

Capítulo 2

Inventarios de emisiones de la ZMVM

La medición y el registro espacial y temporal de los contaminantes atmosféricos más importantes desde el punto de vista de la salud de la población, así como una buena estimación de las emisiones a la atmósfera son aspectos torales y requisitos imprescindibles para desarrollar y mantener una gestión eficaz de la calidad del aire. En este capítulo se da cuenta de los inventarios de emisiones de la ZMVM para el año 2008, de los "contaminantes criterio", de los contaminantes tóxicos y de los compuestos y gases de efecto invernadero. Se identifican asimismo las fuentes de generación simultánea, o multicontaminantes*, más importantes de la ZMVM, entre las que destaca el sector de los automóviles.

2.1 Emisiones de contaminantes criterio

Los contaminantes que conforman este grupo fueron los primeros en ser estudiados sistemáticamente en varios países, debido a la evidencia que empezó a obtenerse sobre sus efectos dañinos a la salud humana. La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA por sus siglas en inglés) los llamó "contaminantes criterio" porque sus normas de calidad del aire se basaban en el conocimiento plasmado en documentos llamados "documentos criterio." Actualmente el término se ha adoptado en muchos países y es convencionalmente aceptado para referirse a los contaminantes siguientes: Dióxido de Azufre (SO₂), Bióxido de Nitrógeno (NO₂), partículas o material particulado (MP), Plomo (Pb), Monóxido de Carbono (CO), Compuestos Orgánicos Volátiles (COV), Compuestos Orgánicos Totales (COT) y ozono (O₃).

* La información para elaborar este capítulo se tomó principalmente de los documentos:

- 1) Inventario de Emisiones de Contaminantes Criterio de la ZMVM del año 2008, Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal, 2010.
- 2) Inventario de Emisiones de Contaminantes Tóxicos de la ZMVM del año 2008, Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal, 2010.
- 3) Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero y Carbono Negro de la ZMVM del año 2008, Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal, 2010.

2.1.1 Distribución temporal

Los inventarios de emisiones que se han elaborado para la ZMVM incluyen, además de la cuantificación desagregada de las emisiones por tipo de fuente, categoría o subsector, la variación temporal y la distribución espacial de las emisiones contaminantes. En la Tabla 2.1.1 se presenta el inventario de emisiones de la ZMVM según los días de la semana.

Tabla 2.1.1. Inventario de emisiones de la ZMVM por tipo de día de la semana, 2008

Contaminante		Promedio de emisiones (ton/semana)	Promedio de emisiones (ton/día)		
			Entre semana	Sábado	Domingo
Partículas menores a 10 micrómetros	PM ₁₀	452	67	63	54
Partículas menores a 2.5 micrómetros	PM _{2.5}	102	15	14	13
Dióxido de azufre	SO ₂	130	21	14	11
Monóxido de carbono	CO	30,135	4,284	4,571	4,144
Óxidos de nitrógeno	NO _x	3,622	519	541	486
Compuestos orgánicos volátiles	COV	11,217	1,666	1,557	1,330

Nota: No se incluyen las emisiones de los incendios forestales y estructurales, así como las emisiones de partículas provenientes de la erosión eólica del suelo. La suma de los totales puede variar debido al redondeo de las cifras.

Fuente: Inventario de Emisiones de Contaminantes Criterio de la ZMVM-2008.

En la Tabla 2.1.2 se presenta el promedio diario de las emisiones por temporada climática, observándose que en el caso de las partículas suspendidas las variaciones llegan a ser casi del doble entre la temporada de lluvias y la seca fría (noviembre a febrero). Los otros contaminantes presentan variaciones pequeñas entre temporadas climáticas.

Tabla 2.1.2. Inventario de emisiones por temporada climática de la ZMVM, 2008

Temporada	Emisiones promedio (ton/día)					
	PM ₁₀	PM _{2.5}	SO ₂	CO	NO _x	COV
Seca fría	92.0	17.2	18.3	4,292.5	514.5	1,611.5
Seca caliente	64.6	14.5	18.3	4,292.4	514.9	1,641.6
Lluvias	46.8	12.9	18.4	4,293.1	515.8	1,613.9

Fuente: Inventario de Emisiones de Contaminantes Criterio de la ZMVM-2008.

2.1.2 Emisiones anuales de contaminantes criterio de la ZMVM

A continuación, en las Tablas 2.1.3, 2.1.4 y 2.1.5, se presenta el inventario de las emisiones anuales de contaminantes criterio en la ZMVM, primero en valores agregados y posteriormente desglosado por tipo de fuente en peso y porcentaje.

Tabla 2.1.3. Inventario de emisiones anuales de la ZMVM, agregados 2008

Sector	Emisiones															
	PM ₁₀		PM _{2.5}		SO ₂		CO		NO _x		COT		COV		NH ₃	
	(ton/año)	(%)	(ton/año)	(%)	(ton/año)	(%)	(ton/año)	(%)	(ton/año)	(%)	(ton/año)	(%)	(ton/año)	(%)	(ton/año)	(%)
Fuentes puntuales	4,986	20.5	859	15.6	3,375	50.3	6,961	0.4	20,094	10.7	134,201	14.2	129,178	21.8	181	0.9
Fuentes de área	14,678	60.4	1,643	29.9	23	0.3	9,263	0.6	12,043	6.4	581,729	61.4	241,252	40.8	15,198	75.3
Fuentes móviles	3,902	16.1	2,849	51.8	3,306	49.3	1'552,204	99.0	154,919	82.4	195,218	20.6	185,384	31.3	4,798	23.8
Vegetación y suelos	730	3.0	148	2.7	NA	NA	NA	NA	1,031	0.5	35,585	3.8	35,585	6.0	NA	NA
Total	24,296	100	5,499	100	6,704	100	1'568,428	100	188,087	100	946,733	100	591,399	100	20,177	100

NA: No es aplicable.

Fuente: Inventario de Emisiones de Contaminantes Criterio de la ZMVM-2008.

De acuerdo con este inventario, las fuentes en su conjunto emiten aproximadamente 2.7 millones de toneladas de contaminantes por año, de las cuales el 70% corresponde a las fuentes móviles, el 23% a las fuentes de área, el 6% a las fuentes puntuales y el 1% a la vegetación y suelos.

Tabla 2.1.4. Inventario desagregado de emisiones anuales de la ZMVM 2008, en ton/año

Sector	Emisiones (ton/año)							
	PM ₁₀	PM _{2.5}	SO ₂	CO	NO _x	COT	COV	NH ₃
Fuentes puntuales	4,986	859	3,375	6,961	20,094	134,201	129,178	181
Productos alimenticios, bebidas y tabaco	869	72	136	433	1,414	7,678	7,432	13
Textiles, prendas de vestir e industria del cuero	466	32	145	134	350	11,869	11,845	7
Industria de la madera y productos de madera	111	9	148	11	33	1,765	1,745	NS
Papel y productos de papel, imprenta y editoriales	139	75	513	475	1,221	23,941	23,035	15
Sustancias químicas, productos derivados del petróleo y del cartón, de hule y de plástico	784	91	843	661	1,515	66,004	64,149	38
Productos minerales no metálicos	1,414	282	1,109	942	1,601	1,511	1,315	21
Industrias metálicas básicas	155	26	212	596	1,876	2,961	2,080	7
Productos metálicos, maquinaria y equipo	824	71	210	1,511	991	16,382	15,940	10
Otras industrias manufactureras	27	4	44	20	118	1,805	1,495	1
Generación de energía eléctrica	197	197	15	2,178	10,975	285	142	69
Fuentes de área	14,678	1,643	23	9,263	12,043	581,729	241,252	15,198
Combustión comercial institucional	58	58	NS	618	1,061	82	52	NE
Combustión habitacional	257	257	1	2,563	4,542	352	224	1
Operación de aeronaves	27	26	NS	4,083	4,816	2,139	2,053	NE
Recubrimiento de superficies industriales	NA	NA	NA	NA	NA	25,298	24,994	NA
Pintura automotriz	NA	NA	NA	NA	NA	2,767	2,711	NA
Recubrimiento de superficies arquitectónicas	NA	NA	NA	NA	NA	26,879	23,403	NA
Limpieza de superficies industriales	NA	NA	NA	NA	NA	35,576	21,346	NA
Lavado en seco	NA	NA	NA	NA	NA	11,872	7,614	NA
Artes gráficas	NA	NA	NA	NA	NA	7,905	7,905	NA
Distribución y almacenamiento de GLP	NA	NA	NA	NA	NA	4,713	4,637	NA
Fugas en instalaciones de GLP	NA	NA	NA	NA	NA	28,418	27,964	NA
HCNQ en la combustión de GLP	NA	NA	NA	NA	NA	35,223	34,658	NA
Rellenos sanitarios	NA	NA	NA	141	NA	299,791	11,643	NE
Caminos pavimentados	2,693	NS	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Caminos sin pavimentar	11,459	1,138	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Productos de cuidado personal	NA	NA	NA	NA	NA	30,042	20,729	NA
Productos de consumo doméstico	NA	NA	NA	NA	NA	10,278	7,091	NA
Plaguicidas	NA	NA	NA	NA	NA	23,124	15,956	NA
Productos para el cuidado automotriz	NA	NA	NA	NA	NA	17,393	12,001	NA
Adhesivos y selladores	NA	NA	NA	NA	NA	7,511	5,182	NA
Otras fuentes de área	184	154	22	1,858	1,624	12,367	11,089	15,197
Fuentes móviles	3,902	2,849	3,306	1'552,204	154,919	195,218	185,384	4,798
Autos particulares	963	511	1,665	638,104	60,662	94,089	90,653	3,396
Taxis	183	96	322	190,259	20,995	15,655	14,362	658
Vagonetas y combis	49	31	87	114,161	5,868	8,290	7,585	124
Microbuses	52	30	102	106,237	10,923	15,619	14,063	236
Pick up	68	41	118	106,005	4,930	9,990	9,526	170
Vehículos de carga de hasta 3 toneladas	103	85	100	44,535	2,791	4,999	4,816	63
Tractocamiones	1,455	1,218	241	27,177	16,702	4,777	4,544	27
Autobuses	391	338	402	35,267	22,005	5,887	5,588	28
Vehículos de carga mayores a 3 toneladas	541	443	178	134,444	8,194	8,646	7,985	55
Motocicletas	91	53	88	155,951	1,648	27,228	26,225	41
Metrobuses	6	3	3	64	201	38	37	NS
Vegetación y suelos	730	148	NA	NA	1,031	35,585	35,585	NA
Vegetación	NA	NA	NA	NA	1,031	35,585	35,585	NA
Erosión eólica del suelo	730	148	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Total	24,296	5,499	6,704	1'568,428	188,087	946,733	591,399	20,177

NA: No es aplicable; NS: No significativo; NE: No estimado; HCNQ: Hidrocarburos no quemados.

Fuente: Inventario de Emisiones de Contaminantes Criterio de la ZMVM-2008.

Tabla 2.1.5. Inventario desagregado de emisiones anuales de la ZMVM 2008, porcentajes

Sector	Emisiones (%)							
	PM ₁₀	PM _{2.5}	SO ₂	CO	NO _x	COT	COV	NH ₃
Fuentes puntuales	20.52	15.62	50.34	0.44	10.68	14.18	21.84	0.90
Productos alimenticios, bebidas y tabaco	3.58	1.31	2.03	0.03	0.75	0.81	1.26	0.06
Textiles, prendas de vestir e industria del cuero	1.92	0.58	2.16	0.01	0.19	1.25	2.00	0.03
Industria de la madera y productos de madera	0.46	0.16	2.21	0.00	0.02	0.19	0.30	NS
Papel y productos de papel, imprenta y editoriales	0.57	1.36	7.65	0.03	0.65	2.53	3.90	0.07
Sustancias químicas, productos derivados del petróleo y del cartón, de hule y de plástico	3.23	1.65	12.57	0.04	0.81	6.97	10.85	0.19
Productos minerales no metálicos	5.82	5.13	16.54	0.06	0.85	0.16	0.22	0.10
Industrias metálicas básicas	0.64	0.47	3.16	0.04	1.00	0.31	0.35	0.03
Productos metálicos, maquinaria y equipo	3.39	1.29	3.13	0.10	0.53	1.73	2.70	0.05
Otras industrias manufactureras	0.11	0.07	0.66	0.00	0.06	0.19	0.25	0.00
Generación de energía eléctrica	0.81	3.58	0.22	0.14	5.84	0.03	0.02	0.34
Fuentes de área	60.41	29.88	0.34	0.59	6.40	61.45	40.79	75.32
Combustión comercial institucional	0.24	1.05	NS	0.04	0.56	0.01	0.01	NE
Combustión habitacional	1.06	4.67	0.01	0.16	2.41	0.04	0.04	0.00
Operación de aeronaves	0.11	0.47	NS	0.26	2.56	0.23	0.35	NE
Recubrimiento de superficies industriales	NA	NA	NA	NA	NA	2.67	4.23	NA
Pintura automotriz	NA	NA	NA	NA	NA	0.29	0.46	NA
Recubrimiento de superficies arquitectónicas	NA	NA	NA	NA	NA	2.84	3.96	NA
Limpieza de superficies industriales	NA	NA	NA	NA	NA	3.76	3.61	NA
Lavado en seco	NA	NA	NA	NA	NA	1.25	1.29	NA
Artes gráficas	NA	NA	NA	NA	NA	0.83	1.34	NA
Distribución y almacenamiento de gas LP	NA	NA	NA	NA	NA	0.50	0.78	NA
Fugas en instalaciones de GLP	NA	NA	NA	NA	NA	3.00	4.73	NA
HCNQ en la combustión de gas LP	NA	NA	NA	NA	NA	3.72	5.86	NA
Rellenos sanitarios	NA	NA	NA	0.01	NA	31.67	1.97	NE
Caminos pavimentados	11.08	NS	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Caminos sin pavimentar	47.16	20.69	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Productos de cuidado personal	NA	NA	NA	NA	NA	3.17	3.51	NA
Productos de consumo doméstico	NA	NA	NA	NA	NA	1.09	1.20	NA
Plaguicidas	NA	NA	NA	NA	NA	2.44	2.70	NA
Productos para el cuidado automotriz	NA	NA	NA	NA	NA	1.84	2.03	NA
Adhesivos y selladores	NA	NA	NA	NA	NA	0.79	0.88	NA
Otras fuentes de área	0.76	2.98	0.33	0.12	0.86	1.31	1.88	75.32
Fuentes móviles	16.06	51.81	49.31	98.97	82.37	20.62	31.35	23.78
Autos particulares	3.96	9.29	24.84	40.68	32.25	9.94	15.33	16.83
Taxis	0.75	1.75	4.80	12.13	11.16	1.65	2.43	3.26
Vagonetas y combis	0.20	0.56	1.30	7.28	3.12	0.88	1.28	0.61
Microbuses	0.21	0.55	1.52	6.77	5.81	1.65	2.38	1.17
Pick up	0.28	0.75	1.76	6.76	2.62	1.06	1.61	0.84
Vehículos de carga de hasta 3 toneladas	0.42	1.55	1.49	2.84	1.48	0.53	0.81	0.31
Tractocamiones	5.99	22.15	3.59	1.73	8.88	0.50	0.77	0.13
Autobuses	1.61	6.15	6.00	2.25	11.70	0.62	0.94	0.14
Vehículos de carga mayores a 3 toneladas	2.23	8.06	2.66	8.57	4.36	0.91	1.35	0.27
Motocicletas	0.37	0.96	1.31	9.94	0.88	2.88	4.43	0.20
Metrobuses	0.02	0.05	0.04	0.00	0.11	0.00	0.01	NS
Vegetación y suelos	3.00	2.69	NA	NA	0.55	3.76	6.02	NA
Vegetación	NA	NA	NA	NA	0.55	3.76	6.02	NA
Erosión eólica del suelo	3.00	2.69	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Total	100	100	100	100	100	100	100	100

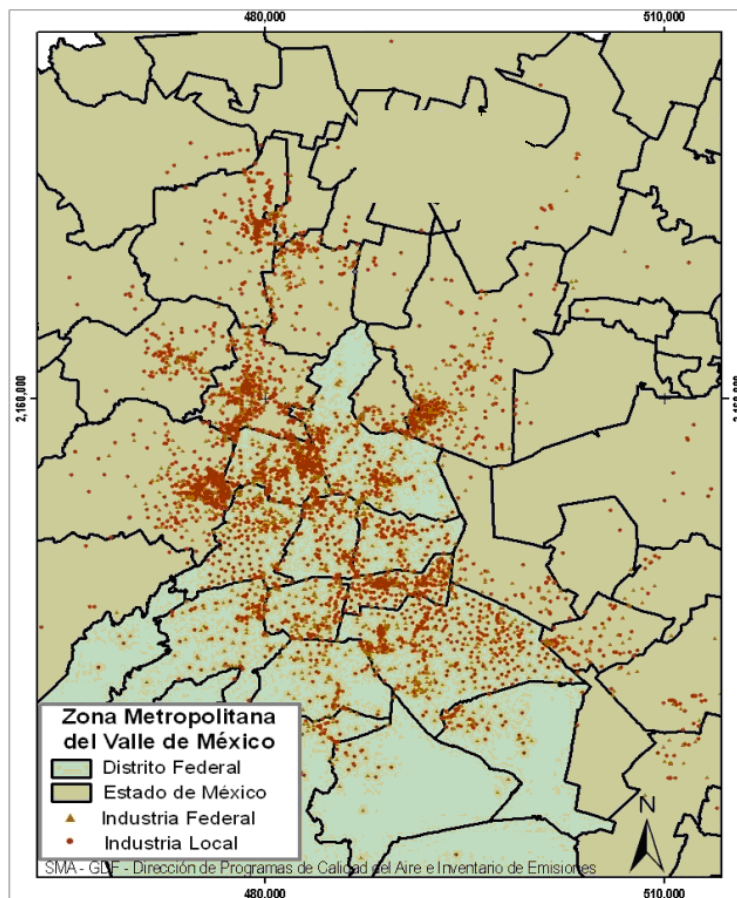
NA: No es aplicable; NS: No significativo; NE: No estimado; HCNQ: Hidrocarburos no quemados.

Fuente: Inventario de Emisiones de Contaminantes Criterio de la ZMVM-2008.

2.1.3 Fuentes puntuales de emisión de contaminantes criterio

Una fuente puntual es una fuente estacionaria, única y fácilmente identificable. Se define como toda instalación en la que se desarrollan procesos industriales, comerciales, de servicios o, en general, actividades que generen o puedan generar emisiones contaminantes a la atmósfera. En lo que se refiere a los establecimientos industriales, el Censo Económico 2004 realizado por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) registra más de 328 mil unidades económicas de manufactura a nivel nacional, de las cuales el 16% se encuentra ubicado en la ZMVM. En la ZMVM (Mapa 2.1.1) se tienen registradas 5,146 unidades industriales, consideradas como fuentes puntuales.

Mapa 2.1.1. Ubicación de la industria en la ZMVM



Fuente: Inventario de Emisiones de Contaminantes Criterio de la ZMVM-2008.

La distribución horaria de las emisiones se calculó con base en el número de horas de operación e inicio de labores de las empresas. Del análisis de estos datos se tiene que más del 93% de las empresas inician sus labores entre las 6:00 y 8:00 horas y trabajan 8 o más horas diarias. En la Tabla 2.1.6 aparece la distribución horaria de emisiones para cada contaminante, en la que se ha sombreado la franja horaria en la cual se generan las mayores emisiones.

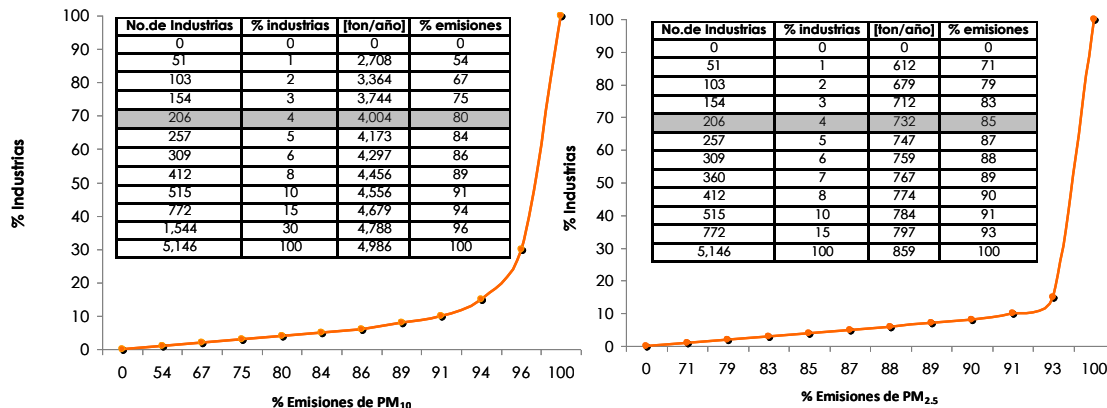
La Gráfica 2.1.1 muestra que el 4% del sector industrial (206 establecimientos industriales) contribuye con el 80% de las emisiones de PM₁₀ y con el 85% de PM_{2.5} de este sector, lo que indica que los esfuerzos para controlar la emisión de estos contaminantes deben dirigirse principalmente a esos establecimientos.

Tabla 2.1.6. Emisión horaria de contaminantes criterio por las fuentes puntuales en la ZMVM (ton/hr)

Emisiones [ton/hr]								
Hora	PM ₁₀	PM _{2.5}	SO ₂	CO	NO _x	COT	COV	NH ₃
00:00	0.36	0.08	0.21	0.65	1.96	7.59	7.19	0.02
01:00	0.36	0.08	0.21	0.64	1.96	7.56	7.16	0.02
02:00	0.35	0.08	0.20	0.63	1.96	7.36	6.97	0.02
03:00	0.35	0.08	0.20	0.63	1.95	7.36	6.97	0.02
04:00	0.32	0.08	0.20	0.60	1.90	6.77	6.40	0.02
05:00	0.32	0.08	0.20	0.60	1.88	6.71	6.35	0.02
06:00	0.29	0.07	0.17	0.59	1.84	5.94	5.60	0.02
07:00	0.70	0.11	0.44	0.93	2.64	17.62	16.98	0.02
08:00	1.07	0.14	0.66	1.12	3.09	35.14	34.04	0.03
09:00	1.14	0.14	0.69	1.16	3.16	36.09	34.96	0.03
10:00	1.16	0.15	0.70	1.19	3.23	36.85	35.70	0.03
11:00	1.16	0.15	0.70	1.22	3.23	36.85	35.70	0.03
12:00	1.16	0.15	0.70	1.22	3.23	36.85	35.70	0.03
13:00	1.16	0.15	0.70	1.22	3.23	36.85	35.70	0.03
14:00	1.15	0.15	0.70	1.22	3.22	36.67	35.52	0.03
15:00	0.91	0.13	0.66	1.06	2.90	30.37	29.35	0.03
16:00	0.76	0.12	0.63	0.95	2.48	14.72	14.07	0.02
17:00	0.65	0.11	0.62	0.91	2.40	12.89	12.31	0.02
18:00	0.57	0.11	0.59	0.90	2.35	12.25	11.71	0.02
19:00	0.54	0.10	0.59	0.88	2.32	10.94	10.40	0.02
20:00	0.49	0.10	0.59	0.87	2.32	10.85	10.32	0.02
21:00	0.48	0.10	0.58	0.86	2.31	10.68	10.16	0.02
22:00	0.47	0.10	0.55	0.80	2.17	9.90	9.39	0.02
23:00	0.40	0.08	0.27	0.76	2.05	8.93	8.47	0.02
Total	16.32	2.64	11.76	21.61	59.78	443.74	427.12	0.56

Fuente: Inventario de Emisiones de Contaminantes Criterio de la ZMVM-2008.

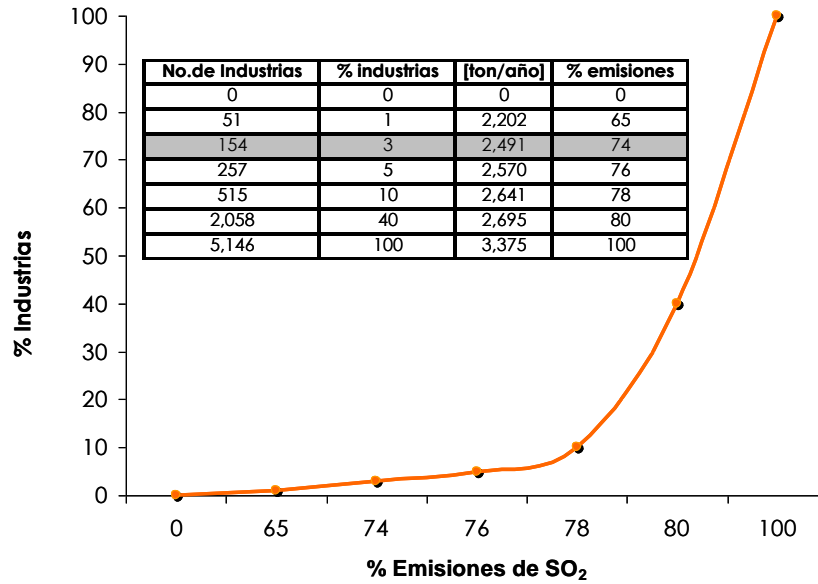
Gráfica 2.1.1. Empresas y su contribución a las emisiones de PM₁₀ y de PM_{2.5}



Fuente: Inventario de Emisiones de Contaminantes Criterio de la ZMVM-2008.

Del total de emisiones de SO₂ en las fuentes puntuales (Gráfica 2.1.2), se tiene que el 3% de la industria (154 establecimientos) contribuye con el 74%. Estos establecimientos usan combustibles líquidos como el diesel o el gasóleo.

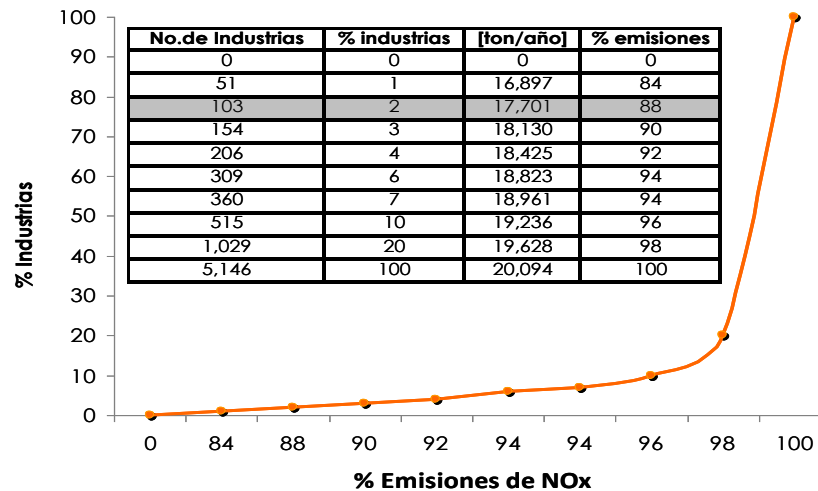
Gráfica 2.1.2. Porcentaje de empresas y su contribución a las emisiones de SO₂



Fuente: Inventario de Emisiones de Contaminantes Criterio de la ZMVM-2008.

En la Gráfica 2.1.3 se observa que el 2% de la industria contribuye con el 88% de las emisiones de NO_x. Esto indica que tan sólo 103 establecimientos consumen la mayor parte del combustible que se distribuye para el sector industrial en la ZMVM y que las plantas termoeléctricas se identifican como las fuentes más contaminantes y de mayor consumo energético.

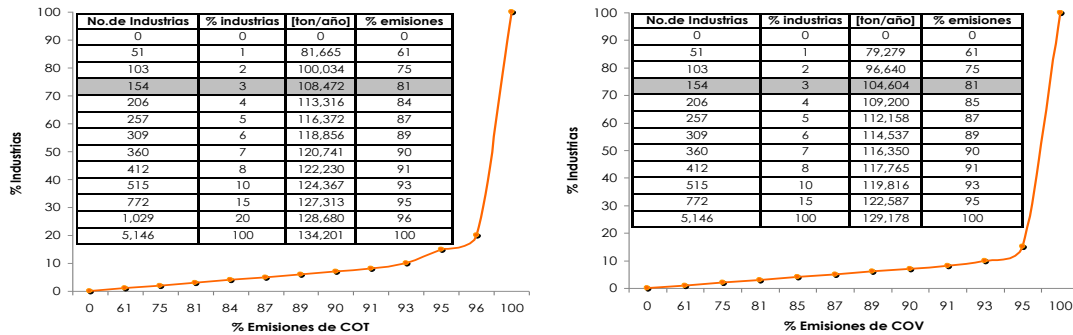
Gráfica 2.1.3. Porcentaje de empresas y su contribución a las emisiones de NO_x



Fuente: Inventario de Emisiones de Contaminantes Criterio de la ZMVM-2008.

El 3% de la industria registrada en la ZMVM (154 unidades industriales) contribuye con el 81% de las emisiones de COT y de COV. Esto se ilustra en la Gráfica 2.1.4.

Gráfica 2.1.4. Emisiones de COT y COV por giro industrial en la ZMVM

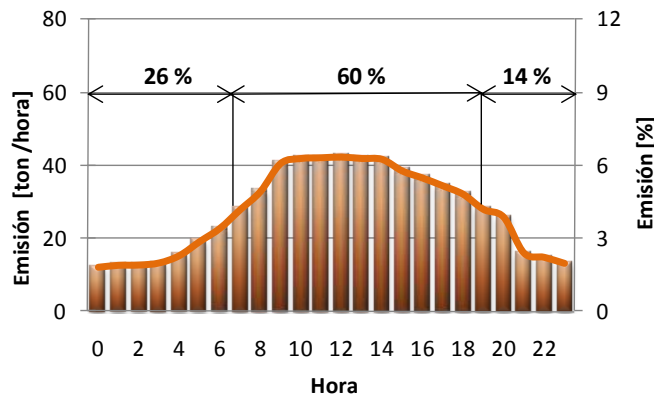


Fuente: Inventario de Emisiones de Contaminantes Criterio de la ZMVM-2008.

2.1.4 Emisión de contaminantes criterio por fuentes de área

Las fuentes de área son fuentes fijas que resultan demasiado numerosas y dispersas como para ser incluidas de manera individual en un inventario de fuentes puntuales. La intensidad con la que se generan las emisiones de las fuentes de área durante el día sigue un perfil como el que se muestra en la Gráfica 2.1.5 para el caso de los COV y depende de los horarios en los que la población realiza sus actividades cotidianas, como trasladarse al trabajo y/o a la escuela, el uso de la estufa para la cocción de alimentos, el calentamiento de agua para bañarse, la limpieza del hogar, la apertura de los puestos de alimentos en la vía pública y la operación de diversos servicios y comercios.

Gráfica 2.1.5. Perfil de emisión horaria de COV de las fuentes de área



Fuente: Inventario de Emisiones de Contaminantes Criterio de la ZMVM-2008.

Las fuentes de área son las principales generadoras de COT. En los últimos estudios realizados durante 2005 y 2006 en la atmósfera de la ZMVM por la campaña MILAGRO (INE-SEMARNAT, 2006), se monitorearon algunos COV, determinándose que los principales compuestos que se presentan por orden de abundancia, son las olefinas, los aromáticos y las parafinas, así como una pequeña mezcla de alquinos, compuestos halogenados y especies oxigenadas (Velasco *et al.* 2007).

Para contribuir al conocimiento de la variedad de compuestos orgánicos generados en la ZMVM, así como coadyuvar a diseñar medidas de mitigación de ozono, se realizó un análisis de especiación con base en las emisiones de COT, los cuales ascienden a 946,733 toneladas anuales; con base en dicha especiación se obtuvieron 532 compuestos.

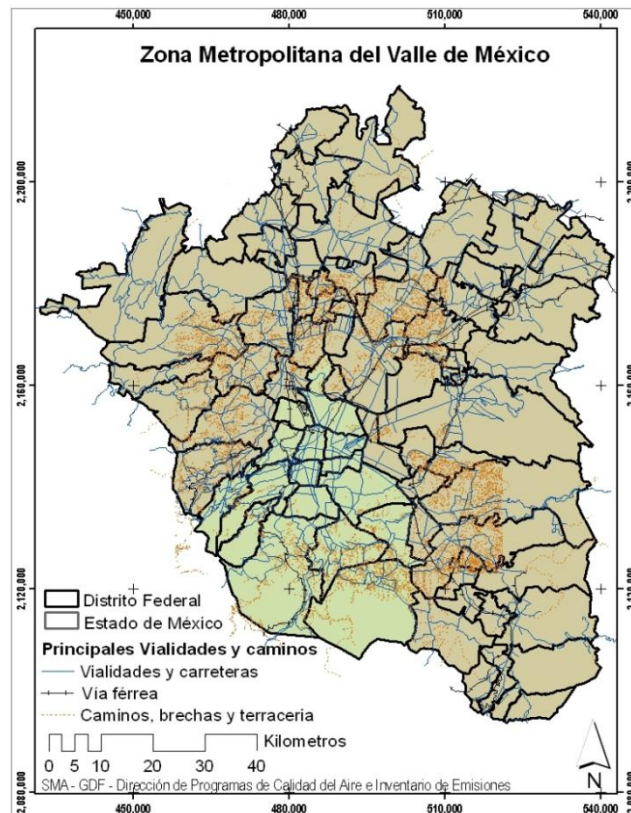
Tabla 2.1.7. Emisiones de COT por familia química

COT por familia	Emisión	
	[ton/año]	[%]
Parafinas	468,978	49.5
Hidrocarburos oxigenados	116,033	12.3
Aromáticos	104,865	11.1
Olefinas	78,180	8.3
Aldehídos	57,841	6.1
Hidrocarburos halogenados	30,832	3.3
Alquinos	8,648	0.9
Aminas	7,847	0.8
Otros	73,509	7.7
Total	946,733	100%

Fuente: Inventario de Emisiones de Contaminantes Criterio de la ZMVM-2008.

En la Tabla 2.1.7 se presentan las emisiones de las familias químicas identificadas y su abundancia, lo que coincide con los resultados de las campañas mencionadas.

Mapa 2.1.2. Principales avenidas y caminos de terracería, ZMVM



Fuente: Inventario de Emisiones de Contaminantes Criterio de la ZMVM-2008.

De las fuentes emisoras de partículas y de COT incluidas en las fuentes de área, la mayor parte de los contaminantes se generan debido a las vialidades no pavimentadas, por el uso de solventes y/o productos que los contienen, así como por las fugas de gas LP y del mismo gas que no se quema en los sistemas de combustión de estufas y calentadores de agua utilizados en las casas habitación.

Se estima que en la ZMVM, poco más del 50% de vialidades secundarias y caminos son de terracería. En estos caminos se desprenden grandes cantidades de polvo debido al tránsito vehicular por lo que si estas vías se pavimentaran, se estima que se dejarían de emitir alrededor de 11,459 toneladas de PM₁₀ y alrededor de 1,138 toneladas de PM_{2.5}.

2.1.5 Emisión de contaminantes criterio por fuentes móviles

La flota vehicular registrada en la ZMVM se estima en más de 4.5 millones de vehículos, de los cuales el 81% corresponde a autos particulares (Tabla 2.1.8).

Tabla 2.1.8. Flota vehicular registrada en la ZMVM, 2008

Tipo de vehículo	Vehículos	
	Número	%
Autos particulares	3'693,351	81.4
Taxis	156,627	3.5
Vagonetas y combis	29,863	0.7
Microbuses	34,096	0.8
Pick Up	118,441	2.6
Vehículos de carga hasta 3 ton	71,157	1.6
Tractocamiones	71,055	1.6
Autobuses	43,706	1.0
Vehículos de carga de más de 3 ton	80,589	1.8
Motocicletas	237,808	5.2
Metrobús	221	NS
Total	4'536,914	100%

NS: No Significativo.

Fuente: Inventario de Emisiones de Contaminantes Criterio de la ZMVM-2008.

El 95% de la flota vehicular de la ZMVM utiliza gasolina como combustible, el 4 por ciento son unidades a diesel, los vehículos restantes utilizan principalmente gas licuado de petróleo (GLP) y en menor cantidad gas natural comprimido (GNC), como se aprecia en la Tabla 2.1.9.

Debido a que a la flota vehicular de la ZMVM se le aplican restricciones de circulación con base en la edad y niveles de emisión, es importante analizarla por año modelo. Asimismo, este análisis permite diferenciar el potencial de emisiones por estrato vehicular y con ello proponer acciones para reducir las emisiones en forma específica.

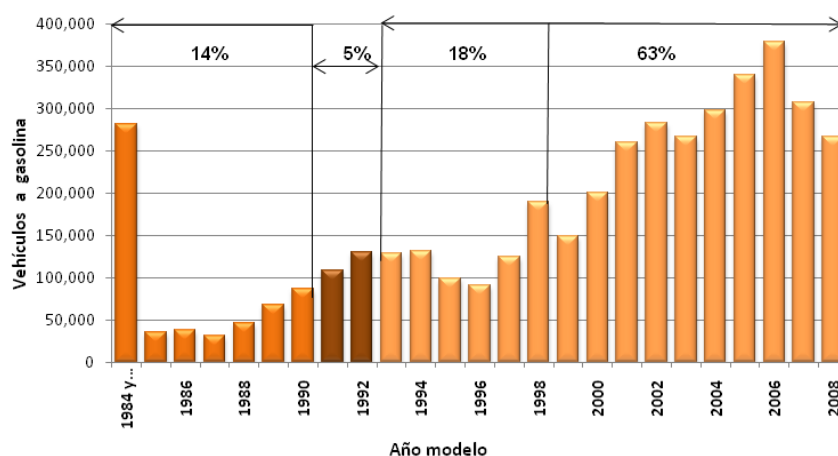
Tabla 2.1.9. Flota vehicular en circulación por tipo de combustible en la ZMVM

Tipo de vehículo	Número de vehículos				
	Gasolina	Diesel	GLP	GNC	Total
Autos particulares	3'684,015	6,728	2,578	30	3'693,351
Taxis	156,589	38	NA	NA	156,627
Vagonetas y combis	29,021	822	20	NA	29,863
Microbuses	15,774	240	17,800	282	34,096
Pick Up	115,763	1,660	1,018	NA	118,441
Vehículos de carga hasta 3 ton	40,769	26,093	4,287	8	71,157
Tractocamiones	NA	71,055	NA	NA	71,055
Autobuses	2,283	41,353	70	NA	43,706
Vehículos de carga de más de 3 ton	49,969	25,665	4,945	10	80,589
Motocicletas	237,808	NA	NA	NA	237,808
Metrobuses	NA	221	NA	NA	221
Total	4'331,991	173,875	30,718	330	4'536,914

NA: No es aplicable.

Fuente: Inventario de Emisiones de Contaminantes Criterio de la ZMVM-2008.

Gráfica 2.1.6. Flota vehicular a gasolina en la ZMVM por año-modelo y tecnología



Fuente: Inventario de Emisiones de Contaminantes Criterio de la ZMVM-2008.

De los vehículos a gasolina (4.3 millones), el 14% corresponde a modelos 1990 y anteriores, que no cuentan con sistemas de control de emisiones. Aproximadamente el 5% se refiere a modelos entre 1991-1992 que ya integran convertidores catalíticos de dos vías y permiten disminuir las emisiones de hidrocarburos y monóxido de carbono. Los vehículos que corresponden a modelos 1993 y posteriores (81% de la flota a gasolina) cuentan con convertidores catalíticos de tres vías y otros dispositivos anticontaminantes para reducir las emisiones de hidrocarburos, monóxido de carbono y óxidos de nitrógeno. A partir de 2001 se inicia la incorporación gradual de los sistemas de diagnóstico a bordo (OBD II) en los vehículos nuevos.

Tabla 2.1.10. Flota vehicular a gasolina en la ZMVM por tipo de tecnología de control

Año Modelo	Contaminante que controla	Nº de vehículos	%
1990 y ant.	Sin control	585,167	13.5
1991-1992	CO y COV	238,224	5.5
1993-1998	CO, COV, NO _x	762,992	17.6
1999-2008	CO, COV, NO _x	2'745,609	63.4
Total		4'331,991	100

Fuente: Inventario de Emisiones de Contaminantes Criterio de la ZMVM-2008.

Por lo que se refiere a las unidades a diesel, alrededor del 38% son unidades año modelo 1993 y anteriores (sin control de emisiones). Cerca del 62% son vehículos que ya traen mejoras tecnológicas para cumplir con los estándares de emisión (como los EPA 94 y EPA 98, respectivamente).

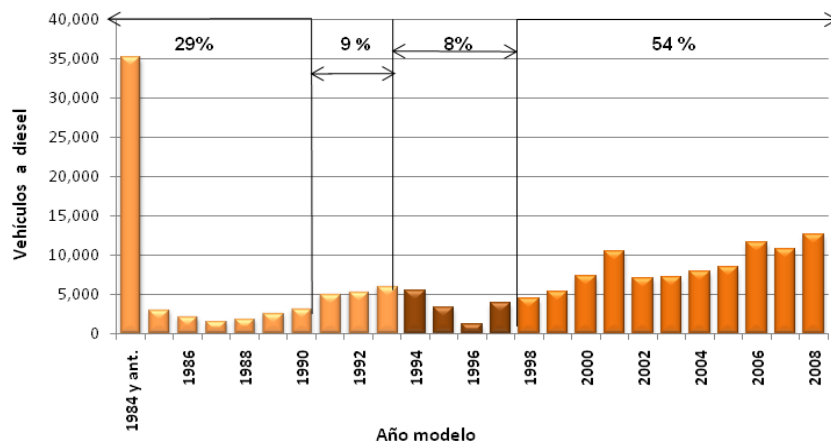
Tabla 2.1.11. Flota vehicular a diesel por año modelo en la ZMVM

Año Modelo	Nº de vehículos	%
1990 y anteriores	49,987	28.7
1991-1993	16,631	9.6
1994-1997	14,034	8.1
1998-2008	93,223	53.6
Total	173,875	100

Fuente: Inventario de Emisiones de Contaminantes Criterio de la ZMVM-2008.

Los cambios en la tecnología de motores a diesel han dado como resultado que los vehículos actuales tengan niveles de emisión más bajos, sin embargo se espera que los nuevos vehículos a diesel que se comercialicen en México cuenten con convertidores catalíticos y trampas de partículas, además de sistemas de tren de válvulas y tasa de compresión variable, lo cual permitirá una disminución importante de las emisiones contaminantes.

Gráfica 2.1.7. Vehículos a diesel por año modelo y tecnología en la ZMVM



Fuente: Inventario de Emisiones de Contaminantes Criterio de la ZMVM-2008.

En la ZMVM circulan 4.2 millones de vehículos destinados al transporte de personas. De éstos, el 88% son autos particulares, 6% motocicletas y 4% taxis. Dichos vehículos transportan de una a dos personas en promedio. El número de unidades de alta capacidad es bajo y sólo representa el 1% del total del parque vehicular.

Tabla 2.1.12. Vehículos destinados al transporte de personas, por tipo de tecnología en la ZMVM

Tipo de vehículo	Tecnología	Vehículos	
		Número	[%]
Autos particulares	Sin control de emisiones	488,679	11.5
	Convertidor catalítico de 2 y 3 vías	3'204,672	76.4
Taxis	Sin control de emisiones	2,621	0.1
	Convertidor catalítico de 2 y 3 vías	154,006	3.7
Vagonetas y combis	Sin control de emisiones	5,624	0.1
	Convertidor catalítico de 2 y 3 vías	24,239	0.6
Microbuses	Sin control de emisiones	7,464	0.2
	Convertidor catalítico de 2 y 3 vías	26,632	0.6
Autobuses	Aspiración natural (año/modelo 93 y anteriores)	12,395	0.3
	Adecuaciones mecánicas para cumplir estándares de emisión EPA 94	3,999	0.1
	Adecuaciones mecánicas para cumplir estándares de emisión EPA 98	27,312	0.7
Motocicletas	Sin control de emisiones	237,808	5.7
Metrobuses	Adecuaciones mecánicas para cumplir estándares de emisión EURO II, III, IV	221	0.005
Total		4'195,672	100%

Fuente: Inventario de Emisiones de Contaminantes Criterio de la ZMVM-2008.

La flota vehicular de transporte de carga registrada en la ZMVM representa el 7% del total de vehículos, con aproximadamente 341 mil unidades. De estos vehículos, aproximadamente el 61% utiliza gasolina como combustible, el 36% diesel y el 3% gas LP. Se estima que el costo del transporte de mercancías en áreas urbanas corresponde aproximadamente al 5% del PIB y que es comparable con el costo del transporte urbano de personas (UNAM-CAM, 2006).

Tabla 2.1.13. Flota vehicular de carga por tipo de combustible en la ZMVM

Tipo de Vehículo (jurisdicción)	Número de vehículos				
	Gasolina	Diesel	GLP	GNC	Total
Camionetas Pick Up (local)	115,763	1,660	1,018	0	118,441
Vehículos de hasta de 3 ton (local)	40,769	26,093	4,287	8	71,157
Tractocamiones (locales)	0	2,568	0	0	2,568
Tractocamiones (federales)	0	68,487	0	0	68,487
Vehículos con más de 3 ton (locales)	36,565	12,828	4,945	10	54,348
Vehículos con más de 3 ton (federales)	13,404	12,837	0	0	26,241
Total	206,501	124,473	10,250	18	341,242
	61%	36%	3%	NS	100%

NS: No significativo.

Fuente: Inventario de Emisiones de Contaminantes Criterio de la ZMVM-2008.

En la Tabla 2.1.14 se presenta la flota vehicular del transporte de carga a gasolina por estrato tecnológico.

Tabla 2.1.14. Flota vehicular de carga a gasolina por año-modelo en la ZMVM

Año-modelo	Número de vehículos	%
1990 y ant.	60,974	29.5
1991-1992	20,708	10.0
1993-1998	48,467	23.5
1999-2008	76,352	37.0
Total	206,501	100

Fuente: Inventario de Emisiones de Contaminantes Criterio de la ZMVM-2008.

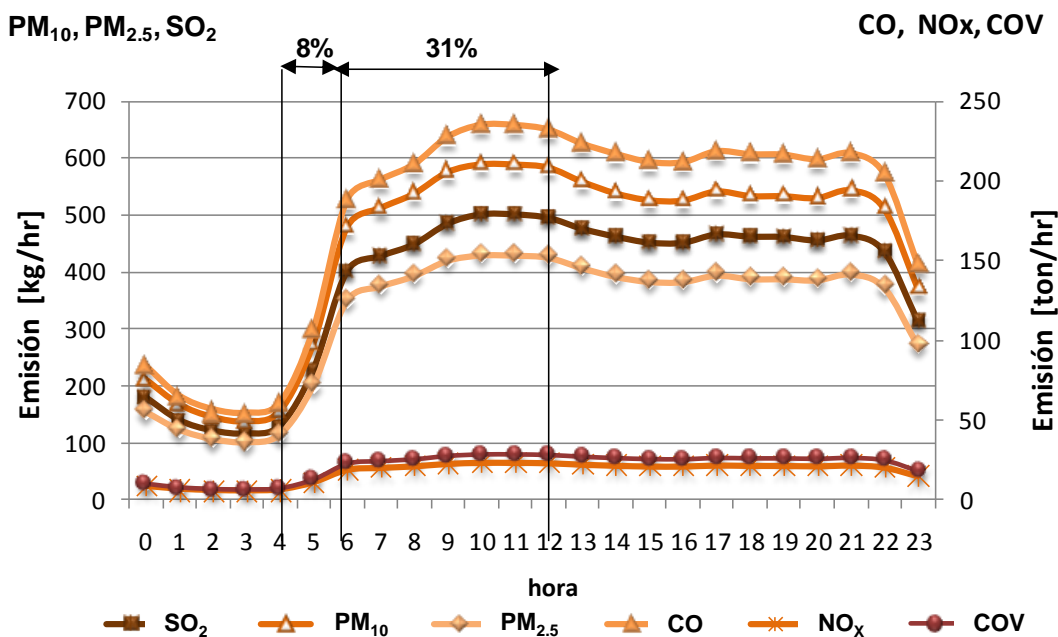
A diferencia de los vehículos a gasolina, que desde el año modelo 1991 tienen incorporado el convertidor catalítico como dispositivo de control de emisiones, los que utilizan diesel no cuentan con este tipo de tecnología. La reducción de emisiones de los vehículos a diesel sólo es debida al avance en las adecuaciones mecánicas de los motores, que si bien les ha permitido reducir sus emisiones, sigue siendo necesario equiparlos con nuevos dispositivos de control. En la ZMVM, aun cuando más de la mitad de los vehículos de carga a diesel ya no son de aspiración natural, éstos sólo cuentan con las adecuaciones mecánicas que les permiten cumplir las normas de emisión EPA 94, EPA 98 y EPA 2004, a pesar de que en el mercado internacional existen normas más estrictas, como las EPA 2007 y EURO IV y V, e incluso, se pretende aplicar las normas EPA 2010 y EURO VI.

En el caso de los vehículos que deben pasar por el programa de verificación, el número de kilómetros recorridos también depende del tipo de holograma que porten (doble cero, cero o dos). Los vehículos con holograma 2 dejan de circular un día a la semana y un sábado de cada mes, lo cual significa un máximo de 301 días en circulación al año y los vehículos con hologramas cero y doble cero circulan los 365 días del año. Los kilómetros recorridos por vehículo (kry) utilizados para estimar el inventario de emisiones son valores promedio tomados de varias fuentes¹ y surgen de la aplicación de encuestas y observaciones directas.

Se estima que son alrededor de 53 mil millones de kilómetros anuales los recorridos por los autos particulares, para los cuales los hologramas DOBLE CERO y CERO contribuyen con el 63% (años modelo 2001 y posteriores). Los vehículos con holograma DOS son los que tienen más de 8 años de antigüedad y contribuyen con el 37% restante.

¹ Lents (2005), Actividad y emisiones vehiculares en la Zona Metropolitana del Valle de México; COMETRAVI (1997), Definición de políticas de modernización, inspección, sustitución, eliminación definitiva, adaptación de vehículos y combustibles alternos; SCT, Dirección General del Autotransporte Federal; Red de Transporte de Pasajeros del Distrito Federal (2005); Instituto de Ingeniería, UNAM-Comisión Ambiental Metropolitana (2006); Metrobús (2009), Informe de actividades enero-noviembre 2008.

Gráfica 2.1.8. Perfil horario de las emisiones de fuentes móviles en la ZMVM



Fuente: Inventario de Emisiones de Contaminantes Criterio de la ZMVM-2008.

De 4.3 millones de vehículos a gasolina, el 14% no cuenta con sistemas de control de emisiones (años modelo 1990 y anteriores) y contribuyen con el 38% de los COV y el 16% de NO_x. Sin embargo, el 5% de los vehículos (años modelo 1991-1992) ya presentan algunos sistemas de control de emisiones, como son el encendido electrónico y el convertidor catalítico de dos vías. Estos vehículos generan el 10% de los COV y el 10% de los NO_x de las fuentes móviles.

Tabla 2.1.15. Contribución de emisiones por pasajero transportado y tipo de tecnología en la ZMVM

Tipo de vehículo	Tecnología	Emisiones [mg/km-pasajero]			
		PM ₁₀	PM _{2.5}	NO _x	COV
Autos particulares	Sin control de emisiones	20	11	1,149	4,399
	Convertidor catalítico de 2 y 3 vías	12	6	740	805
Taxis	Sin control de emisiones	27	14	3,852	4,685
	Convertidor catalítico de 2 y 3 vías	17	9	1,927	1,323
Vagonetas y combis	Sin control de emisiones	3	2	360	816
	Convertidor catalítico de 2 y 3 vías	2	1	197	204
Microbuses	Sin control de emisiones	3	3	154	416
	Convertidor catalítico de 2 y 3 vías	2	2	126	113
Autobuses	Aspiración natural (año/modelo 93 y anteriores)	17	16	316	79
	Adecuaciones mecánicas para cumplir estándares de emisión EPA 94	5	4	258	59
	Adecuaciones mecánicas para cumplir estándares de emisión EPA 98	5	4	207	59
Motocicletas	Sin control de emisiones	15	9	280	4,460
Metrobuses	Adecuaciones mecánicas para cumplir estándares de emisión EURO II, III, IV	2	1	87	16

Fuente: Inventario de Emisiones de contaminantes Criterio de la ZMVM-2008.

Por último, los vehículos correspondientes a los años modelo 1993 y posteriores (81% de la flota), aportan el 52% de los COV y el 74% de los NO_x. Estos automóviles se consideran los menos contaminantes debido a que están equipados con sistemas avanzados de control de emisiones, tales como el convertidor catalítico de tres vías, canister para controlar las emisiones evaporativas, computadoras a bordo y sensores de oxígeno.

En cuanto a la contribución de emisiones de partículas y de precursores de ozono por pasajero transportado, los resultados se presentan en la Tabla 2.1.15.

2.2 Emisiones de gases de efecto invernadero (GEI)

De acuerdo con la Cuarta Comunicación Nacional, presentada por México ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático y el Inventario Nacional de Emisiones 1990-2006, en el año 2006 nuestro país emitió 711.6 millones de toneladas equivalentes de dióxido de carbono (ton eq. CO₂), ubicándose en el lugar 12 entre los países con mayores emisiones a nivel mundial (SEMARNAT-INE, 2009). Con el dato anterior y considerando el inventario 2008, se estima que la ZMVM aporta el 7.6% de las emisiones nacionales de GEI, con aproximadamente 54 millones de toneladas equivalentes de CO₂.

Desagregando las emisiones se tienen 46.4 millones de toneladas de CO₂, 291 mil toneladas de metano (CH₄) y 1,519 toneladas de óxido nitroso (N₂O), generadas básicamente por el consumo de energéticos (gasolinas, diesel, gas natural, gas licuado de petróleo y carbón), así como por la descomposición de la basura en los rellenos sanitarios. Estos resultados se presentan en la Tabla 2.2.1.

Tabla 2.2.1. Emisiones totales de GEI, ZMVM-2008

Sector	Emisiones de GEI [ton /año]		
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Industrial	17'434,665	451	72
Comercial-servicios	1'096,550	24	2
Habitacional	4'686,980	141	7
Transporte carretero	22'290,505	3,080	1,411
Otras fuentes*	889,249	287,501	27
Total	46'397,949	291,197	1,519

*Incluye operación de aeronaves, locomotoras (foráneas/patio), terminales de autobuses, distribución y almacenamiento de gas LP, fugas en instalaciones de GLP, hidrocarburos no quemados (HCNQ) en la combustión de gas LP, incendios forestales y rellenos sanitarios.

Fuente: Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero de la ZMVM-2008.

Utilizando los potenciales de calentamiento global de cada uno de los gases inventariados (CO₂=1, CH₄=25 y N₂O=298), se obtuvieron las emisiones en unidades equivalentes de CO₂ (Tablas 2.2.2 y 2.2.3).

Tabla 2.2.2. Emisiones totales de GEI expresadas en unidades de CO₂ equivalente, ZMVM-2008

Sector	Emisiones de GEI [ton eq. CO ₂ /año]			
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	Total
Industrial	17'434,665	11,275	21,456	17'467,396
Comercial-Servicios	1'096,550	608	596	1'097,754
Habitacional	4'686,980	3,525	2,086	4'692,591
Transporte carretero	22'290,505	77,000	420,478	22'787,983
Otras fuentes*	889,249	7'187,513	8,046	8'084,808
Total	46'397,949	7'279,921	452,662	54'130,532

*Incluye operación de aeronaves, locomotoras (foráneas/ patio), terminales de autobuses, distribución y almacenamiento de gas LP, incendios forestales y rellenos sanitarios.

Fuente: Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero de la ZMVM-2008.

Desagregando las emisiones por tipo de fuente (Tabla 2.2.3), se tiene que el 48% de los gases de efecto invernadero es generado por tres fuentes: los autos particulares con una emisión de 11.9 millones de toneladas equivalentes de CO₂, lo que representa el 23% de las emisiones de la ZMVM; los rellenos sanitarios con casi 8 millones, es decir el 16% del total; y la combustión en el sector habitacional que aporta 4.7 millones, es decir el 9% de las emisiones equivalentes de CO₂. También son muy significativas las emisiones de la industria de productos metálicos, maquinaria y equipo y la generación de energía eléctrica.

Tabla 2.2.3. Emisiones de GEI desagregadas por sector, ZMVM-2008

Sector	Emisiones equivalentes de CO ₂ [ton /año]			
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	Total
Industrial	14'805,764	8,775	15,794	14'830,333
Productos alimenticios, bebidas y tabaco	1'222,367	600	894	1'223,861
Textiles, prendas de vestir e industria del cuero	378,317	250	298	378,865
Industria de la madera y productos de madera	28,588	25	NA	28,613
Papel y productos de papel, imprenta y editoriales	1'191,671	600	894	1'193,165
Sustancias químicas, productos derivados del petróleo y del carbón, de hule y de plástico	1'747,577	1,300	2,682	1'751,559
Productos minerales no metálicos. Excluye los derivados del petróleo y del carbón	2'522,018	575	894	2'523,487
Industrias metálicas básicas	351,575	150	298	352,023
Productos metálicos, maquinaria y equipo. Incluye instrumentos quirúrgicos y de precisión	3'758,283	3,525	8,046	3'769,854
Otras industrias manufactureras	51,804	25	NS	51,829
Generación de energía eléctrica	3'553,564	1,600	1,788	3'556,952
Fugas en instalaciones a GLP	NA	NS	NA	NS
HCNQ en la combustión de GLP	NA	125	NA	125
Comercial-institucional	1'096,550	608	596	1'097,754
Combustión comercial-institucional	1'096,550	425	596	1'097,571
Fugas en instalaciones a GLP	NA	8	NA	8
HCNQ en la combustión de GLP	NA	175	NA	175
Habitacional	4'686,980	3,525	2,086	4'692,591
Combustión habitacional	4'686,980	1,875	2,086	4'690,941
Fugas en instalaciones a GLP	NA	850	NA	850
HCNQ en la combustión de GLP	NA	800	NA	800
Transporte carretero	22'290,505	77,000	420,478	22'787,983
Autos particulares	11'552,488	47,350	271,478	11'871,316
Taxis	2'191,517	7,125	56,322	2'254,964
Combis	535,185	2,800	18,774	556,759
Microbuses	1'626,482	3,300	10,728	1'640,510
Pick up	762,710	4,225	24,734	791,669
Vehículos de menos de 3 ton	563,260	1,475	7,152	571,887
Tractocamiones	1'337,160	150	1,490	1'338,800
Autobuses	2'261,578	475	2,682	2'264,735
Vehículos de más de 3 ton	1'061,440	4,025	21,754	1'087,219
Motocicletas	380,453	6,075	5,364	391,892
Metrobuses	18,232	NS	NS	18,232
Otras fuentes	889,249	7'187,513	8,046	8'084,808
Operación de aeronaves	7,853	25	NS	7,878
Locomotoras (foráneas/ patio)	70,865	100	8,046	79,011
Terminales de autobuses	3,319	13	NS	3,332
Distribución y almacenamiento de GLP	NA	150	NA	150
Incendios forestales	18,555	1,300	NA	19,855
Rellenos sanitarios	788,657	7,185,925	NA	7'974,582
Total	43'769,048	7'277,421	447,000	51'493,469

HCNQ: Hidrocarburos no quemados; NA: No es aplicable; NS: No Significativo

Fuente: Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero de la ZMVM-2008.

A nivel preliminar para la ZMVM también se estimaron para el 2008 las emisiones de carbono negro que se muestran en la Tabla 2.2.4, en la que se puede observar que los máximos emisores son los tractocamiones, los autobuses y los vehículos de carga de más de tres toneladas.

Tabla 2.2.4. Emisiones de Carbono Negro en la ZMVM, 2008

Sector	[ton/año]
Industrial	54
Productos alimenticios, bebidas y tabaco	5
Textiles, prendas de vestir e industria del cuero	2
Industria de la madera y productos de madera	NS
Papel y productos de papel, imprenta y editoriales	6
Sustancias químicas, productos derivados del petróleo y del carbón, de hule y de plástico	6
Productos minerales no metálicos. excluye los derivados del petróleo y del carbón	17
Industrias metálicas básicas	2
Productos metálicos, maquinaria y equipo. Incluye instrumentos quirúrgicos y de precisión	3
Otras industrias manufactureras	NS
Generación de energía eléctrica	13
Fugas en instalaciones a GLP	NA
HCNQ en la combustión de GLP	NA
Comercial-institucional	4
Combustión comercial-institucional	4
Fugas en instalaciones a GLP	NA
HCNQ en la combustión de GLP	NA
Residencial o habitacional	18
Combustión habitacional	18
Fugas en instalaciones a GLP	NA
HCNQ en la combustión de GLP	NA
Transporte carretero	1,510
Autos particulares	144
Taxis	26
Vagonetas y Combis	8
Microbuses	5
Pick up	11
Vehículos de carga de hasta 3 toneladas	45
Tractocamiones	732
Autobuses	276
Vehículos de carga de más de 3 toneladas	247
Motocicletas	14
Metrobuses	2
Otras fuentes	85
Operación de aeronaves	18
Locomotoras (foráneas/ patio)	15
Terminales de autobuses	1
Distribución y almacenamiento de GLP	NA
Incendios forestales	7
Incendios en estructuras	9
Caminos sin pavimentar	19
Erosión eólica	16
Rellenos sanitarios	NA
Total	1,671

NA: No es aplicable; NS: No Significativo

Fuente: Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero y carbono negro de la ZMVM-2008.

2.3 Emisiones de contaminantes tóxicos

Aunque algunos provienen de fuentes naturales como incendios forestales y erupciones volcánicas, la mayor parte de los contaminantes tóxicos se originan en actividades desarrolladas por el ser humano. Algunos de dichos contaminantes son compuestos orgánicos gaseosos como el benceno, el tolueno, los isómeros de xileno y el etilbenceno. Otros agentes tóxicos son inorgánicos, gaseosos como el amoniaco y el cloro, o sólidos como el asbesto, los compuestos de níquel, el plomo, el cromo y el cadmio, estos últimos contenidos en las partículas y líquidos, como el mercurio elemental.

De forma similar a los contaminantes criterio, las fuentes de emisión de los agentes tóxicos se categorizan en fuentes estacionarias (puntuales y de área); fuentes móviles (automóviles, autobuses y camiones) y fuentes naturales (volcanes e incendios forestales).

En 1991 se iniciaron en México las primeras mediciones de compuestos orgánicos volátiles (COV), las cuales fueron realizadas por el Instituto Nacional de Ecología y la Agencia de Protección al Ambiente de los Estados Unidos. A partir del siguiente año el Instituto Mexicano del Petróleo en colaboración con otras instituciones realizó diversas campañas de muestreo de forma consistente entre los años 1992 al 2001².

Por su incidencia en la salud humana algunos de los COV se denominan tóxicos³. La presencia de los COV en la atmósfera de los grandes centros urbanos también es relevante ante los efectos en la salud humana que se les han asociado, como es el caso del riesgo tóxico, mutagénico y cancerígeno que representan especies como el benceno (OMS, 2000).

Los datos obtenidos de estudios de evaluación de las concentraciones de COV en la Zona Metropolitana del Valle de México, muestran la presencia de varias especies tóxicas, entre las que destacan los aromáticos como el tolueno, xileno y el benceno².

La Tabla 2.3.1 muestra la generación de contaminantes tóxicos por tipo de fuente. Sólo se presentan los contaminantes con mayor contribución de emisiones, los cuales representan el 82% de las mismas y el 18% restante se agrupa en la categoría de "otros" y de "metales".

Se observa que la mayor parte de las emisiones de tolueno proviene de fuentes de área (del recubrimiento de superficies arquitectónicas y de su uso como solvente para limpieza y desengrase, así como diluyente de pinturas y lacas). De las fuentes móviles, los autos particulares aportan un 48% debido a que el tolueno es un componente de la gasolina. En las fuentes puntuales, la industria de productos metálicos y la de sustancias químicas aportan la mayor cantidad de este contaminante.

² Informe Final del Estudio Monitoreo y Evaluación de las Concentraciones de Compuestos Orgánicos Volátiles en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, Dirección General del Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental, Noviembre del 2006.

³ Informe Técnico de Monitoreo y Evaluación de las Concentraciones de Compuestos Orgánicos Volátiles en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, SMA-GDF, INE-DGCENICA y UAMI, Febrero 2008.

En la industria de productos metálicos el tolueno se genera durante los procesos de aplicación de recubrimientos, así como en actividades de limpieza y desengrase, mientras que en la industria química el tolueno es utilizado como materia prima en la fabricación de pinturas, barnices, tintas, solventes industriales y adhesivos.

Tabla 2.3.1. Emisiones de contaminantes tóxicos del aire por fuente en la ZMVM [ton/año]

Contaminante	Puntuales	Área	Móviles	Vegetación y suelos	Total	%
Tolueno	9,628	19,659	16,091	NA	45,378	24.8
Isómeros de xileno	1,396	13,789	9,028	NA	24,213	13.2
Metanol	2,068	6,024	NE	6,267	14,359	7.8
1,1,1-Tricloroetano	NS	8,823	NE	NA	8,823	4.8
Metil etil cetona	6,138	1,248	NE	NA	7,386	4.0
N-hexano	842	5,225	1,282	NA	7,349	4.0
Benceno	109	804	5,649	NA	6,562	3.6
2,2,4-Trimetilpentano	4	652	5,601	NA	6,257	3.4
1,1,2,2-Tetracloroetileno	2	6,090	NA	NA	6,092	3.3
Metil t-butil éter	NS	965	4,706	NA	5,671	3.1
Triclorotrifluorometano	11	4,202	NA	NA	4,213	2.3
Etilbenceno	39	1,650	2,420	NA	4,109	2.2
Tricloroetileno	NS	4,062	NE	NA	4,062	2.2
Formaldehído	199	339	2,751	246	3,535	1.9
Metil isobutil cetona	1,171	2,096	NE	NA	3,267	1.8
Otros	2,153	26,239	2,502	633	31,527	17.2
Metales	236	46	NS	1	283	0.2
Total	23,996	101,913	50,030	7,147	183,086	100.0%

NS: No Significativo; NE: No Estimado; NA: No es aplicable.

Fuente: Inventario de Emisiones de Contaminantes Tóxicos de la ZMVM-2008.

Las fuentes de área son responsables de la mayor parte de las emisiones de casi todos los contaminantes tóxicos, excepto en el caso de algunos hidrocarburos aromáticos que por lo común son generados por fuentes móviles (como el benceno, el etilbenceno y los xilenos). Las emisiones de xilenos (isómeros y mezclas) contribuyen con el 10% de total de contaminantes tóxicos en la ZMVM.

En lo que respecta al metanol, las fuentes biogénicas son responsables del 44% de la emisión en la ZMVM, el cual es liberado de manera natural por la vegetación. Las fuentes de área contribuyen con el 42% de la emisión total de metanol, generado principalmente por el uso de productos para el cuidado y mantenimiento automotriz.

Las fuentes de área son responsables de las mayores emisiones de compuestos orgánicos, en particular, del total de tricloroetileno y del 1,1,1 tricloroetano, que son utilizados principalmente para desengrase y limpieza de superficies industriales. Por otra parte, estas fuentes también presentan una contribución importante de emisiones de isómeros de xileno, contaminante que resulta de la degradación de la materia orgánica en los rellenos sanitarios.

En general, las fuentes móviles generan el 90% del 2,2,4 trimetilpentano, 86% del benceno y 83% del metilterbutil éter. Asimismo, son una importante fuente de formaldehído (78%) como resultado de la quema de combustibles fósiles.

La gasolina contiene una gran cantidad de compuestos tóxicos, cuyo riesgo a la salud humana está asociado a la inhalación de las emisiones del escape de los vehículos y de la gasolina evaporada, incluyendo las del llenado del tanque del vehículo. Las fuentes móviles son responsables del 83% de las emisiones de MTBE, el cual posee alta volatilidad y se agrega a la gasolina como un aditivo (U.S. EPA, 1993). A pesar de que no se ha determinado a ciencia cierta la toxicidad del MTBE se sabe que sus metabolitos y algunos otros productos de su degradación son realmente tóxicos.

De acuerdo con los datos del inventario de emisiones, el 2% de las partículas PM₁₀ corresponde a metales tóxicos generados por los caminos no pavimentados y por suelos sin vegetación.

A continuación se presenta un desglose de los metales tóxicos estimados (Tabla 2.3.2). Éstos contribuyen tan sólo con el 0.15 % del total de contaminantes tóxicos en la ZMVM. El manganeso es el que se emite en mayor proporción, con 117 toneladas al año lo que representa el 41% del total de los metales tóxicos.

Tabla 2.3.2. Metales tóxicos emitidos en la ZMVM

Contaminante		[ton/año]	%
Mn	Manganeso	117	41.3
Sb	Antimonio	56	19.8
Cr	Cromo	28	9.9
P	Fósforo	25	8.8
Pb	Plomo	23	8.1
As	Arsénico inorgánico	19	6.7
Ni	Níquel	10	3.5
OT	Otros	5	1.9
Total		283	100%

Fuente: Inventario de Emisiones de Contaminantes Tóxicos de la ZMVM-2008.

Los metales tóxicos estimados en el inventario también se han encontrado en otros estudios, como el realizado por el CENICA para conocer la frecuencia de los elementos químicos en las partículas. En dicho análisis se observó la presencia de manganeso, cromo y plomo, entre los principales (INE, 2002).

Además de tomar en cuenta la cantidad de contaminantes tóxicos que se emite, es importante tomar en cuenta la reactividad de éstos. En la Gráfica 2.3.1 podemos observar que de los compuestos tóxicos inventariados, el tricloro fluoro metano, el formaldehído y los isómeros de xileno, tienen un mayor potencial en la formación del ozono (Reactividad Máxima Incremental "MIR"⁴).

La reactividad que presentan los diferentes compuestos químicos pueden cambiar la importancia de contribución en la formación del ozono, por ejemplo aunque las

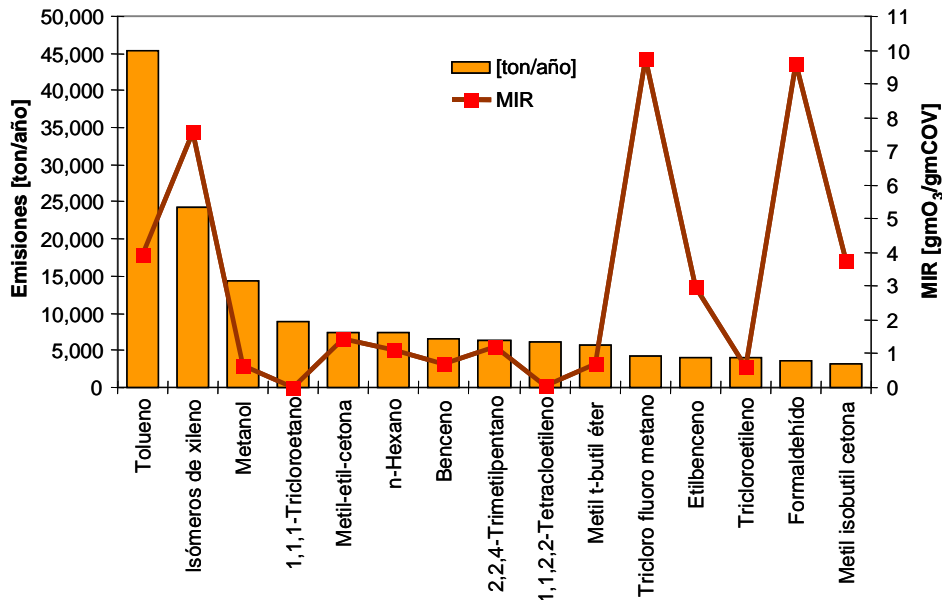
⁴ La MIR es la Reactividad Máxima Incremental, que indica la cantidad másica de ozono asociada al compuesto químico, [gm O₃ / gm COV].

emisiones de tolueno son casi el doble que las emisiones de isómeros de xileno, debido a que su índice de reactividad atmosférica es más bajo, las emisiones de los isómeros de xileno (meta-xileno, orto-xileno y para-xileno), representan un potencial mayor en la formación del ozono.

El formaldehído, a diferencia de otros contaminantes provenientes de las fuentes móviles (los cuales son producto de la combustión incompleta y de la evaporación del combustible) se forma también mediante procesos secundarios cuando otros contaminantes experimentan reacciones químicas en la atmósfera (U.S. EPA, 2007d).

Los contaminantes tóxicos no se emiten de manera uniforme a través del día, puesto que cada fuente emisora tiene un horario en el que desarrolla sus principales actividades, como se aprecia en la Gráfica 2.3.2.

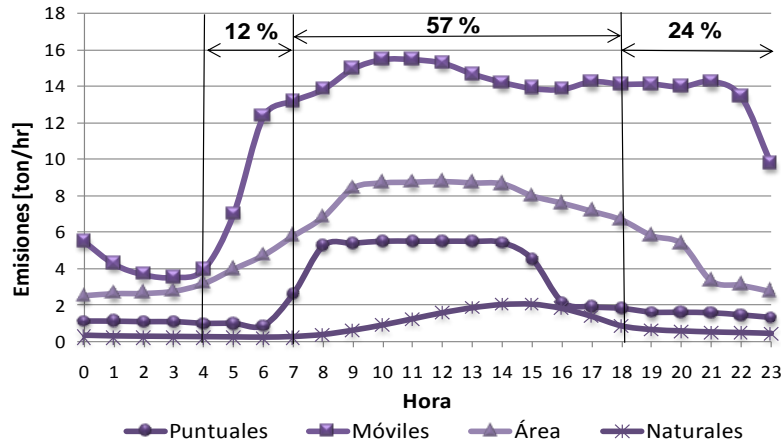
Gráfica 2.3.1. Emisiones de contaminantes tóxicos y su MIR en la ZMVM



Fuente: Elaborada con base en el Inventario de Emisiones de Contaminantes tóxicos de la ZMVM-2008; y SAPRC Atmospheric Chemical Mechanisms and VOC/ Reactivity Scales Air Pollution Research Center and College of Engineering Center for Environmental Research and Technology University of California/ W. P. L. Carter, August 31, 2007.

Los contaminantes tóxicos difieren entre cada temporada climática (Tabla 2.3.3). Esta diferencia se debe básicamente a la variación en las condiciones meteorológicas de la zona (precipitación, temperatura y radiación solar) así como a la calidad y cantidad de los combustibles que se consumen en cada temporada. Las emisiones promedio por día muestran una variación de aproximadamente 1% entre temporadas climáticas.

Gráfica 2.3.2. Emisión diaria de contaminantes tóxicos por tipo de fuente en la ZMVM



Fuente: Inventario de Emisiones de Contaminantes Tóxicos de la ZMVM-2008.

Tabla 2.3.3. Emisión de contaminantes tóxicos por temporada en la ZMVM (ton/día)

Contaminante	Seca fría	Seca caliente	Lluvias
Tolueno	123.7	125.0	124.5
Isómeros de xileno	66.0	66.7	66.4
Metanol	39.1	39.6	39.4
1,1,1-Tricloroetano	24.0	24.3	24.2
Metil etil cetona	20.1	20.3	20.3
N-hexano	20.0	20.2	20.2
Benceno	17.9	18.1	18.0
2,2,4-Trimetilpentano	17.1	17.2	17.2
1,1,2,2-Tetracloroetileno	16.6	16.8	16.7
Metil t-butil éter	15.5	15.6	15.6
Triclorotrifluorometano	11.5	11.6	11.6
Etilbenceno	11.2	11.3	11.3
Tricloroetileno	11.1	11.2	11.1
Formaldehído	9.6	9.7	9.7
Metil isobutil cetona	8.9	9.0	9.0
Otros	85.6	86.6	86.2
Metales	1.1	1.1	1.1
Total	499	504	502

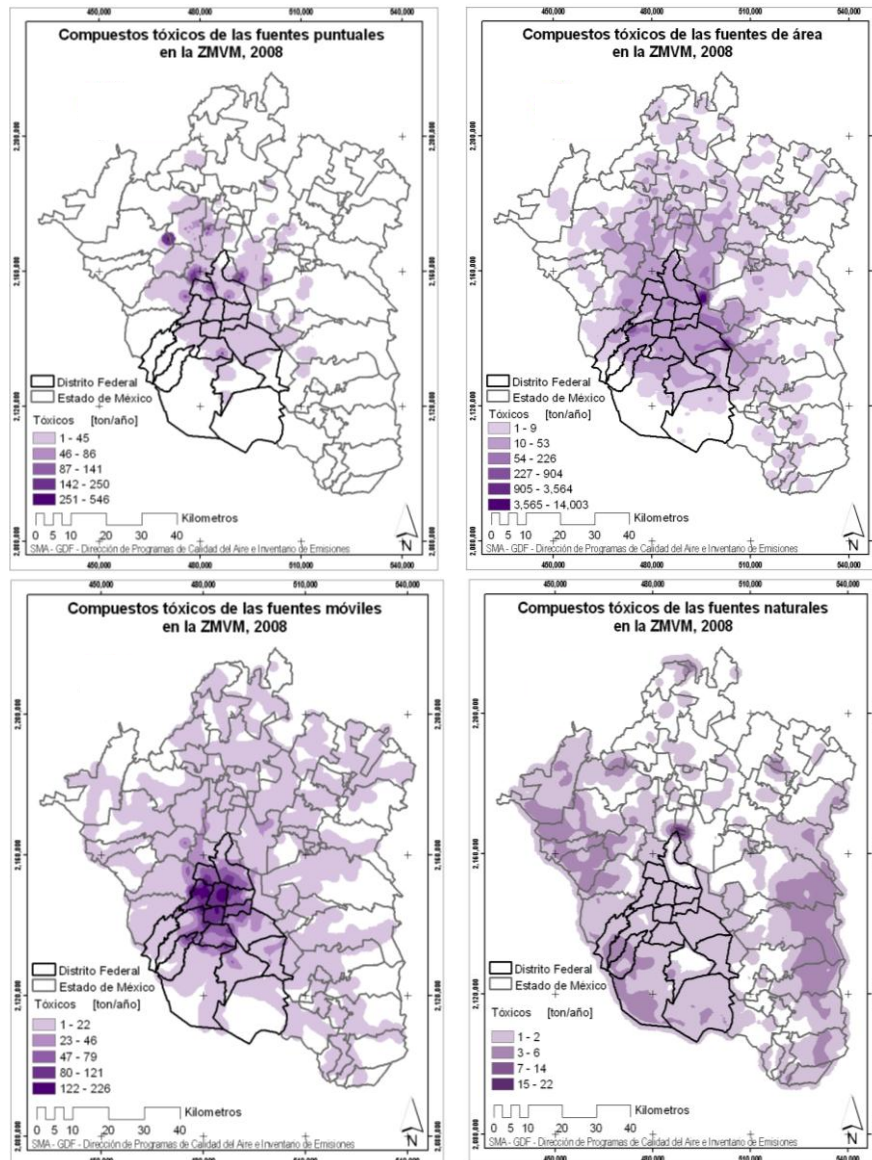
Fuente: Inventario de Emisiones de Contaminantes Tóxicos de la ZMVM-2008.

Las fuentes puntuales generan el 13% de las emisiones de contaminantes tóxicos de la ZMVM. Las fuentes de área son responsables del 56% de las emisiones totales de compuestos tóxicos en la ZMVM; su emisión se debe principalmente al consumo comercial y doméstico de solventes y en segundo lugar a las operaciones de limpieza

industrial. Los principales compuestos emitidos son el tolueno, el 1,1,1 tricloroetano y los isómeros de xileno.

Debido a que la mayor emisión de las fuentes de área se da en los hogares, la distribución espacial sigue un patrón conforme a la mancha urbana de la zona (Mapas 2.3.1). Las fuentes móviles aportan el 27% del total de emisiones tóxicas y su distribución se relaciona con el trazo de las principales calles y avenidas. Las emisiones disminuyen conforme se avanza hacia los extremos de la ZMVM donde el flujo vehicular es más escaso.

Mapas 2.3.1. Distribución espacial de las emisiones de contaminantes tóxicos



Fuente: Inventario de Emisiones de Contaminantes Tóxicos de la ZMVM-2008.

Debido a que los principales compuestos tóxicos emitidos por fuentes naturales son generados por la vegetación sus emisiones se localizan en las zonas arboladas de la ZMVM.

2.4 Fuentes de emisión multicontaminantes y de efecto invernadero

Para potenciar la reducción integral de las emisiones multicontaminantes y de efecto invernadero, en la Tabla 2.4.1 se presentan de manera conjunta las emisiones de contaminantes criterio, contaminantes tóxicos y de gases de efecto invernadero, de los sectores que generan la mayor parte de las emisiones de la ZMVM.

Tabla 2.4.1. Sectores de mayor contribución de emisiones multicontaminantes y gases de efecto invernadero en la ZMVM

Sector	Emisiones [ton/año]					
	Contaminantes criterio				Contaminantes Tóxicos	Gases de Efecto Invernadero*
	PM ₁₀	PM _{2.5}	NO _x	COV		
Papel y productos de papel, imprenta y editoriales	139	75	1,221	23,035	9,382	1'193,165
Sustancias químicas	784	91	1,515	64,149	6,557	1'751,559
Productos minerales no metálicos	1,414	282	1,601	1,315	288	2'523,487
Productos metálicos, maquinaria y equipo	824	71	991	15,940	5,674	3'769,854
Generación de energía eléctrica	197	197	10,975	142	49	3'556,952
Combustión habitacional	257	257	4,542	224	54	4'690,941
Recubrimiento de superficies industriales	NA	NA	NA	24,994	17,075	NA
Recubrimiento de superficies arquitectónica	NA	NA	NA	23,403	15,067	NA
Limpieza de superficie industrial	NA	NA	NA	21,346	21,527	NA
Lavado en seco	NA	NA	NA	7,614	7,074	NA
Fugas en instalaciones de GLP	NA	NA	NA	27,964	19	858
HCNQ en la combustión de gas LP	NA	NA	NA	34,658	23	1,100
Rellenos sanitarios	NA	NA	NA	11,643	NA	7'974,582
Caminos pavimentados	2,693	NS	NA	NA	10	NA
Caminos sin pavimentar	11,459	1,138	NA	NA	29	NA
Productos de cuidado personal	NA	NA	NA	20,729	814	NA
Plaguicidas	NA	NA	NA	15,956	8,982	NA
Productos para el cuidado automotriz	NA	NA	NA	12,001	8,615	NA
Autos particulares	963	511	60,662	90,653	23,783	11'871,316
Taxis	183	96	20,995	14,362	4,375	2'254,964
Microbuses	52	30	10,923	14,063	1,431	1'640,510
Tractocamiones	1,455	1,218	16,702	4,544	609	1'338,800
Autobuses	391	338	22,005	5,588	657	2'264,735
Vehículos de carga mayores a 3 toneladas	541	443	8,194	7,985	1,274	1'087,219
Motocicletas	91	53	1,648	26,225	11,404	391,892
Vegetación	NA	NA	1,031	35,585	7,142	NA
Total	21,443	4,800	163,005	504,118	151,914	46'311,934

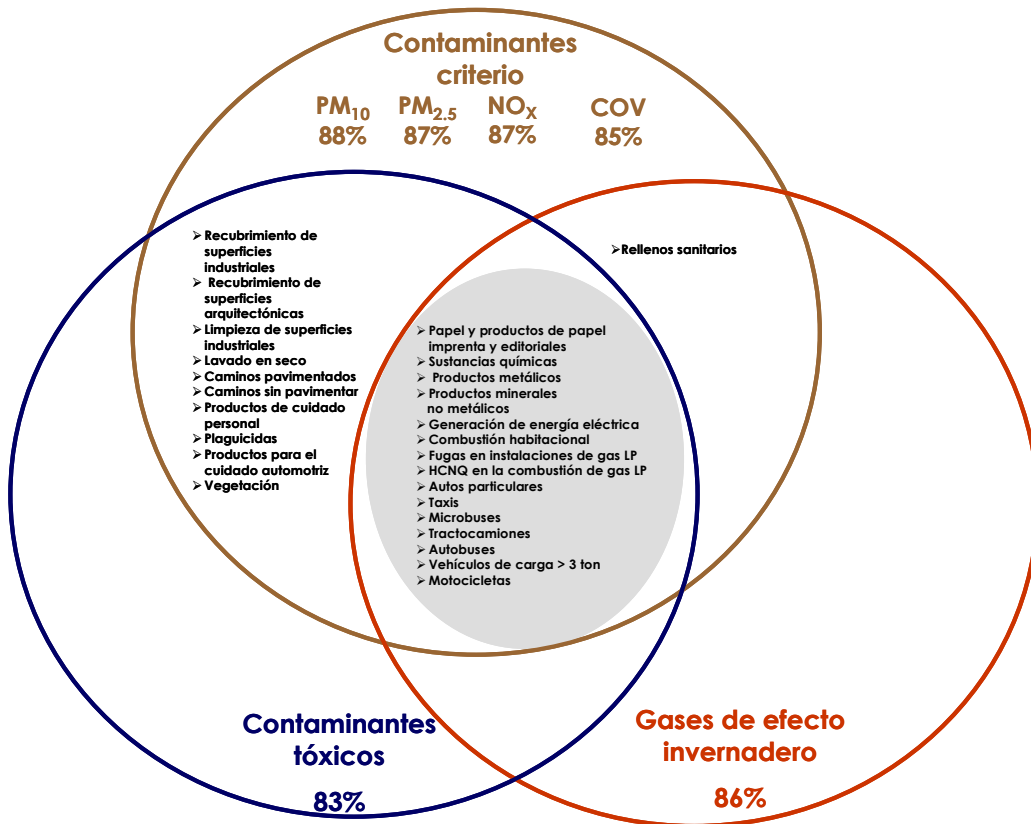
*Toneladas equivalentes de CO₂.

Fuente: Elaborada con los datos de los Inventarios de Emisiones de Contaminantes de la ZMVM-2008.

Debido a que las emisiones multicontaminantes y de efecto invernadero están siendo generadas en muchos de los casos por los mismos sectores, el diseño de medidas de reducción de emisiones incluye una óptica integral que pretende la obtención de cobeneficios.

En el Diagrama 2.4.1 se puede apreciar que cada uno de los sectores emite más de un tipo de contaminante, que todos los sectores emiten contaminantes criterio, que son 15 los sectores que generan emisiones de todos los contaminantes y gases de efecto invernadero, 10 de los sectores que generan emisiones de contaminantes criterio y tóxicos y que un sector (reellenos sanitarios) genera emisiones de contaminantes criterio y gases de efecto invernadero. Se observa también que los 26 sectores aportan del 85% al 88% de cada uno de los contaminantes criterio, el 83% de las emisiones de contaminantes tóxicos y el 86% de las emisiones de gases de efecto invernadero.

Diagrama 2.4.1. Contribución a las emisiones multicontaminantes de la ZMVM



Resalta entre todas las fuentes el rubro de los autos particulares, pues además de ser uno de los mayores generadores de contaminantes criterio, es el mayor emisor de contaminantes tóxicos y de gases de efecto invernadero, por lo que este sector ofrece el mayor potencial para la obtención de cobeneficios en la reducción de emisiones.