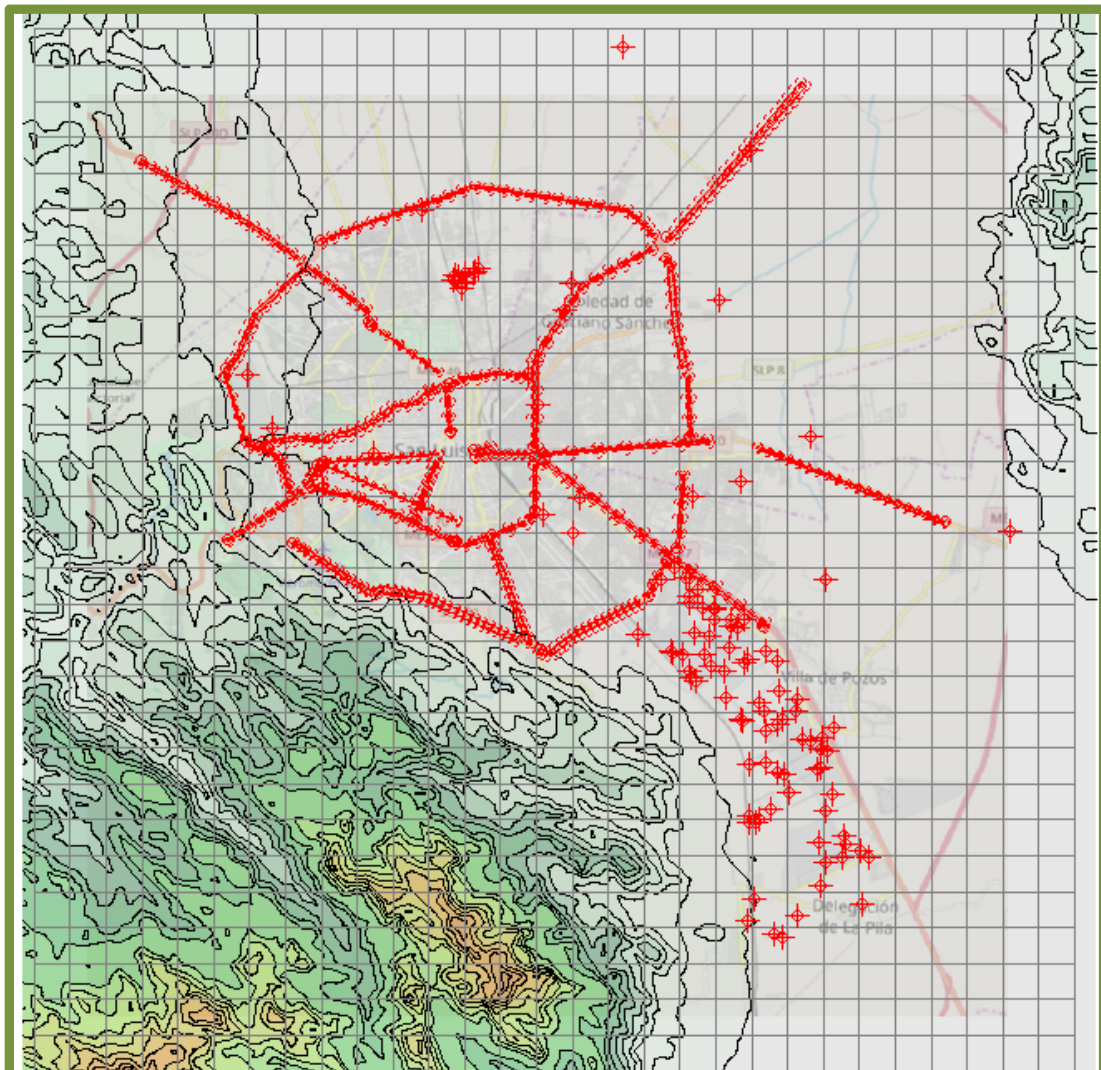


Figura 7.1 Topografía, fuentes y malla de puntos receptores de la Zona de Estudio

Es importante mencionar, que la modelación demanda una gran cantidad de información para la zona de estudio que se va a modelar, por lo que el desarrollo de nuestro escenario es representativo en cuanto al fenómeno de dispersión de las emisiones contaminantes y la ubicación de las zonas donde se pueden estar alcanzando las concentraciones más altas de estas emisiones.

Para fines de nuestra modelación, se desarrollaron y analizaron 3 escenarios variando solo el contaminante. Se consideraron solo aquellos contaminantes que representan poca reactividad en la atmósfera (PM10, SO₂ y CO).

En este estudio, se estiman para la ciudad de San Luis Potosí-Soledad de Graciano Sánchez, las emisiones generadas y las concentraciones atmosféricas de PM10, SO₂ y CO mediante el simulador computacional AERMOD View 9.6.5. Esto para el total de los días del año 2016; y usando 107 fuentes puntuales, compuestas por 97 industrias distribuidas en la zona industrial y urbana de la ciudad, y 10 ladrilleras; también se incluyeron para tipificar las emisiones de las fuentes móviles carreteras, 36 fuentes lineales de área (880 áreas) y una fuente de área circular. Se determinan concentraciones de 24 horas para las partículas PM10 y para el SO₂ y concentraciones de 8 horas para el CO.

7.1 RESULTADOS DE LA MODELACIÓN

Partiendo de que los principales emisores de partículas PM10 son los vehículos que queman diésel como combustible, las fundidoras y las ladrilleras, tenemos que los resultados de la modelación de la calidad del aire de este contaminante, nos indican que:

- En gran parte de la zona urbana se podrían alcanzar concentraciones de partículas menores a 10 micrómetros (PM10) superiores a 75 µg/m³; y para efectos de protección de la salud de la población más vulnerable se establecen que la concentración ambiental de las PM10 no debe de ser mayor a 75 µg/m³, como promedio de 24 horas (NOM-025-SSA1-2014).
- Se tienen seis áreas con una concentración promedio de más de 150 µg/m³, Ver Figura 7.2. (Áreas en color **anaranjado, rojo y morado**):
 - A1. Abarca parte de las localidades de Fuentes del Bosque, Lindavista, Polanco 1^a. Sección, del Valle, Vista Hermosa, Burócratas, Zona Universitaria, Cuitláhuac, Virreyes, Las Águilas 3^a. Sección, Jardín y Prados de San Luis, Los viveros 1^a. Sección entre otras.

- A2. Se ubica en las localidades de Himno Nacional 2ª. Sección, Balcones del Valle 1ª. Sección y Del Real 1a. y 2ª. Sección, Graciano Sánchez.
- A3. Parte de las localidades cercanas a la carretera Matehuala-San Luis Potosí, desde Las Américas, pasando el Distribuidor Vial Benito Juárez, hasta la localidad de Nuevo Paseo.
- A4. Cerca de la carretera Santiago de Querétaro-San Luis Potosí a la altura de las localidades de Ricardo B. Anaya, Real de Minas, Jardines del Sur, Industrias, Cecilia Ocelli, De la Libertad.
- A5. Esta es un área pequeña en las localidades de Matamoros y Juan del Jarro
- A6. Esta última área, también es pequeña y se ubica al norte sobre la carretera Rio Verde-San Luis Potosí antes de llegar a la Av. De los Balles Catus.

➤ Aunque el valor máximo es de $299 \mu\text{g}/\text{m}^3$, este se presenta solo en un punto y no en un área, por lo que podemos omitirlo en el presente análisis.

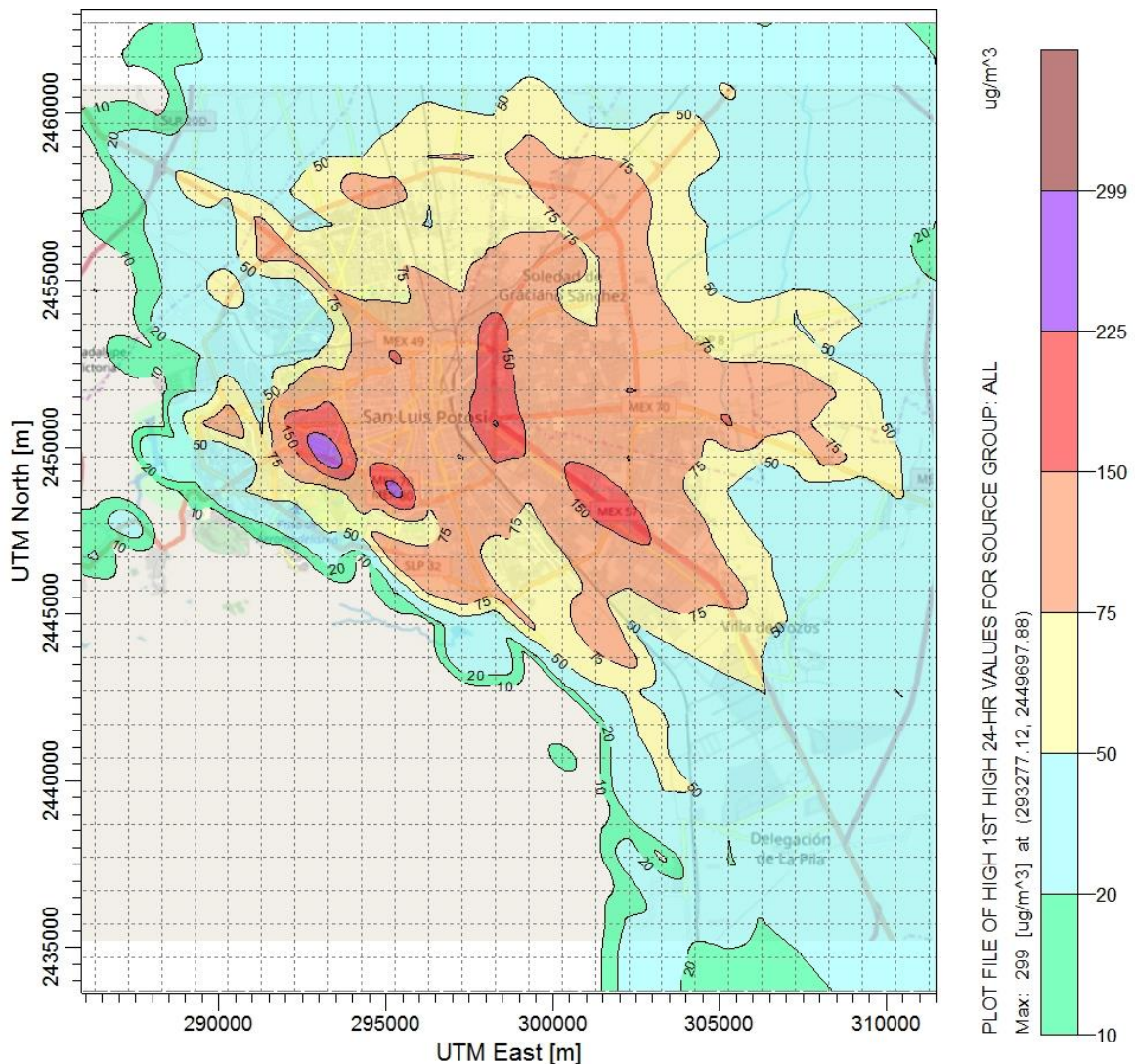


Figura 7.2 Resultados de la modelación de la calidad del aire por Partículas PM10

Los resultados de la modelación de las emisiones de dióxido de azufre, nos indican que:

- El valor máximo que se alcanza en la zona es de $138 \mu\text{g}/\text{m}^3$, el cual está muy por debajo del valor límite permisible especificado en la Norma Oficial Mexicana de salud ambiental "NOM-022-SSA1-2010".- La concentración de dióxido de azufre como contaminante atmosférico no debe rebasar el límite máximo normado de $288 \mu\text{g}/\text{m}^3$ o $0,110 \text{ ppm}$ promedio en 24 horas, una vez al año, para protección a la salud de la población)
- El área con las concentraciones más altas de SO_2 , se ubica en la zona central de la ciudad. Ver Figura 7.2, zona coloreada con verde intenso, donde se alcanzan concentración desde 72 hasta $138 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

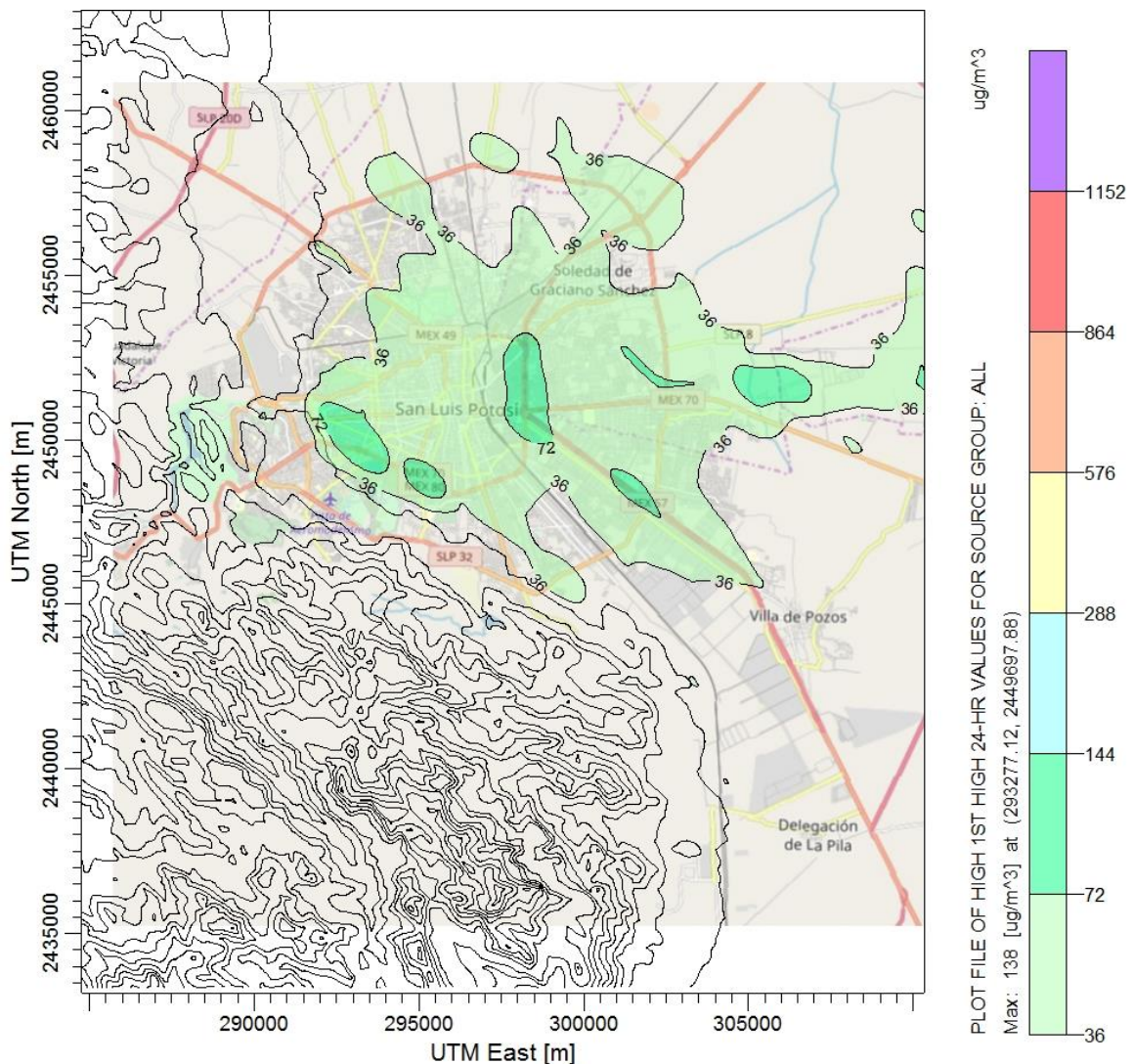


Figura 7.3 Resultados de la modelación de la calidad del aire por dióxido de azufre

Antes de analizar los resultados, es importante mencionar que los valores que resultan de la modelación para el CO, son promedios de 8 horas a diferencia

de la NOM-021-SSA1-1993 que hace referencia a valores de promedios móviles de 8 horas.

El promedio móvil de 8 horas, se refiere a promediar las concentraciones de las primeras ocho horas, y a la hora siguiente (hora nueve) se promedian los valores de la hora 2 hasta la hora nueve y así sucesivamente se tiene un promedio cada hora. En cambio, en un promedio fijo se promedian las primeras ocho horas y después se promedian las siguientes ocho horas a partir de la hora 9 y así hasta tener tres promedios al día de ocho horas.

Los resultados de la modelación de las emisiones de monóxido de carbono, nos indican que:

- Aunque el valor máximo es de 51,054 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, este se presenta sobre la vialidad en el cruce de Av. Manuel J. Clouthier con Av. Dr. Salvador Nava Martínez, por lo que podemos omitirlo en el presente análisis.
- En gran parte de la zona urbana, es posible que se alcancen concentraciones de monóxido de carbono (CO) superiores a 12,595 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (11 ppm) en un promedio móvil de ocho horas, que es el valor límite de protección a la salud de la población susceptible que establece la NORMA Oficial Mexicana NOM-021-SSA1-1993. En la Figura 7.4, se puede apreciar que estos valores se pueden alcanzar a partir del área de color amarillo hasta el color anaranjado rojo y morado.
- Los valores más altos (áreas rojas y moradas de la figura 7.4) se alcanzan sobre las vialidades y zonas cercanas a menos de 1km de la vialidad, y es donde se pueden alcanzar concentración desde 2 veces (25,190 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) a 3 veces (37,785 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) la NOM-021-SSA1-1993.

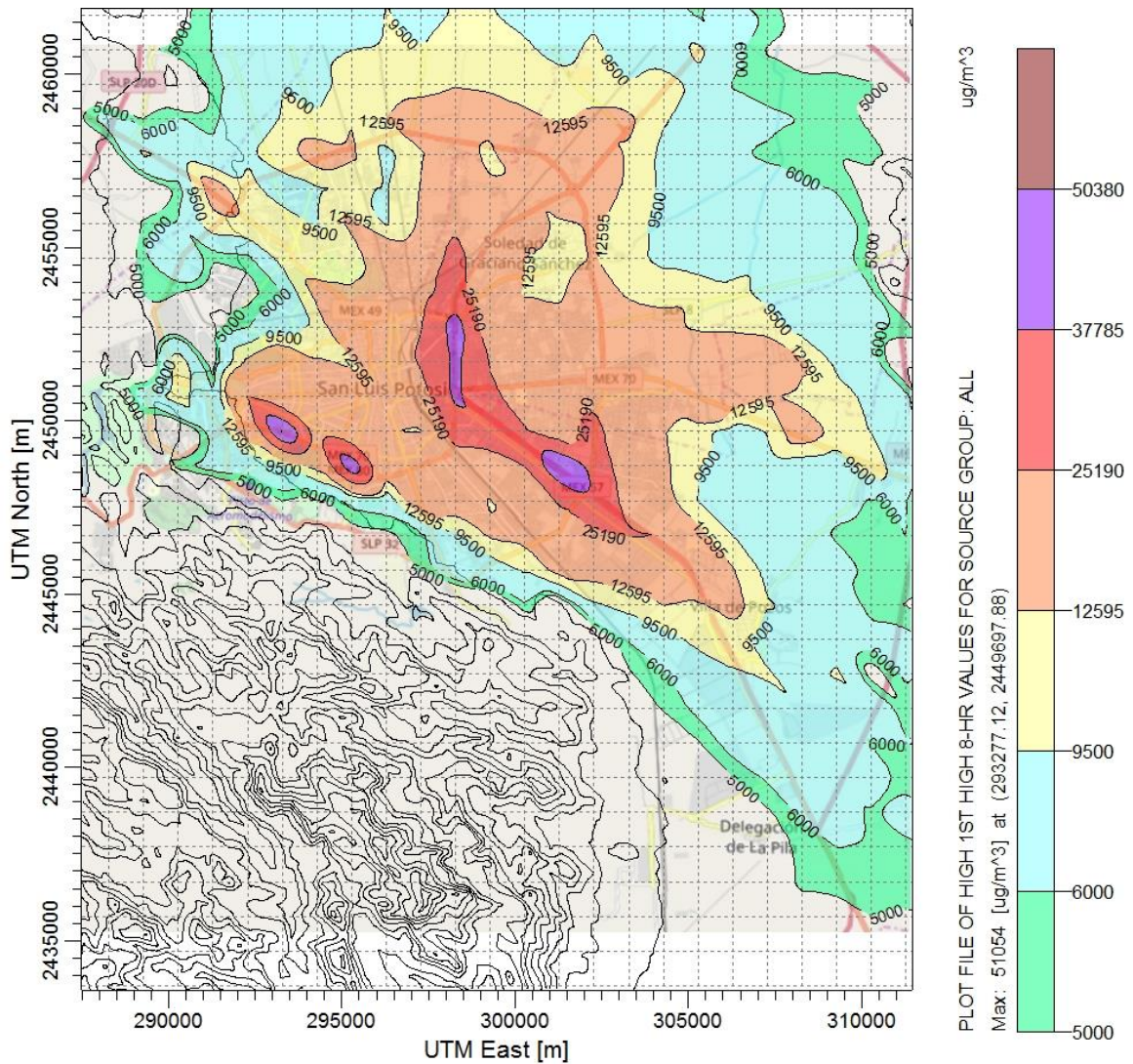


Figura 7.4 Resultados de la modelación de la calidad del aire por monóxido de carbono

Actualmente la ciudad de San Luis Potosí-Soledad de Graciano Sánchez, cuenta con cuatro estaciones de monitoreo de la calidad del aire; y con la finalidad de analizar su ubicación, utilizaremos la dispersión de las emisiones de partículas PM10 para comparar la ubicación de las estaciones con las zonas de alta concentración de este contaminante, ver Figura 7.5

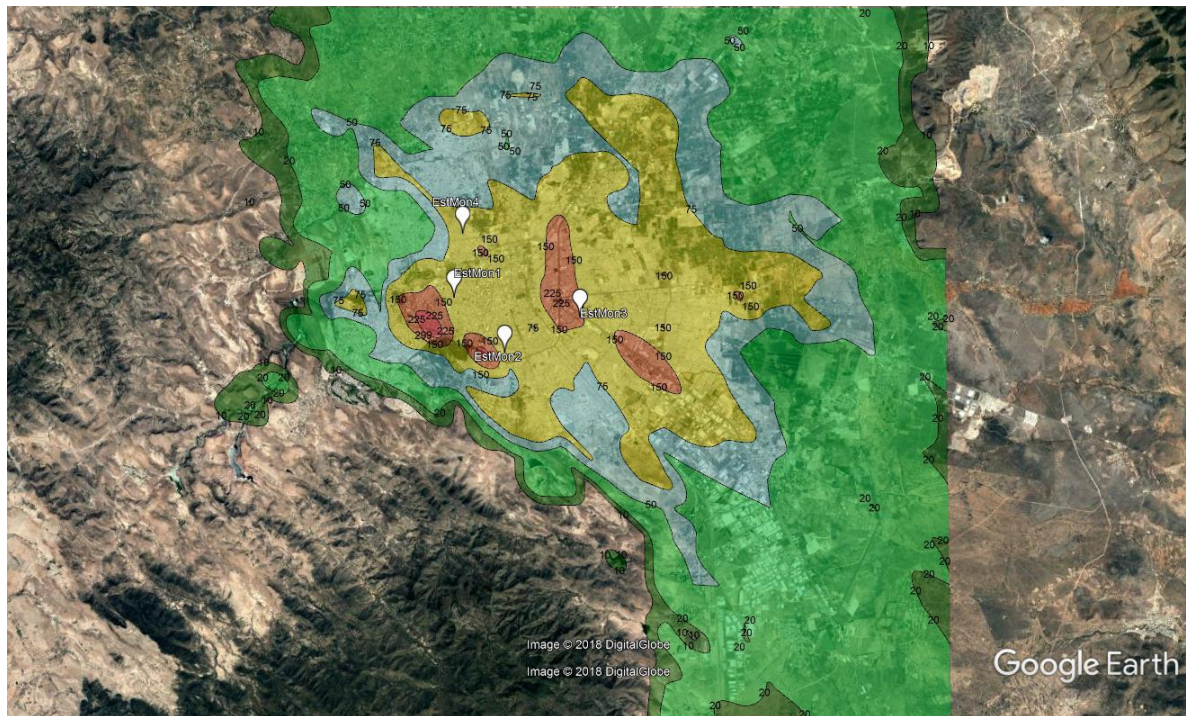


Figura 7.5 Calidad del aire por PM10 y ubicación de las estaciones de monitoreo en la Ciudad de San Luis Potosí-Soledad de Graciano Sánchez

En la figura 7.5 podemos observar que las zonas donde se alcanzan los valores más altos son vialidades o zonas cercanas a ellas; por lo que, aunque las estaciones no se ubican en el punto donde se alcanzan estas concentraciones, la ubicación de las estaciones de monitoreo (EstMon) son representativas de la calidad del aire que respira la mayoría de la población que vive o visita la ciudad de San Luis Potosí.

Es importante mencionar que se identifica una posible problemática de calidad del aire por las emisiones de partículas y que además la problemática ambiental del aire es dinámica y cambiante con el tiempo, por lo que sería de gran utilidad darle seguimiento a la aplicación de modelos de calidad del aire en la zona para ampliar el análisis y entendimiento de la problemática de la calidad del aire de la Ciudad y sus posibles soluciones. Para esto, es recomendable actualizar los inventarios de emisiones y realizar estudios para mejorar o ampliar la información que requiere el modelo.

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Con base a los resultados del inventario de emisiones, concluimos que:

- ❖ Los mayores generadores de partículas PM10 y PM2.5, son: las ladrilleras y la industria metalúrgica, y le siguen en orden de importancia, los camiones de carga que utilizan diésel como combustible.
- ❖ Por lo que se refiere a la generación de SO₂, la principal categoría emisoras es la fabricación yeso y la industria metalúrgica.
- ❖ Por lo que se refiere al monóxido de carbono, los principales emisores son los autos particulares y los taxis junto con las motocicletas, y en general todos los vehículos ligeros que utilizan gasolina como combustible; otra fuente importante de emisiones de este contaminante es la industria metalúrgica que se genera principalmente en el proceso de fundición de chatarra.
- ❖ Las emisiones de Óxidos de Nitrógeno son generadas mayoritariamente por las categorías del sector de fuentes móviles, como son los autos de pasajeros y taxis, así como los camiones de carga.
- ❖ Las mayores fuentes antropogénicas generadoras de COV son: los autos de pasajeros y los taxis, el uso doméstico de solventes, el manejo y distribución de gas LP, las motocicletas y en la limpieza de superficies industriales.
- ❖ Se identificó que los mayores emisores de carbono negro son los camiones de carga pesada y mediana que utilizan diésel.

Con base a los resultados del inventario de emisiones y a la aplicación del modelo de calidad del aire, se puede concluir que se tiene una posible problemática de calidad del aire por partículas PM10 y esto como resultado de la actividad de un parque vehicular a diésel que tiene en promedio 16 años de antigüedad y a la actividad de las fundidoras y ladrilleras de la región.

Referente a las estaciones de monitoreo (EstMon), la modelación nos indica que son representativas de la calidad del aire que respira la mayoría de la población que vive o visita la ciudad de San Luis Potosí.

Como recomendaciones se sugiere lo siguiente:

Se continúe con la aplicación de modelos de calidad del aire como una herramienta de análisis para conocer los fenómenos de dispersión de la contaminación.

Realizar estudios especializados para generar información más precisa para la identificación de los parámetros requeridos por el modelo en la tipificación de las fuentes de emisión.

Fortalecer las estaciones meteorológicas para que proporcionen la información requerida para la modelación.

Coordinarse con el gobierno Federal, para realizar visitas de campo al sector industrial y verificar datos de parámetros de chimeneas, de equipo de control y generación de emisiones, y asegurar que estén incluidas en el inventario las principales industrias de la región.

BIBLIOGRAFIA

Air Science. (2010)/ Review of agricultural crop residue loadin, emission factors, and remote fire detecion. Retrieved 2017, from http://wrapfets.org/pdf/Ag_burning_tech_memo_20100503.pdf

ANAFAPyT. (2016)/ Informe Anual del Mercado Mexicano de Pinturas 2015. México.

APEFL. (2016). Air Pollutant Emission Factor Library. Retrieved 2017, from <http://www.apef-library.fi/>

ARB. (1995)/ Emission Inventory Procedural Manual, Volume III: Methods for Assessing Area Source Emissions. Stationary Source Emission Inventory Branch, Sacramento, California.

Lakes Environmental /Software AERMOD View, version 9.6.5

Lakes Environmental/ AERMOD Tech Guide

Air Resources Board (ARB), 1995. Emission Inventory Procedural Manual, Volume III.

Bächtold, E. (2000). Estudio para la reducción y eliminación de fugas de gas licuado de Petroleo en las instalaciones domésticas de la Zona Metropolitana del Valle de México.

COMEX/ Carta Técnica de Pintura. <http://www.comex.com.mx>

CONAFOR. (2018). Comisión Nacional Forestal. <http://www.conafor.gob.mx/web/temas-forestales/incendios/>

CONAGUA/. Inventario de Plantas Municipales de Potabilización y de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación. <https://www.gob.mx/conagua/documentos/inventario-de-plantas-municipales-de-potabilizacion-y-de-tratamiento-de-aguas-residuales-en-operacion>

CONAPO/. Indicadores Demográficos de Población. <http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Proyecciones>

Gobierno del Estado de San Luís Potosí, 201/ Padron Estatal Vehicular 2016

Hernández Villaseñor, S. Z. (2017)/ Estimaciones del Parque vehicular en circulación por entidad.

INECC (2014)/ Elaboración del Inventario Nacional de Emisiones de Fuentes Móviles para México 2013 y proyección 2030 mediante el uso del modelo Motor Vehicle Emission Simulator (MOVES).

INEGI/ Encuesta Nacional Agropecuaria 2017.
http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/Agro/ca2007/Resultados_Agricola/default.aspx

INEGI. (2015). Anuario Estadístico y Geográfico por Entidad Federativa. Retrieved 2017, from.

PEMEX. (1997)/ Efectos de los Componentes del Gas Licuado de Petróleo en la Acumulación de Ozono en la Atmósfera de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. Ciudad de México.: Petróleos Mexicanos.

Radian International LLC/ (1995)/ Methods Evaluation and Proposal for Mexico Emissions Inventory Program. Denver, Colorado: Binational Advisory Committee, Dr. José Ortega, Corporación Radian.

Radian International (1997)/ Volumen II, Fundamentos del inventario de emisiones.

Radian International (1996)/ Volumen III, Técnicas básicas para el estimado de emisiones.

Radian International (1997)/ Volumen IV, Desarrollo de inventarios para fuentes de emisiones fijas.

Radian International (1997)/ Volumen V, Desarrollo de inventarios para fuentes de emisiones de área.

Radian International (1997)/ Volumen VI - Desarrollo de inventarios para fuentes vehiculares.

SCT (2009)/ Propuesta metodológica para la estimación de emisiones vehiculares en ciudades de la República Mexicana.

SCT. (2017)/ Estadística básica del autotransporte federal.

SEDEMA/CDMX (2016)/ Inventario de Emisiones de la Ciudad de México 2014. Contaminantes Criterio, Tóxicos y de Efecto Invernadero.

SENER/ Sistema de Información Energética en línea en la web <http://sie.energia.gob.mx/>.

SENER (2017) Balance Nacional de Energía 2016

SENER (2016)/ Prospectiva del Sector Eléctrico 2016-2030.

SENER (2017)/ Prospectiva del Sector Eléctrico 2017-2031.

SENER (2017). Prospectiva de Gas L.P. 2017-2031.

SENER (2016). Prospectiva de Gas Natural 2016-2030.

SENER (2016). Prospectiva de Petróleo Crudo y Petrolíferos 2016 – 2030.

SENER (2017). Prospectiva de Petróleo Crudo y Petrolíferos 2017 – 2031.

SEMARNAT (2018)/Inventario nacional de emisiones 2005/ vía su página web: <http://sinea.semarnat.gob.mx/sinae.php?process=UkVQT1JURUFET1I=&categ=1>

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

SEMARNAT (2018)/Inventario nacional de emisiones 2008/ vía su página web: <http://sinea.semarnat.gob.mx/sinae.php?process=UkVQT1JURUFET1I=&categ=1>

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

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY/ MOVES2014a (Motor Vehicle Emission Simulator) MODEL.

USEPA. (Enero de 2017)/ AP 42, Fifth Edition Compilation of Air Pollutant Emission Factors.

USAID –INECC (2016)/ Guía del Usuario de MOVES-México/ Programa para el Desarrollo de Emisiones Bajas en México (MLED).