

A.2 FUENTES DE ÁREA

En esta sección se describe y documenta el procedimiento con el que se estimaron las emisiones de cada una de las categorías de fuentes de área que se incluyen en el presente inventario de emisiones. Además de los ajustes realizados a los factores de emisión y modelos computacionales con la información de parámetros meteorológicos locales y de la calidad de los combustibles que se distribuyen en la ZMVM, entre otros.

A.2.1 Combustión en fuentes estacionarias

Los contaminantes que se estiman en esta categoría son los que se generan en el proceso de combustión del sector industrial, habitacional y comercial-institucional, se calculó con factores de emisión en función al tipo de combustible, aplicando la siguiente ecuación:

$$E_{ik}=FE_{ik} \cdot C_k$$

Donde:

E_{ik} = Emisión del contaminante (i) asociado al combustible (k)

FE_{ik} = Factor de emisión del contaminante (i) asociado al combustible (k) tabla A.2.1.

C_k = Volumen de combustible (k)

Se emplearon los factores de emisión¹ por combustión de gas natural, gas L.P. y gasóleo para calderas y hornos industriales, comerciales y de uso habitacional menores a 100 millones de BTU por hora y que no cuentan con equipo para el control de emisiones (tabla A.2.1).

Tabla A.2.1 Factor de emisión para fuentes estacionarias

Sector	Combustible Tipo (k)	Factor de emisión del contaminante (i)										Unidades
		PM ₁₀	PM _{2.5}	SO ₂	CO	NO _x	COT	COV	CH ₄	NH ₃ *	Aldehídos**	
CI, CCI	Gas natural	121.6	121.6	9.6	1,344	1,600	176	88	36.8	7.84	1.2	kg/10 ⁶ m ³
CH, CCI	GLP	0.052	0.052	4E-5	0.236	1.720	0.064	0.041	0.024		0.0047	kg/m ³
CH	Gas natural	121.6	121.6	9.6	640	1,504	176	88	36.8	7.84	1.2	kg/10 ⁶ m ³
CCI	Gasóleo	0.840	0.433	0.72	0.600	2.400	0.067	0.047	0.026	0.096	0.0039	kg/m ³

Fuente: AP-42 Air Pollutants Emission Factors V.I. Stationary Point and Area Sources. Fifth Edition. 1.4 Natural Gas Combustion 1998 (Small boilers uncontrolled, Residential furnaces uncontrolled). 1.5 Liquefied Petroleum Gas Combustion, 1996. 1.3 Fuel Oil Combustion, 1998. CI: Combustión industrial, CCI: Combustión comercial - institucional, CH: Combustión habitacional. * FIRE v. 6.25. Para Gas natural SCC: 10200603 y Gasóleo SCC: 10300504. ** Para gas L.P. (U.S. EPA, 2001)².

El factor de emisión del bióxido de azufre por combustión de gas L.P., reportado en el AP-42¹, se ajustó considerando el contenido de propano y butano en el gas³ L.P. con la siguiente ecuación:

$$FE_{SO_2}=[X(0.10S)+Y(0.09S)]0.12=4.53E-5$$

Donde:

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

X: Fracción de propano contenido en el gas L.P. [0.67]

Y: Fracción de butano contenido en el gas L.P. [0.33]

S: Contenido de azufre en el gas L.P. [0.0039 gr/100 ft³]

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

1 U.S. EP, AP-42 Air Pollutants Emission Factors V.I. Stationary Point and Area Sources. Fifth Edition.

2 U.S. EPA, 2001. Documentation for the 1996 Base Year National Toxics Inventory For Area Sources.

3 PEMEX Gas y Petroquímica Básica: El gas L.P. distribuido en la ZMVM es una mezcla 67% propano y 33% butano.

El factor de emisión del bióxido de azufre por combustión del gasóleo, que reporta el AP-42 (150S [lb/1,000 gal]), se calculó con el contenido de azufre del combustóleo que se distribuye en la ZMVM, empleando la siguiente ecuación:

$$FE_{SO_2}=150(S)*0.12= 0.72 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

Donde

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

S= Contenido de azufre [0.04 %w]⁴

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

La emisión de HCT y HCNM, se calculó con el siguiente sistema de ecuaciones⁵:

$$E_{HCT}=E_{COT}-E_{\text{Aldehídos}}$$

$$E_{HCNM}=E_{HCT}-E_{CH_4}$$

Donde:

E_{HCT} = Emisión de Hidrocarburos Totales

E_{COT} = Emisión de Compuestos Orgánicos Totales

$E_{\text{Aldehídos}}$ = Emisión de Aldehídos

E_{HCNM} = Emisión de Hidrocarburos No Metánicos

E_{CH_4} = Emisión de Metano

La cantidad de combustible usado, se presenta en la tabla A.2.2.

Tabla A.2.2 Distribución de combustibles por sector

Entidad	Sector						Unidades
	Industrial	Comercial- Institucional		Habitacional			
	Gas Natural*	GLP	Gas Natural	Gasóleo	GLP	Gas Natural	
Distrito Federal	451,146,976	270,027	20,671,296	103	888,335	132,806,520	[m³/año]
Estado de México	1,406,552,397	277,093	N/D	105	912,016	63,570,793	
ZMVM	1,857,699,373	547,120	20,671,296	208	1,800,351	196,377,313	

Fuente: Elaborada con datos de PEMEX Refinación Gas y Petroquímica Básica, 2004/ SENER, 2004. N/D: No disponible. * No incluye la cantidad de gas natural evaluado en el inventario de fuentes puntuales.

Las tablas A.2.3, A.2.4 y A.2.5, muestran la emisión de contaminantes por sector y tipo de combustible.

Tabla A.2.3 Emisión de contaminantes del sector comercial – institucional

Combustible	Entidad	Emisión [ton/año]											
		PM ₁₀	PM _{2.5}	SO ₂	CO	NO _x	COV	COT	CH ₄	NH ₃	HCNM	HCT	Aldehídos
Gas Natural	Distrito Federal	3	3	N/S	28	33	2	4	1	N/S	3	4	N/S
	Estado de México	N/D											
	ZMVM	3	3	N/S	28	33	2	4	1	N/S	3	4	N/S
Gas L.P.	Distrito Federal	14	14	N/S	64	464	11	17	6	N/D	10	16	1
	Estado de México	14	14		65	477	11	18	7		10	16	1
	ZMVM	28	28		129	941	22	35	13		20	32	2
Gasoleó	Distrito Federal	0.09	0.04	0.07	0.06	0.2	0.005	0.007	0.003	0.010	0.004	0.006	0.0004
	Estado de México	0.09	0.05	0.08	0.06	0.3	0.005	0.007	0.003	0.010	0.004	0.007	0.0004
	ZMVM	0.17	0.09	0.15	0.12	0.5	0.010	0.014	0.005	0.020	0.008	0.013	0.0008
Total	Distrito Federal	17	17	N/S	92	497	13	21	7	N/S	13	20	1
	Estado de México	14	14		65	477	11	18	7		10	16	1
	ZMVM	31	31		157	974	24	39	14		23	36	2

N/S: No significativo. N/D: No determinado

4 PEMEX Refinación, Subdirección Comercial 2001.

5 Manuales del Programa de Inventarios de Emisiones de México. Vol. II - Fundamentos de inventarios de emisiones, 1997.

Tabla A.2.4 Emisión de contaminantes del sector industrial

Combustible	Entidad	Emisión [ton/año]											
		PM ₁₀	PM _{2.5}	SO ₂	CO	NO _x	COV	COT	CH ₄	NH ₃	HCNM	HCT	Aldehídos
Gas Natural	Distrito Federal	55	55	4	606	722	40	79	17	4	62	79	1
	Estado de México	171	171	14	1,890	2,250	124	248	52	11	194	246	2
	ZMVM	226	226	18	2,496	2,972	164	327	69	15	256	325	3

Tabla A.2.5 Emisión de contaminantes del sector habitacional

Combustible	Entidad	Emisión [ton/año]											
		PM ₁₀	PM _{2.5}	SO ₂	CO	NO _x	COV	COT	CH ₄	NH ₃	HCNM	HCT	Aldehídos
Gas Natural	Distrito Federal	24	24	1	85	200	12	24	5	1	19	24	N/S
	Estado de México	12	12	1	41	96	6	11	2	N/S	9	11	
	ZMVM	36	36	2	126	296	18	35	7	1	28	35	
Gas L.P.	Distrito Federal	47	47	N/S	211	1535	37	58	21	N/D	32	54	4
	Estado de México	48	48		217	1576	38	59	22		33	55	4
	ZMVM	95	95		428	3111	75	117	43		65	109	8
Total	Distrito Federal	71	71	1	296	1735	49	82	26	1	51	78	4
	Estado de México	60	60	1	258	1672	44	70	24	N/S	42	66	4
	ZMVM	131	131	2	554	3407	93	152	50	1	93	144	8

N/S: No significativo. N/D: No determinado

A.2.2 Fuentes móviles que no circulan por carretera

Esta categoría incluye las fuentes móviles que se desplazan por vía férrea (locomotoras de patio y foráneas) y vía aérea (aviones).

Operación de locomotoras

La emisión de contaminantes por el proceso de combustión interna del diesel en locomotoras se calculó con la siguiente ecuación:

$$E_i = [(C \cdot FE_i) / 1,000]$$

Donde:

E_i = Emisión del contaminante (i) [ton/año]

C = Cantidad de diesel quemado [l/año], tabla A.2.7

FE_i = Factor de emisión del contaminante (i), [kg/l], tabla A.2.6

1000 = Factor de conversión de [kg] a [ton]

Tabla A.2.6 Factor de emisión para locomotoras

Factor de emisión del contaminante (i) [g/l]										
PM ₁₀	PM _{2.5} *	SO ₂	CO	NO _x	COT	COV	CH ₄ **	HCNM	HCT*	Aldehídos**
1.400	1.3	0.581	7.5	59.1	2.5	2.43	N/S	2.5	2.5	N/S

Fuente: Manuales del Programa de Inventario de Emisiones para México. Volumen V- Desarrollo de Inventario de Emisiones de Fuentes de Área. *U.S. EPA, 2003 - Documentation for Aircraft, Commercial Marine, Vessel, Locomotive, and Other Non road Components of the National Emissions Inventory. ** U.S. EPA, 1997- Documentation For The 1996 Base Year National Toxics Inventory For Area Sources. Nota: El factor de emisión de metano y aldehídos son no significativos, por lo que se asume que el factor de emisión de HCT=HCNM=COT.

El factor de emisión para el bióxido de azufre, reportado en la tabla A.2.6, se calculó con el contenido de azufre y densidad del diesel que se distribuye en la ZMVM⁶, aplicando la siguiente ecuación:

⁶ PEMEX Refinación, Subdirección de distribución 2004.

$$FE_{SO_2} = [(\delta_{[kg/l]} * (C [\%w]/100) * 2_{[kg SO_2/Kg S]}) / 1,000] = 0.581 [g/l]$$

Donde:

δ = Densidad del diesel [0.830 kg/l]

C= Contenido de azufre [0.035 %w]

La cantidad de diesel quemado por las locomotoras se presenta en la Tabla A.2.7.

Tabla A.2.7 Diesel quemado por tipo de locomotora

Año	Locomotora ⁷			Unidades
	Foráneas	Patio	Total	
Distrito Federal	364	4,966	5,330	[m ³ /año]
Estado de México	1,878	14,959	16,837	
ZMVM	2,242	19,925	22,167	

Fuente: Elaborada con datos de PEMEX Refinación, 2004.
Terminal Ferroviaria del Valle de México S.A. de C.V. 2004.

La Tabla A.2.8. reporta la emisión de contaminantes por combustión de diesel en locomotoras.

Tabla A.2.8 Emisiones de contaminantes en locomotora por entidad federativa

Emisión de contaminantes [ton/año]										
Entidad		Distrito Federal			Estado de México			ZMVM		
Tipo de locomotora		Foránea	Patio	Total	Foránea	Patio	Total	Foránea	Patio	Total
Contaminante (i)	PM ₁₀	N/S	7	7	3	21	24	3	28	31
	PM _{2.5}	N/S	7	7	3	19	22	3	26	29
	SO ₂	N/S	4	4	1	12	13	1	16	17
	CO	3	37	40	14	112	126	17	149	166
	NO _x	22	293	315	111	884	995	133	1,177	1,310
	COV	1	12	13	5	36	41	6	48	54
	COT	1	12	13	5	37	42	6	49	55
	HCNM	1	12	13	5	37	42	5	49	55
	HCT	1	12	13	5	37	42	6	49	55

N/S = No significativo

Operación de aeronaves

Esta sección incluye la emisión que generan las aeronaves a nivel de piso y cuando se elevan hasta llegar a una altura conocida como capa de mezclado. Para estimar la emisión de contaminantes se utilizó el modelo FAEED 3.1⁸, y la cantidad de ciclos de operación de vuelo en el Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México por tipo de aeronave (161,080 ciclos de operación⁹ distribuidos en 46 tipos de aeronaves). Para realizar los ajustes correspondientes al tiempo en modo de aproximación (APP_TIME) y ascenso (CLI_TIME) se utilizó la altura promedio de la capa de mezcla de la ZMVM (2,304 metros).¹⁰

La tabla A.2.9. muestra los datos de entrada al modelo FAEED V. 3.1, no incluye aviación militar.

7 FERROVALLE 2002, Rendimiento del diesel en locomotoras 3.1 [l/km]; 146.1 [l/h].

8 U.S. EPA, FAA Aircraft Engine Emission User Guide and Database (FAEED 3.1) <http://www.epa.gov/otaq/aviation.htm>

9 Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México <http://aicm.com.mx/Principal/Corporativo/aicmcifras/Operaciones.htm>.

10 Servicio Meteorológico Nacional, 2004.

Tabla A.2.9 Datos de entrada y salida del modelo FAEED 3.1

AC_MODEL	CLI_TIME	APP_TIME	LTO	Emisiones [kg/año]			
				CO	NO _x	HC	SO _x
AN-72	6.7	10.8	6	6	80	0	0.00
SE 210 CARAVELL	6.7	10.8	16,071	306,956	234,692	82,722	4.04
B707-100B	6.7	10.8	135	14,718	5,749	13,733	0.00
B52-H	1.5	4.3	4	277	68	261	0.00
B727-100	6.7	10.8	24,778	273,845	526,505	69,234	8.54
B737-100	6.7	10.8	8,413	159,782	155,878	52,857	2.93
B737-100	6.7	10.8	1	19	19	6	0.00
B747 (CARG)	6.7	10.8	708	56,472	92,868	26,408	1.51
B747 (CARG)	6.7	10.8	2,026	161,599	265,751	75,568	4.32
B757-200(CARG)	6.7	10.8	12,637	152,492	761,651	8,097	10.07
B767-300	6.7	10.8	2,329	37,410	146,466	3,035	0.00
C-12A/B/C	1.5	4.3	32	129	8	108	0.00
337H SKYMASTER	7.6	12.1	31	798	3	26	0.00
CONVAIR-LINER	7.6	12.1	379	7,282	350	1,525	0.00
550 CITATION	1.5	4.3	7	35	4	13	0.00
FALCON 100	1.5	4.3	5	19	9	3	0.00
FALCON 20	1.5	4.3	331	854	381	140	0.00
F-15 EAGLE	1.5	4.3	1	20	18	1	0.00
DC-10	6.7	10.8	189	11,638	16,084	2,693	0.00
DC8	6.7	10.8	1,388	185,518	35,661	139,938	1.02
DHC-6	6.7	12.1	30,668	118,502	22,940	72,250	0.04
A340-300	6.7	10.8	3	83	211	12	0.00
A320	6.7	10.8	1,221	14,737	32,325	1,751	0.00
A300B	6.7	10.8	632	25,945	35,856	6,004	0.00
A330	6.7	10.8	22	214	1,833	56	0.00
B52	1.5	4.3	12,201	1,247,781	413,109	1,213,378	0.00
SABRELINER 75A	1.5	4.3	36	699	18	62	0.00
F100	6.7	10.8	57	911	744	101	0.01
F-14A	1.5	4.3	2	40	12	16	0.00
GULFSTREAM 3	1.5	4.3	17,130	115,831	85,267	13,300	1.02
IL-62M	6.7	10.8	2	192	81	33	0.00
IL 96	6.7	10.8	100	983	10,469	90	0.14
IL-86	6.7	10.8	29	1,572	1,177	193	0.05
C-141	7.6	12.1	12	895	338	806	0.01
F-16	1.5	4.3	11	109	98	3	0.00
JETSTAR	1.5	4.3	4	10	5	2	0.00
L-1011-500	6.7	10.8	42	703	4,777	156	0.07
35/36	1.5	4.3	7	18	8	3	0.00
LEARJET 24D	1.5	4.3	44	1,022	19	80	0.00
LEARJET 24D	1.5	4.3	50	1,162	22	90	0.00
L-1011-100	6.7	10.8	1	120	71	78	0.00
MD-11	6.7	10.8	338	14,836	23,698	3,094	0.59
MU-300 (DIA.I)	1.5	4.3	27,479	138,017	15,489	49,216	0.00
MD-90-30	6.7	10.8	1,048	6,545	31,060	111	0.36
SABRELINER 75A	1.5	4.3	449	8,721	223	772	0.00
TU-134B	6.7	10.8	21	1,062	605	582	0.01

La emisión de Aldehídos, metano, y COV¹¹ representan el 18.46%, el 9.6% y 96% de COT respectivamente. Las PM₁₀, fueron estimadas en función a la cantidad de ciclos de operación de vuelo [0.10736 kg/LOT]¹² y la emisión de partículas menores a 2.5 micrómetros (PM_{2.5}) el

11 U.S. EPA, 2000. Documentation for the 1996 Base Year National Toxics Inventory for Aircraft Sources.
<http://www.epa.gov/ttn/chief/nti/aircrpt.pdf>

12 U.S. EPA, 1999. Aircraft, Locomotives, and Commercial Marine Vessels (CMVM) Section 4; Part II.
<http://www.epa.gov/ttn/chief/eidocs/portllsec4.pdf>

96.7% PM_{10}^{13} . La emisión de HCNM se obtuvo por diferencia entre la emisión de HCT y la emisión de CH_4 .

Tabla A.2.10 Emisión por la operación de aeronaves

Emisiones [ton/año]											
PM_{10}	$PM_{2.5}$	SO_2^*	CO^*	NOx^*	COT	HCT*	HCNM	CH_4	COV	NH_3	Aldehídos
17.29	17	N/S	3,071	2,923	1,859	1,839	1,660	178	1,785	N/E	343

* Emisiones estimadas con aplicación del modelo Faeed 3.1.

Terminales de autobuses.

La emisión de contaminantes de esta categoría se debe a la combustión interna del diesel en camiones de pasajeros que se encuentran estacionados con motor encendido en la terminal de autobuses. La siguiente ecuación¹⁴ es única para el cálculo de CO, CO_2 , NO_x y HCT:

$$E_{ij}=[((NC_j)*(FE_{ij})*(V_j)*(Tr_j))/1,000]$$

Donde:

E_{ij} = Emisión del contaminante (i) [ton/año] del vehículo año modelo (j) en la terminal (I)

NC_j = Número de corridas de vehículos año modelo (j) en la terminal (I), tabla A.2.13

FE_{ij} = Factor de emisión del contaminante (i) [kg/km] del vehículo año modelo (j), tabla A.2.12

V_j = Velocidad del vehículo año modelo (j) [4 km/h]¹⁵

Tr_j = Tiempo en reposo promedio del vehículo año modelo (j) [0.25 h]¹⁴

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

Para el cálculo de emisiones de PM_{10} , $PM_{2.5}$ y NH_3 , se empleo la siguiente ecuación modificada, debido a que el factor de emisión no considera la velocidad.

$$E_{ij}=[((NC_j)*(FE_{ij})*(Tr_j))/1,000,000]$$

Donde:

E_{ij} = Emisión del contaminante (i) [ton/año] del vehículo año modelo (j) en la terminal (I)

NC_j = Número de corridas de vehículos año modelo (j) en la terminal (I), tabla A.2.13

FE_{ij} = Factor de emisión contaminante (i) [g/h], tabla A.2.11

Tr_j =Tiempo en reposo promedio del vehículo año modelo (j) [0.25 h]¹⁷

1,000,000= Factor de conversión de [g] a [ton]

Tabla A.2.11 Factor de emisión para autobuses

Factor de emisión [g/h]		
PM_{10}	$PM_{2.5}$	NH_3
1.4994	0.92	0.0168

Fuente: MOBILE6 México

Para calcular la emisión de COT, COV y de HCNM se realiza en función a los HCT,¹⁶ con la relación: 1.032 HCT, 0.987 HCT y 0.956 HCT respectivamente. El factor de emisión del metano se calculó con la siguiente expresión:

$$E_{CH_4}= E_{HCT}-E_{HCNM}$$

13 U.S. EPA. California Emission Inventory And Reporting System (CEIDARS) – Particulate Matter (PM) Speciation Profiles Summary of Overall Size Fractions and Reference Documentation.

14 Manuales del Programa de Inventarios de Emisiones de México, Volumen V: Terminales de Autobuses y Camiones, 1997.

15 Factor de conversión de [g/km] a [g/h], equivalente a la velocidad más baja que puede usarse en el modelo Mobile6-México.

16 Ver anexo A.3 Fuentes Móviles.

Donde:

E_{CH_4} = Emisión de metano

E_{HCT} = Emisión de hidrocarburos totales

E_{HCNM} = Emisión de hidrocarburos no metano

La actividad vehicular expresada como el número de corridas que se realizan anualmente por camiones de pasajeros en terminal de autobuses, se presentan por año modelo en la tabla A.2.13.

Tabla A.2.12 Factores de emisión para autobuses por año modelo

Año Modelo	Factor de emisión [kg/km]			
	CO	CO ₂	NO _x	HCT
1980 y ant.	0.0468	1.097	0.0317	0.0139
1981	0.0468	1.097	0.0317	0.0139
1982	0.0466	1.097	0.0316	0.0139
1983	0.0468	1.097	0.0318	0.0140
1984	0.0468	1.097	0.0317	0.0139
1985	0.0462	1.097	0.0313	0.0138
1986	0.0460	1.097	0.0312	0.0137
1987	0.0461	1.097	0.0313	0.0137
1988	0.0459	1.097	0.0312	0.0137
1989	0.0456	1.097	0.0310	0.0136
1990	0.0458	1.011	0.0311	0.0137
1991	0.0453	1.011	0.0307	0.0135
1992	0.0460	1.011	0.0313	0.0138
1993	0.0480	1.011	0.0234	0.0100
1994	0.0402	0.987	0.0197	0.0084
1995	0.0425	0.987	0.0208	0.0089
1996	0.0388	0.987	0.0191	0.0072
1997	0.0386	0.987	0.0191	0.0072
1998	0.0385	0.987	0.0191	0.0072
1999	0.0383	0.987	0.0191	0.0072
2000	0.0380	0.987	0.0191	0.0072
2001	0.0352	0.987	0.0108	0.0067
2002	0.0345	0.987	0.0089	0.0066
2003	0.0342	0.987	0.0088	0.0066
2004	0.0340	0.987	0.0088	0.0066

Fuente: MOBILE5-México

Tabla A.2.13 Número de Corridas por terminal

Número de corridas por terminal			
Norte	Oriente	Poniente	Sur
25,790	20,862	23,534	11,005
10,596	8,571	9,669	4,522
8,663	7,008	7,905	3,697
3,732	3,019	3,405	1,592
6,931	5,606	6,324	2,957
9,196	7,439	8,392	3,924
6,797	5,499	6,203	2,901
4,065	3,288	3,709	1,735
5,864	4,744	5,351	2,502
10,196	8,248	9,304	4,351
21,258	17,196	19,399	9,072
38,518	31,158	35,149	16,437
52,246	42,263	47,676	22,295
73,371	59,353	66,954	31,310
43,316	35,040	39,527	18,484
12,129	9,811	11,068	5,176
4,798	3,881	4,378	2,047
17,660	14,285	16,115	7,536
26,656	21,563	24,324	11,375
30,188	24,420	27,547	12,882
56,578	45,767	51,629	24,143
72,305	58,489	65,980	30,855
39,318	31,805	35,878	16,778
48,781	39,460	44,514	20,816
37,452	30,296	34,176	15,982
666,404	539,071	608,110	284,374

Fuente: Estadística Básica del Autotransporte Federal 2004, SCT. Servicios Auxiliares del Autotransporte, Corridos de Origen y Paso de las Terminales Centrales de Pasajeros.

Con base en lo anterior se estimaron las emisiones por año modelo y por central de autobús ver tabla A.2.14.

Tabla A.2.14 Emisión de contaminantes por central de autobuses

Central	PM ₁₀	PM _{2.5}	CO	NO _x	COT	CH ₄	COV	NH ₃
Norte	0.25	0.22	27.3	13.7	6.4	0.3	6.2	0.011
Oriente	0.20	0.19	22.0	11.1	5.3	0.2	5.0	0.009
Poniente	0.23	0.21	24.8	12.5	5.9	0.2	5.7	0.010
Sur	0.11	0.10	11.6	5.8	2.8	0.1	2.7	0.005
Total	0.79	0.72	85.7	43.1	20.4	0.8	19.6	0.035

A.2.3 Uso de solventes

Debido a que no se cuenta con información sobre el tipo y cantidad de solvente incinerado, se asume que todo el solvente utilizado se evapora durante el procesamiento o paulatinamente por el uso del producto que lo contenga. En este apartado se estima la emisión de COT y COV empleando la siguiente ecuación:

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

Donde:

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

FA = Factor de actividad [hab/año] en el área de estudio

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

La emisión de HCT y HCNM, se estiman con el siguiente sistema de ecuaciones¹⁷:

$$E_{HCT} = E_{COT} - A_{Aldehídos}$$

$$E_{HCNM} = E_{HCT} - E_{CH_4}$$

Donde:

E_{HCT} = Emisión de Hidrocarburos Totales

E_{COT} = Emisión de Compuestos Orgánicos Totales

$E_{Aldehídos}$ = Emisión de Aldehídos

E_{HCNM} = Emisión de Hidrocarburos No Metánicos

E_{CH_4} = Emisión de Metano

El nivel de actividad (FA) es referido a la población del área de estudio, ver tabla A.2.15.

Tabla A.2.15 Indicadores de actividad poblacional

Entidad Federativa	Estado de México	Distrito Federal	ZMVM
Habitantes, 2004	8,914,136	8,686,849	17,600,985
% Habitantes	50.64	49.35	100

Fuente: INEGI, XII Censo General de Población y Vivienda 2000.

CONAPO 2002, Proyecciones Municipales de población 1995-2010.

Recubrimientos de superficies industriales

La aplicación de recubrimientos en superficies industriales, consisten en la aplicación de pintura, barniz o laca; se asume que el solvente contenido en el recubrimiento se evapora durante su uso. El factor de emisión y la cantidad de contaminantes generados se reportan en la tabla A.2.16.

Tabla A.2.16 Emisiones por recubrimientos de superficies industriales

Contaminante	Factor de Emisión* [kg/hab]	Emisión [ton/año]		
		Estado de México	Distrito Federal	ZMVM
Compuestos Orgánicos Totales	1.28	11,410	11,119	22,529
Compuestos Orgánicos Volátiles	1.26	11,273	10,986	22,259

Fuente: *Manuales de Inventario de Emisiones de México. Vol. 5.

¹⁷ Manuales del Programa de Inventarios de Emisiones de México. Vol. II - Fundamentos de inventarios de emisiones, 19997.

Pintura automotriz

Las emisiones generadas por la aplicación de pintura automotriz se emiten durante la limpieza, resanado, pintado y pulido, por lo tanto, éstas dependen del contenido de solventes en el producto. El factor de emisión y las emisiones estimadas por entidad federativa y contaminante, se reportan en la siguiente tabla.

Tabla A.2.17 Factor de emisión y emisiones generadas por la aplicación de pintura automotriz

Contaminante	Factor de Emisión* [kg/hab]	Emisión [ton/año]		
		Estado de México	Distrito Federal	ZMVM
Compuestos Orgánicos Totales	0.140	1,248	1,216	2,464
Compuestos Orgánicos Volátiles	0.137	1,223	1,192	2,415

Fuente: *Manuales de Inventario de Emisiones de México. Vol. 5.

Recubrimiento de superficies arquitectónicas

El recubrimientos de superficies arquitectónicas consiste en la aplicación de una capa de pintura, barniz o laca. La estimación de sus emisiones y el factor de emisión utilizado se muestra en la tabla A.2.18.

Tabla A.2.18 Factor de emisión y emisiones por recubrimientos de superficies arquitectónicas

Contaminante	Factor de Emisión* [kg/hab]	Emisión [ton/año]		
		Estado de México	Distrito Federal	ZMVM
Compuestos Orgánicos Totales	1.360	12,123	11,814	23,937
Compuestos Orgánicos Volátiles	1.183	10,547	10,278	20,825

Fuente: *Manuales de Inventario de Emisiones de México. Vol. 5.

Pintura en tránsito

La aplicación de pintura en tránsito se realiza para indicar señalamientos viales en superficies pavimentadas. La siguiente tabla muestra la emisión de COT y COV por entidad federativa y el factor de emisión utilizado.

Tabla A.2.19 Factor de emisión y emisiones por aplicación de pintura de tránsito

Contaminante	Factor de Emisión* [kg/hab]	Emisión [ton/año]		
		Estado de México	Distrito Federal	ZMVM
Compuestos Orgánicos Totales	0.0400	357	347	704
Compuestos Orgánicos Volátiles	0.0395	352	343	695

Fuente: *Manuales de Inventario de Emisiones de México. Vol. 5.

Limpieza de superficies industriales

La limpieza de superficies industriales es un proceso físico, en el cual se utilizan solventes orgánicos (destilados de petróleo, hidrocarburos clorados, cetonas y alcoholes, entre otros) que se seleccionan dependiendo de el coeficiente de solubilidad, sustancia a remover, toxicidad, flamabilidad y velocidad de evaporación, entre los principales. Las sustancias a remover generalmente son grasas, aceites, ceras, depósitos de carbón, óxidos y alquitranes de superficies tales como metales, plásticos y vidrios. A continuación se muestran las emisiones por entidad federativa y los factores de emisión de esta categoría:

Tabla A.2.20 Factor de emisión y emisiones por limpieza de superficies industriales

Contaminante	Factor de Emisión* [kg/hab]	Emisión [ton/año]		
		Estado de México	Distrito Federal	ZMVM
Compuestos Orgánicos Totales	1.80	16,045	15,636	31,682
Compuestos Orgánicos Volátiles	1.08	9,627	9,382	19,008

Fuente: *Manuales de Inventario de Emisiones de México. Vol. 5.

Lavado en seco

La operación de lavado en seco consiste en la limpieza de ropa mediante el uso de solventes orgánicos no acuosos, como el percloroetileno y gas nafta, entre los de mayor uso. La estimación de sus emisiones y el factor de emisión utilizado para esta actividad, se muestra en la siguiente tabla:

Tabla A.2.21 Emisiones por lavado en seco en tintorerías

Contaminante	Factor de Emisión* [kg/hab]	Emisión [ton/año]		
		Estado de México	Distrito Federal	ZMVM
Compuestos Orgánicos Totales	0.6007	5,355	5,218	10,573
Compuestos Orgánicos Volátiles	0.3484	3,106	3,026	6,132

Fuente: *Manuales de Inventario de Emisiones de México. Vol. 5.

Artes gráficas

En la impresión de periódicos, revistas, libros y en diferentes materiales de impresión, la composición de las tintas es variable, pero todas están constituidas por tres componentes básicos: pigmentos, aglutinantes y solventes; la mayoría de los solventes utilizados son de uso común en la formulación de tintas, y en cantidades menores son utilizadas para la limpieza del equipo y/o como un componente más en las soluciones fuente para sumergir los sistemas en la impresión litográfica. La tabla siguiente muestra los factores de emisión y las emisiones por entidad federativa:

Tabla A.2.22 Factor de emisión y emisiones por artes gráficas

Contaminante	Factor de Emisión* [kg/hab]	Emisión [ton/año]		
		Estado de México	Distrito Federal	ZMVM
Compuestos Orgánicos Totales	0.4	3,566	3,475	7,040
Compuestos Orgánicos Volátiles	0.4	3,566	3,475	7,040

Fuente: *Manuales de Inventario de Emisiones de México. Vol. 5.

Aplicación de asfalto

La evaporación de solventes durante la aplicación de asfalto, depende de la cantidad y del tipo de diluyente que se utiliza en la fabricación de la mezcla asfáltica en la Planta de Asfalto del Gobierno del Distrito Federal. La mezcla es una combinación de asfalto AC20 (conocido como chapopote con un nivel de dureza 20) y de un triturado basáltico en una proporción de 6.5% y 93.5% respectivamente.

Para el año 2004 se registró una producción de 183,238 toneladas, 3,936 toneladas fueron rechazadas, lo que implica que en el Distrito Federal sólo se distribuyeron 179,302 toneladas. El cálculo de las emisiones se realiza con la siguiente ecuación:

$$E = MA * \%A * \%DA * \%EV = 38 \text{ ton}$$

Donde:

E= Emisión de COT [ton/año]

MA= Masa asfáltica distribuida en la zona de aplicación [179,302 ton/año]

%A= Por ciento en peso de asfalto en la mezcla [6.5%w]

%D_A= Por ciento en peso del diluyente en el asfalto [0.34%w]¹⁸

%EV= Evaporación del contenido de solvente como curado rápido [95%]

Considerando que la mezcla asfáltica distribuida en el Distrito Federal presenta las mismas características físicas y químicas que la del Estado de México, las emisiones de esta categoría para los municipios del Estado de México que integran la ZMVM, se obtuvo mediante un factor de emisión *per cápita* (FE_{COT}), obtenido con base a la emisión total y el número de habitantes del Distrito Federal, como se muestra a continuación:

$$FE_{COT} = 37.64 \text{ [ton COT/año]} / 8,686,849 \text{ [hab/año]} = 4.36 \cdot 10^{-6} \text{ [ton COT/hab-año]}$$

$$E_{COT} = 4.36 \cdot 10^{-6} \text{ [ton COT/hab-año]} \cdot 8,914,136 \text{ [hab/año]} = 39 \text{ [ton COT/año]}$$

Tabla A.2.23 Factor de emisión y emisiones en aplicación de asfalto

Contaminante	Factor de Emisión* [kg/hab]	Emisión [ton/año]		
		Estado de México	Distrito Federal	ZMVM
Compuestos Orgánicos Totales	0.00436	39	38	77
Compuestos Orgánicos Volátiles	0.00436	39	38	77

Fuente: *Manuales de Inventario de Emisiones de México. Vol. 5.

Uso comercial y doméstico de solventes.

Esta categoría se caracteriza por la presencia de hidrocarburos en productos comerciales y de consumo que sirven como propulsores, agentes para el secado y agentes limpiadores en casa habitación, industria y servicios. Los solventes utilizados incluyen a las naftas especiales, alcoholes y diversos cloros y fluorocarbonos que son emitidos durante el uso del producto. Los factores de emisión y la emisión estimada por contaminante se muestran en las tablas siguientes.

Tabla A.2.24 Factor de emisión y emisiones de COT en uso comercial y doméstico de solventes

Actividad (j)	Factor de Emisión* [kg/hab]	Emisión [ton/año]		
		Estado de México	Distrito Federal	ZMVM
Productos en aerosol	0.067	597	582	1,179
Productos domésticos	0.520	4,635	4,517	9,152
Productos de cuidado personal	1.520	13,550	13,204	26,754
Productos de cuidado automotor	0.880	7,844	7,644	15,489
Adhesivos y selladores	0.380	3,387	3,301	6,688
Pesticidas comerciales y domésticos	1.170	10,430	10,164	20,593
Productos misceláneos	0.040	357	348	705
Total	4.577	40,800	39,760	80,560

Fuente: *Manuales de Inventario de Emisiones de México. Vol. 5.

¹⁸ Programa de Inventarios de Emisiones para México, 1997.

Tabla A.2.25 Factor de emisión y emisiones de COV en uso comercial y doméstico de solventes

Actividad (j)	Factor de Emisión* [kg/hab]	Emisión [ton/año]		
		Estado de México	Distrito Federal	ZMVM
Productos en aerosol	0.046	9,349	9,111	18,460
Productos domésticos	0.359	3,198	3,117	6,315
Productos de cuidado personal	1.049	412	402	814
Productos de cuidado automotor	0.607	5,413	5,274	10,687
Adhesivos y selladores	0.262	2,337	2,277	4,614
Pesticidas comerciales y domésticos	0.807	7,196	7,013	14,209
Productos misceláneos	0.028	247	240	487
Total	3.158	28,152	27,434	55,586

Fuente: *Manuales de Inventario de Emisiones de México. Vol. 5.

Tabla A.2.26 Factor de emisión y emisión de aldehídos en uso comercial y doméstico de solventes

Actividad (j)	Factor de Emisión* [kg/hab]	Emisión [ton/año]		
		Estado de México	Distrito Federal	ZMVM
Productos en aerosol	8.84E-4	8	8	16
Productos domésticos	1.8E-5	N/S	N/S	N/S
Adhesivos y selladores	6.73E-5	N/S	N/S	1
Pesticidas comerciales y domésticos	2.29E-3	20	20	40
Total	3.2593E-3	28	28	57

Fuente: *Manuales de Inventario de Emisiones de México. Vol. 5.

N/S: No significativo

La emisión de HCT se calculó con la siguiente expresión:

$$E_{HCT} = E_{COT} - A_{\text{aldehídos}}$$

Donde:

E_{HCT} = Emisión de Hidrocarburos Totales

E_{COT} = Emisión de Compuestos Orgánicos Totales

$E_{\text{Aldehídos}}$ = Emisión de Aldehídos

Las emisiones por consumo de solventes se muestran a continuación:

Tabla A.2.27 Emisiones de HCT por consumo de solventes

Actividad (j)	Emisión [ton/año]		
	Estado de México	Distrito Federal	ZMVM
Productos en aerosol	589	574	1,163
Productos domésticos	4,635	4,517	9,152
Productos de cuidado personal	13,550	13,204	26,754
Productos de cuidado automotor	7,844	7,644	15,488
Adhesivos y selladores	3,387	3,300	6,687
Pesticidas comerciales y domésticos	10,409	10,144	20,553
Productos misceláneos	357	348	705
Total	40,771	39,731	80,502

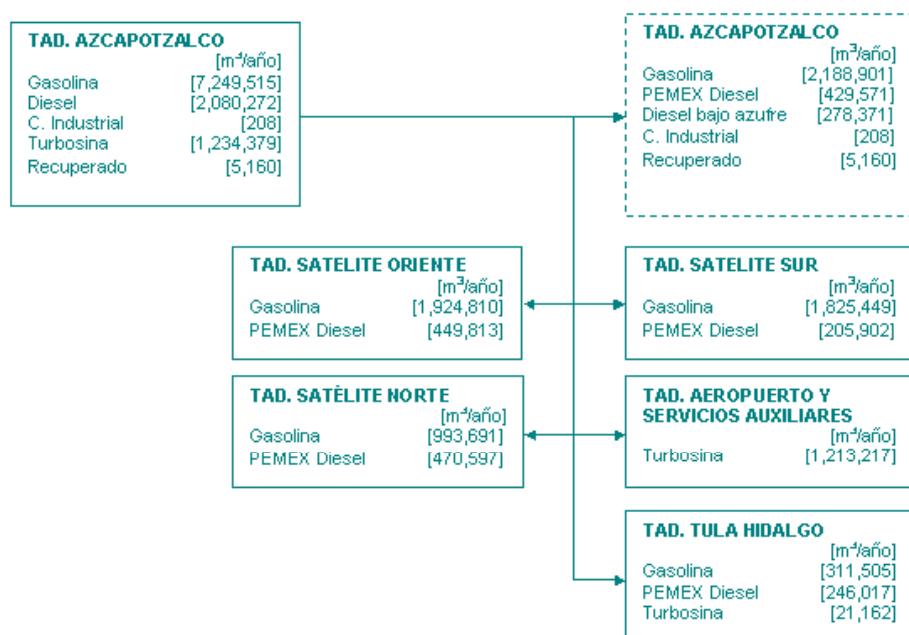
A.2.3 Almacenamiento y transporte de derivados del petróleo

Almacenamiento masivo de combustibles líquidos

Los productos refinados que son distribuidos en la Zona Metropolitana del Valle de México llegan a través de ductos a la terminal de almacenamiento y distribución Azcapotzalco; ésta cuenta con una capacidad de almacenamiento de 1.5 millones de barriles, misma que cubre la demanda del Valle de México por espacio de 10 días. La misma terminal comercializa los

productos PEMEX Magna, PEMEX Premium, PEMEX Diesel, Turbosina y Combustible Industrial en la ZMVM, siendo sus centros abastecedores las refinerías Miguel Hidalgo en Tula y Lázaro Cárdenas en Minatitlán y la terminal marítima de Tuxpan.

A través de ductos, la terminal Azcapotzalco abastece de PEMEX Magna, PEMEX Premium y PEMEX Diesel (a las terminales de almacenamiento y distribución de Añil (Satélite Oriente) y Barranca del Muerto (Satélite Sur) en el Distrito Federal; a la terminal San Juan Ixhuatepec (Satélite Norte) en el estado de México y Tula en Hidalgo; la Turbosina fue distribuida a los tanques de almacenamiento de la terminal Aeropuerto y Servicios Auxiliares (ASA) y a la terminal de almacenamiento ubicada en Tula Hidalgo. Todas las terminales realizan su distribución a estaciones de servicio y auto-abasto, así como al sector industrial por medio de auto-tanques, figura A.2.1.



Fuente: Elaborado con datos de PEMEX Refinación, 2004

Figura A.2.1 Tren de distribución y almacenamiento de combustibles

La evaporación de hidrocarburos de gasolina en los tanques de almacenamiento masivo, ocurren como consecuencia de los cambios de temperatura que conduce al venteo del vapor del tanque a la atmósfera, de los cambios en el nivel del líquido del tanque y principalmente por las operaciones de recarga.

La emisión de COT se estimó con la metodología del AP-42¹⁹, implica la utilización del software TANKS V.4.0²⁰. La tabla A.2.28 muestra las características físicas y de operaciones básicas del tanque de almacenamiento²¹ que se requieren para alimentar al programa, se realiza un archivo por terminal y una corrida por tanque.

19 U.S. EPA, 1995a. AP-42 Section 7.1.3.1, Total Losses from Fixed Roof Tanks, Febrero 1996.

20 U.S. EPA, 1999. USR'S GUIDE to TANKS V.4.0, Storage Tank Emissions Calculation Software, September 30, 1999

21 PEMEX Refinación. Características físicas y de operación de los tanques de almacenamiento por terminal, 2004.

Tabla A.2.28 Características físicas y de operación TAD-TV5-AZC-2004

TAD	CTA	TTA	TT	TCT	PT	PTST	TSM	SM	CA	CNT	DT	ATT	AOT	COP	NRA	DCA
										[gal]	[ft]	[ft]	[ft]	[gal]		[gal/año]
AZC	TV-5	VCTFMIF	DGD	S	B,B	B,B	PMS-VMSS	AYA	P	4,200,000	134	40	36.2	3,820,152	29	93,548,952

TAD	Terminal de almacenamiento y distribución	PMS-VMSS	Primario montado sobre-vapor más sello secundario
SS	Satélite Sur	AYA	Auto soportada y atornillada
CTA	Clave del tanque de almacenamiento	SM	Soporte del sello mecánico
TTA	Tipo del tanque de almacenamiento	CA	Combustible almacenado
VCTF/MIF	Vertical con techo fijo y membrana interna flotante	P	Gasolina Premium
TT	Domo geodésico	CNT	Capacidad nominal del tanque
DGD	Cónica	DT	Diámetro del tanque
TCT	Tipo de construcción del tanque	ATT	Altura total del tanque
S	Soldado	AOT	Altura de operación del tanque
PT	Pintura del tanque	COP	Capacidad de operación del tanque
B.B	Blanco y en buen estado	NRA	Numero de recargas anuales
PTST	Pintura de la tapa superior del tanque	DCA	Descarga anual del combustible
TSM	Tipo de sello mecánico		

Fuente: PEMEX Refinación 2004

El programa TANKS V.4.0 cuenta con información sobre características meteorológicas para la gran mayoría de las ciudades de los Estados Unidos. En particular para la ZMVM se diseñó la base de datos²² correspondiente como lo muestra la figura A.2.2.

Meteorological

City: **MEXICO 2004, ZMVM 2004**

City: **MEXICO 2004** State: **ZMVM 2004**

Daily Average Ambient Temperature (F): **68.11** Atmospheric Pressure (psia): **11.31**

Month	Daily Maximum Ambient Temp. (F)	Daily Minimum Ambient Temp. (F)	Solar Insulation Factor (Btu / (ft ² *day))	Average Wind Speed (mph)
JAN	80.2	36.5	1884.132	2.1
FEB	89.7	65	1884.132	2.4
MAR	95.1	62.4	1574.844	1.7
APR	97.8	69.3	1574.844	2.2
MAY	101	68.3	1574.844	1.5
JUN	91.6	62.8	1899.912	1.6
JUL	86.1	63.3	1899.912	1.4
AUG	89.7	67.8	1899.912	1.4
SEP	87.7	65.6	1899.912	1.5
OCT	91.5	60.3	1899.912	1.6
NOV	87.8	66.4	1884.132	1.5
DEC	83.9	46.3	1884.132	1.6
ANN	100.7	35.6	1786.296	1.7

Add New Delete Save Close Help

Fuente: Información meteorológica de la RAMA 2004

Figura A.2.2 Características meteorológicas de la ZMVM, 2004

Con la información anterior se calculó las emisiones por tanque de almacenamiento, la tabla A.2.29. muestra las emisiones por terminal de almacenamiento estimadas con el programa TANKS 4.0.

²² RAMA, 2004. Para garantizar la calidad de la información se consideró que todos los días hayan contado con al menos el 75% de los datos, es decir, al menos 18 datos. Las estaciones de monitoreo que cumplieron con el criterio anterior son: TAC, EAG, SAG, TLA, XAL, MER, PED, CES, PLA, HAN, PLA. Para el caso específico del Factor de insolación, ver anexo A.4 Fuentes Naturales.

Tabla A.2.29 Emisiones por terminal de almacenamiento y distribución “TAD”

Localidad	Terminal de Almacenamiento y Distribución	COT
Miguel Hidalgo	Azcapotzalco	35
Iztacalco	Satélite Oriente	21
Álvaro Obregón	Satélite Sur	13
Tlanepantla	Satélite Norte	8
Venustiano Carranza	Aeropuerto y Servicios Auxiliares	1
Distrito Federal		70
Estado de México		8
Zona Metropolitana del Valle de México		78

La emisión de COV por almacenamiento de gasolina es igual al 100% de los COT

La emisión de COV por el uso de turbosina es igual al 96% de los COT

La emisión de COV por el uso de diesel es igual al 97.2% de los COT

Distribución y venta de gasolina

Los compuestos orgánicos totales que se emiten en esta categoría son vapores provenientes de la distribución y venta de gasolina, se calculó por etapas considerando el sistema de recuperación de vapores.

Estimación de emisiones por pérdidas en tránsito E1

La emisión por pérdidas en tránsito incluyen el recorrido de la terminal a la estación de servicio y viceversa (con o sin carga). La cantidad emisiones depende del grado de venteo que se presente en tránsito, de la hermeticidad del tanque, el ajuste de presión a la válvula de alivio, la presión del tanque al inicio del recorrido, la presión de vapor del combustible transportado y del grado de saturación de vapor del combustible en el espacio vapor del tanque. La estimación de emisiones se realiza con la siguiente ecuación:

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

Donde:

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

$FE_{tc,i,c}$ = Factor de emisión por pérdida en tránsito con producto a la estación de servicio (i) en condiciones de tránsito (c) [5E-8 ton/m³]

$FE_{tv,i,c}$ = Factor de emisión de pérdida en tránsito sin producto a la estación de servicio (i) en condiciones de tránsito (c) [6.5E-8 ton/m³]

C_{Vi} = Cantidad de gasolina suministrada a la estación de servicio (i) [m³/año], tabla A.2.31

n = Numero de estación de servicio (i)

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

La descarga de gasolina a tanques subterráneos en la estación de servicio, se conoce como carga sumergida con balance de vapor, debido a que cuenta con la instalación del Sistema de Recuperación de Vapores²³. “SRV”, permite recupera los vapores desplazados durante la descarga de gasolina y los lleva de regreso al tanque de la pipa de distribución. La emisión de COT se calculó con la siguiente ecuación:

$$E_{E2} = \sum_{i=1} FE_{dp} * C_{Vi} * (1 - (F_C/100))$$

i=1

²³ El sistema de recuperación de vapores es un conjunto de accesorios, tuberías, conexiones y equipos especialmente diseñados para recuperar y controlar la emisión de vapores de gasolina producidos en las operaciones de transferencia de este combustible a las estaciones de servicio y estaciones de autoconsumo, que de otra manera serían emitidos a la atmósfera.

Donde:

E_{E2} = Emisión de COT en la etapa E2 [ton/año]

FE_{dp} = Factor de emisión por descarga de pipas a la estación de servicio (i) [1.0468E-3 ton/m³]

C_{Vi} = Cantidad de gasolina suministrada a la estación de servicio (i) [m³/año], tabla A.2.31

F_C = Factor de corrección referido a la eficiencia del SRV [95%]²⁴

n = Numero de estación de servicio (i)

Estimación de emisiones por respiración de tanques subterráneos E3

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

$$E_{E3} = \sum_{i=1}^n C_{Vi} * FE_r * (1 - (F_c/100))$$

Donde:

E_{E3} = Emisión de COT en la etapa E3 [ton/año]

C_{Vi} = Cantidad de gasolina suministrada a la estación de servicio (i) [m³/año], tabla A.2.31

FE_r = Factor de emisión de pérdida por respiración del tanque [1.2E-4 ton/m³]

F_C = Factor de corrección referido a la eficiencia del SRV [95%]²⁵

n = Numero de estación de servicio (i)

Estimación de emisiones por recarga de gasolina en vehículos E4

Durante la recarga de gasolina en vehículos se producen emisiones por desplazamiento y la cantidad de vapores depende de la temperatura de la gasolina, la temperatura del tanque del automóvil, de la presión de vapor Reid de la gasolina²⁶ y de la cantidad de gasolina vendida. La emisión de COT se calculó con la siguiente ecuación:

$$E_{E4} = \sum_{i=1}^n C_{Vi} * FE_{cg} * (1 - (F_c/100))$$

Donde:

E_{E4} = Emisión de COT en la etapa E4 [ton/año]

C_{Vi} = Cantidad de gasolina suministrada a la estación de servicio (i) [m³/año], tabla A.2.31

FE_{cg} = Factor de emisión de pérdida por recarga en vehículos [1.079E-3 ton/m³]

F_C = Factor de corrección referido a la eficiencia del SRV [95%]²⁶

n = Numero de estación de servicio (i)

Estimación de emisiones por derrames de combustible en la recarga E5

24 DGGAA La eficiencia de los SRV varía en función al sistema o tecnología instalada, la eficiencia máxima es del 97%, la mínima es del 95% y la promedio es del 94.5%. Con datos de pruebas de eficiencia y tasa volumétrica por tecnología.

25 DGGAA. La eficiencia de los SRV varía en función al sistema o tecnología instalada, la eficiencia máxima es del 97%, la mínima es del 95% y la promedio es del 94.5%. Con datos de pruebas de eficiencia y tasa volumétrica por tecnología.

26 Presión de Vapor Reid: Presión absoluta a 37.8 °C en KPa. Difiere de la presión de vapor verdadera de la muestra, debido a pequeñas evaporaciones de la muestra y a la presencia de vapor de agua, así como aire en los espacios confinados. Se determina con el Método ASTM D323-94.

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

$$E_{E3} = \sum_{i=1}^n C_{Vi} * FE_d * (1 - (Fc/100))$$

Donde:

E_{E5} = Emisión de COT en la etapa E5 [ton/año]

C_{Vi} = Cantidad de gasolina suministrada a la estación de servicio (i) [m³/año], tabla A.2.31

FE_d = Factor de emisión por derrames [8E-5 ton/m³]

F_c = Factor de corrección referido a la eficiencia del SRV [95%]²⁶

n = Numero de estación de servicio (i)

Los factores de emisión correspondientes a cada etapa se encuentran reportados en la tabla A.2.30.

Tabla A.2.30 Factor de emisión en distribución y venta de gasolina

Punto emisor	Fuente de Emisión "Actividad"	Factor de emisión COT [ton/m ³]
E1	Pérdidas en tránsito	
	Auto-tanque cargado	$FE_{tc,i,c} = 5E-8$
	Auto-tanque vacío	$FE_{tv,i,c} = 6.5E-8$
E2	Descarga de pipas a estaciones de servicio	$FE_{dp} = 1.0468E-3$
E3	Respiración del tanque subterráneo	$FE_r = 1.2E-4$
E4	Recarga de gasolina en automóviles	$FE_{cg} = 1.079E-3$
E5	Derrames de combustibles en la recarga	$FE_d = 8E-5$

Fuente: Manuales de Inventarios de Emisiones para México. Con información AP-42 1995.

E1: Factores de emisión para condiciones de tránsito típicas

E2, E4: Factor de emisión se calculó con las propiedades de la gasolina comercializada en la ZMVM

E3, E5: Reportadas por la fuente de información

Se asume que las emisiones de COV constituyen el 100% de los COT

El factor de emisión de COT en la Etapa 2, se estimo con relación a las características de la gasolina distribuida en la ZMVM y se calculó con la siguiente ecuación modificada²⁷:

$$FE_{dp} = 0.001493(S * P * M / T) = 0.0010468 \text{ [ton/m}^3\text{]}$$

Donde:

FE_{dp} = factor de emisión por descarga de las pipas durante la carga de combustible [ton/m³]

S = Factor de saturación [1 adimensional]²⁸

P = Presión de vapor verdadera del líquido [5.5034 PSIA] @ RVP 8²⁹

M = Peso molecular de los vapores [68lb/lb-mol]

T = Temperatura del líquido en la descarga, equivalente a temperatura ambiente [533.76°R]³⁰

0.001493 = Factor de conversión de [lb/1,000 gal] a [ton/m³]

El factor de emisión de COT en la Etapa 4, se ajusto a las características de la gasolina distribuida en la ZMVM y se calculó con la siguiente ecuación modificada³¹:

27 Manuales del Programa de Inventarios de Emisiones de México: Volumen V- Desarrollo de Inventario de Emisiones de Fuentes de Área Final. Las emisiones de la carga de gasolina o de cualquier líquido de petróleo puede estimarse con un error probable de +- 30% usando la expresión de la ecuación (7.1-1) Pág. 7-5.

28 Manuales del Programa de Inventarios de Emisiones de México: Volumen V- Desarrollo de Inventario de Emisiones de Fuentes de Área Final. Tabla 7.1-1 Factores de saturación (S) para el cálculo de las pérdidas por recarga de Líquidos de Petróleo. Pág. 7-14.

29 El RVP reportado por PEMEX para el año 2000 de la gasolina Premium y magna fue de 7.6 y 7.8 respectivamente. Con el objeto de homologar las propiedades físicas del combustible en el almacenamiento masivo de combustibles, se decidió utilizar un RVP máximo de 8 y las propiedades fisicoquímicas establecidas en el programa TANKS V.4.0.

30 Subdirección de Análisis e Información - DRAMA-DGGAA-SMA-GDF.

31 Manuales del Programa de Inventarios de Emisiones de México: Volumen V- Desarrollo de Inventario de Emisiones de Fuentes de Área Final. Puede usar la ecuación 7.1-5 para estimar el factor de emisión sin control por desplazamiento.

$$FE_{cg}=264.2*[(-5.9099)-(0.0949*\Delta T)]+(0.0884*Ts)+(0.485*PVR)=1,709[\text{mg/l}]=10.8\text{E-}4 [\text{ton/m}^3]$$

Donde:

FE_{cg} = Factor de emisión no controlada de COT para recarga de combustible [mg/l]

ΔT = Gradiente de temperatura del tanque del vehículo y del combustible despachado [3.24°F]

(La temperatura del combustible en el tanque del vehículo es aproximadamente 25°C (77°F) $\Delta T = (77-73.6) = 3.24$ °F.)

T_s = Temperatura del combustible despachado (temperatura ambiente promedio [73.76°F])

PVR = Presión de Vapor de Reid [7.8 PSIA]

La tabla A.2.31. muestra la distribución de gasolina, así como las emisiones estimadas por entidad federativa y etapa, el análisis se realizó por estación de servicio..

Tabla A.2.31 Emisiones de COT por distribución de gasolina en estaciones de servicio

NES	Delegación y Municipio	Gasolina [m ³]			Emisión [ton/año]					
		Premium	Magna	Total	E1	E2	E3	E4	E5	Et
17	Azcapotzalco	27,991	202,162	230,153	1.51	13.25	1.52	13.67	1.01	30.96
28	Coyoacán	92,252	383,711	475,963	3.12	27.40	3.14	28.26	2.09	64.02
8	Cuajimalpa de Morelos	22,052	91,566	113,618	0.74	6.54	0.75	6.75	0.50	15.28
32	Gustavo A. Madero	51,817	384,901	436,718	2.86	25.14	2.88	25.93	1.92	58.74
15	Iztacalco	27,257	179,012	206,269	1.35	11.88	1.36	12.25	0.91	27.74
45	Iztapalapa	65,255	533,026	598,281	3.92	34.45	3.95	35.52	2.63	80.47
3	Magdalena Contreras, La	6,308	27,176	33,484	0.22	1.93	0.22	1.99	0.15	4.50
1	Milpa Alta		13,759	13,759	0.09	0.79	0.09	0.82	0.06	1.85
19	Álvaro Obregón	74,046	265,755	339,801	2.23	19.56	2.24	20.18	1.50	45.70
3	Tláhuac	4,847	57,261	62,108	0.41	3.58	0.41	3.69	0.27	8.35
8	Tlalpan	20,988	119,456	140,444	0.92	8.09	0.93	8.34	0.62	18.89
6	Xochimilco	16,628	111,731	128,359	0.84	7.39	0.85	7.62	0.56	17.26
34	Benito Juárez	79,899	265,848	345,747	2.26	19.91	2.28	20.53	1.52	46.50
49	Cuauhtémoc	62,082	305,671	367,753	2.41	21.17	2.43	21.83	1.62	49.46
29	Miguel Hidalgo	80,401	263,475	343,876	2.25	19.80	2.27	20.42	1.51	46.25
22	Venustiano Carranza	33,937	241,051	274,988	1.80	15.83	1.81	16.33	1.21	36.99
9	Atizapán de Zaragoza	33,280	123,783	157,063	1.03	9.04	1.04	9.33	0.69	21.12
4	Coacalco de Berriozábal	4,615	36,486	41,101	0.27	2.37	0.27	2.44	0.18	5.53
11	Cuautitlán de Romero	9,763	89,730	99,493	0.65	5.73	0.66	5.91	0.44	13.38
7	Cuautitlán Izcalli	15,236	83,673	98,909	0.65	5.69	0.65	5.87	0.44	13.30
7	Chalco	9,975	72,274	82,249	0.54	4.74	0.54	4.88	0.36	11.06
6	Valle de Chalco Solidaridad	1,508	41,643	43,151	0.28	2.48	0.28	2.56	0.19	5.80
2	Chicoloapan	1,229	10,992	12,221	0.08	0.70	0.08	0.73	0.05	1.64
5	Chimalhuacán	3,155	62,404	65,559	0.43	3.77	0.43	3.89	0.29	8.82
49	Ecatepec de Morelos	49,049	500,193	549,242	3.60	31.62	3.62	32.61	2.42	73.87
8	Huixquilucan	22,959	64,868	87,827	0.58	5.06	0.58	5.21	0.39	11.81
10	Ixtapaluca	5,498	75,885	81,383	0.53	4.69	0.54	4.83	0.36	10.95
19	Naucalpan de Juárez	65,562	303,803	369,365	2.42	21.27	2.44	21.93	1.63	49.68
13	Nezahualcóyotl	13,640	197,363	211,003	1.38	12.15	1.39	12.53	0.93	28.38
5	Nicolás Romero	4,940	47,552	52,492	0.34	3.02	0.35	3.12	0.23	7.06
5	Paz, La	3,294	43,127	46,421	0.30	2.67	0.31	2.76	0.20	6.24
5	Tecámac	6,007	39,856	45,863	0.30	2.64	0.30	2.72	0.20	6.17
31	Tlalnepantla de Baz	53,038	299,896	352,934	2.31	20.32	2.33	20.95	1.55	47.47
16	Tultitlán	9,462	97,191	106,653	0.70	6.14	0.70	6.33	0.47	14.34
212	EDOMEX	312,210	2,190,720	2,502,930	16	144	16	149	11	337
320	D.F.	665,761	3,445,562	4,111,323	27	238	27	244	18	553
532	ZMVM	977,971	5,636,282	6,614,253	43	382	43	393	29	890

E1: Emisiones por pérdidas en tránsito, E2: Emisiones por descarga de pipas a estaciones de servicio, E3: Emisiones por respiración de tanques subterráneos, E4: Emisiones por recarga de gasolina en vehículos, E5: Emisiones por derrames de combustible en la recarga, Et: Emisiones totales del sistema de distribución, NES: Número de estaciones de servicio evaluadas.

Debido a que el contenido de metano y aldehídos en la gasolina es despreciable, la emisión de COT es igual a la emisión de COV, HCNM, HCT.

Carga de combustible en aeronaves

La emisión de hidrocarburos ocurre cuando se recarga el tanque de la aeronave, la cantidad de vapor desplazado depende de la presión de vapor del combustible, la temperatura del tanque y se calculó con la siguiente ecuación:

$$E_{\text{COT},i} = (FE_{\text{COT},i} * Ci) / 2,202.6 = [\text{ton/año}]$$

Donde:

$E_{\text{COT},i}$ = Emisión de COT por recarga del combustible (i)

$FE_{\text{COT},i}$ = Factor de emisión de COT por recarga del combustible (i) [lb/1,000 gal], tabla A.2.32

Ci = Cantidad de combustible (i) en la recarga [1,000 gal], tabla A.2.33

El factor de emisión se ajustó a las características del combustible con la siguiente expresión:

$$FE_{\text{COT},i} = 12.48 * (S * P * PM / T) = [\text{lb/1,000 gal}]$$

Donde:

$FE_{\text{COT},i}$ = Factor de emisión de COT por recarga del combustible (i) [lb/1,000 gal], tabla A.2.32

S = Factor de saturación [1.45]³²

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

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

T = Temperatura de la masa del combustible (i) a temperatura ambiente [533.36 °R]

Tabla A.2.32 Propiedades (PM y P, S) y factor de emisión por combustible

Combustible (l)	S	P @73.36°F [PSIA]	PM [lb/lb-mol]	T [°R]	Factor de emisión [lb COT/1,000 gal]
Turbosina	1.45	9E-3	130	533.36	3.79E-2
Gas avión 100/130	1.45	5	65.3	533.36	9.733

Fuente: PEMEX Gas y Petroquímica Básica/ Manual del Programa de Inventarios de Emisiones de México.
Fuentes de Área. Nota: Las emisiones de COV constituyen el 100% de los COT, debido a que las fracciones de metano y etano son despreciables.

El cálculo de emisiones considera el consumo de turbosina y gas avión reportado en la tabla A.2.33 y el factor de emisión por tipo de combustible “tabla A.2.32”. La tabla A.2.33, muestra la emisión de COT por tipo de combustible.

Tabla A.2.33 Consumo de combustible y emisión generada en recarga de aeronaves

Combustible (i)	Consumo [1,000 gal/año]	Emisión de COT [ton/año]
Turbosina	322,735	5.55
Gas avión 100/130	84.7	0.37

Fuente: Con datos de PEMEX Refinación, 2004.
Aeropuerto y Servicios Auxiliares “ASA”, 2005.
La emisión de COT es igual a la emisión de COV.

Almacenamiento y distribución de GLP

La importancia de contabilizar la emisión de este hidrocarburo, radica en la alta concentración en el ambiente de la ZMVM de propano y butano³³ por emisiones fugitivas de GLP. Las emisiones fugitivas en terminales de almacenamiento y distribución se generan durante el almacenamiento, descarga-recarga de auto-tanques y recarga de recipientes portátiles. La estimación de emisiones de COT se realiza con la siguiente ecuación:

$$E_{COT,j} = FE_{COT,j} \cdot FA_j$$

Donde:

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

$FE_{COT,j}$ = Factor de emisión de COT asociado a la actividad (j), tabla A.2.34

FA_j = Factor de actividad (j)

Los factores de emisión fueron obtenidos de la memoria técnica Efecto de los componentes del Gas Licuado de Petróleo en la Acumulación de Ozono en la Atmósfera de la Zona Metropolitana del Valle de México³³ y son reportados en la tabla A.2.34.

Tabla A.2.34 Factor de emisión en almacenamiento y distribución de GLP

Categoría	Actividad j	Factor de emisión COT	Unidades
Almacenamiento masivo de GLP en terminales	Almacenamiento	0.179	[kg/ton]
	Carga de auto-tanque	0.471	
	Descarga de semirremolques	0.179	
	Llenado de recipientes portátiles	0.563	
Distribución de GLP	Estaciones de servicio	8.356	
	Tanques estacionarios	0.474	
	Venta de tanque portátil	8.6E-4	

Fuente: PEMEX 1997. Efecto de los Componentes del Gas Licuado de Petróleo en la acumulación de Ozono en la Atmósfera de la Zona Metropolitana del Valle de México.

La emisión de CH₄ se calculó por balance de materiales con la siguiente información:

Volumen de GLP=1 [l]

δ_{GLP} = 0.555 [ton/m³]

δ_{CH_4} = 0.554 [ton/m³]

V_{CH_4} = 0.01 [%v]

Contenido de metano en 1 litro de GLP = $(1) \cdot (0.01/100) = [1 \cdot 10^{-5} \text{ l CH}_4 / \text{l GLP}]$
 $= (1 \cdot 10^{-5} / 1,000) \cdot 0.554 = [5.54 \cdot 10^{-8} \text{ ton CH}_4 / \text{l GLP}]$

Peso de 1 litro de GLP = $(1/1,000) \cdot (0.555) = [5.55 \cdot 10^{-4} \text{ ton GLP / l GLP}]$

Por lo tanto, se estima que por cada tonelada de GLP que se emite a la atmósfera por fugas contiene $9.98 \cdot 10^{-5}$ toneladas de CH₄.

$$\frac{5.54 \cdot 10^{-8} [\text{ton CH}_4 / \text{l GLP}]}{5.55 \cdot 10^{-4} [\text{ton GLP / l GLP}]} = [9.98 \cdot 10^{-5} \text{ ton CH}_4 / \text{ton GLP (referido a COT)}]$$

33 PEMEX Gas y Petroquímica Básica, 1997. Efecto de los componentes del Gas Licuado de Petróleo en la Acumulación de Ozono en la Atmósfera de la Zona Metropolitana del Valle de México.

Se asume que las emisiones de COV representan el 98.4% de COT y debido a que no se emiten aldehídos la emisión de hidrocarburos totales es igual a la emisión de COT; así mismo, la diferencia entre los COT y el CH₄ es igual a los hidrocarburos no metánicos.³⁴

Los indicadores de actividad que se presentan en la tabla A.2.35 se obtuvieron con las siguientes consideraciones³⁵.

- **Almacenamiento:** Volumen de GLP suministrado a cada una de las plantas de almacenamiento y distribución, equivalente a la descarga por semirremolque.
- **Carga de auto-tanques:** Volumen de GLP suministrado a tanques estacionarios del sector industrial, comercial, auto-transporte y residencial, equivalente a la recarga de auto-tanques en por planta de almacenamiento y distribución.
- **Descarga de semirremolques:** Se desconoce el porcentaje de distribución por semirremolque y por ductos, por lo tanto, se considera que la distribución total de GLP a la ZMVM (1'605,094 ton.) se realizó por semirremolques, misma que fue transferido a las terminales de almacenamiento y distribución del Distrito Federal y del Estado de México a razón del 13% y 87% respectivamente.
- **Llenado de recipiente portátil:** Considera el 51% del suministro al sector residencial por entidad federativa.
- **Estaciones de carburación:** Es la cantidad de GLP suministrado al sector auto-transporte.
- **Tanques estacionarios:** Cantidad de gas suministrado a tanques estacionarios y es la suma del consumo en el sector industrial, comercial y Autotransporte, más el 49% del suministro al sector residencial.
- **Venta de tanques portátiles:** Es equivalente a la recarga de recipientes portátiles en la terminal de almacenamiento, solo que su emisión se da fuera de las plantas de almacenamiento y distribución.

Tabla A.2.35 Indicadores de actividad para almacenamiento y distribución de GLP.

Categoría	Entidad Federativa	Estado de México	Distrito Federal	ZMVM	Unidades
Almacenamiento masivo de GLP en terminales.	Almacenamiento	1,396,432	208,662	1,605,094	ton/año
	Carga de auto-tanques	957,142	143,022	1,100,164	
	Descarga de semirremolques	1,396,432	208,662	1,605,094	
	Llenado de recipientes portátiles	532,467	79,564	612,031	
Distribución de GLP	Estaciones de servicio	41,368	98,275	139,643	
	Tanques estacionarios	558,373	541,791	1,100,164	
	Venta de tanque portátil	302,064	309,967	612,031	

Fuente: Elaborada con información de la Secretaría de Energía 2004, PEMEX Gas y Petroquímica Básica 2004.

La tabla siguiente muestra las emisiones obtenidas por actividad y entidad federativa.

Tabla A.2.36 Emisión de COT por distribución de GLP

Categoría	Actividad j	Emisiones [ton/año]								
		Estado de México			Distrito Federal			ZMVM		
	Contaminante	COT	COV	CH ₄	COT	COV	CH ₄	COT	COV	CH ₄
Almacenamiento masivo de GLP en terminales.	Almacenamiento	3	3	3.0E-4	1	1	1.0E-4	4	4	4.0E-4
	Carga de auto-tanques	486	479	4.9E-2	73	72	7.3E-3	559	551	5.6E-2
	Descarga de semirremolques	250	246	2.5E-2	37	36	3.7E-3	287	282	2.9E-2
	Llenado de recipientes portátiles	300	295	3.0E-2	45	44	4.5E-3	345	339	3.4E-2
Distribución de GLP	Estaciones de servicio	346	340	3.5E-2	821	808	8.2E-2	1167	1148	1.2E-1
	Tanques estacionarios	278	273	2.8E-2	285	280	2.8E-2	563	553	5.6E-2
	Venta de tanque portátil	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S
Total		1,663	1,636	1.7E-1	1,262	1,241	1.3E-1	2,925	2,877	2.9E-1

Fugas en instalaciones de gas L.P.

34 Fuente: Manuales del Programa de Inventarios de Emisiones de México: Volumen V- Desarrollo de Inventario de Emisiones de Fuentes de Área.

35 SENER 2005. Suministro de GLP por terminal de almacenamiento.

La emisión de hidrocarburos de GLP por fugas y de hidrocarburos no quemados en instalaciones del sector industrial, habitacional y comercial-institucional, se calculó con la siguiente ecuación:

$$E_{COT,j} = FE_{COT,j} \cdot FA_j$$

Donde:

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

$FE_{COT,j}$ = Factor de emisión de COT asociado a la actividad (j), tabla A.2.34

FA_j = Factor de actividad (j)

Los factores de emisión reportados en la tabla A.2.37, fueron obtenidos de PEMEX³⁶ y del TÜV Rheinland de México.³⁷

Tabla A.2.37 Factor de emisión por fugas de GLP y de HCNQ

Categoría	Sector	Fuente de emisión "Actividad"	Factor de emisión COT	Unidades
Accesorios en instalaciones domésticas	**Residencial	Tanque portátil "TP"	3.03E-05	ton/#TP
		Conexiones en TP	2.07E-03	
		Pictetes en TP	1.97E-03	
		Válvulas de paso en TP	2.42E-05	
		Reguladores en TP	1.09E-03	ton/#TE
		Tanque estacionario "TE"	1.05E-03	
		Válvulas de paso en TE	2.42E-05	
		Reguladores en TE	1.09E-03	
		Estufas	1.21E-04	ton/#EF
		Calentadores	1.21E-04	ton/#CAL
	*Servicios		0.271	kg/ton GLP
	*Industria		0.695	
Apagado y encendido de pilotos	**Residencial	Pilotos apagados en estufas	1.02E-03	ton/#Efc
		Pilotos apagados en calentadores	1.57E-07	ton/#CAL
		Pilotos encendido de estufas	2.24E-04	ton/#Efc
		Pilotos encendido de calentadores	1.57E-07	ton/#CAL
HNQC	**Residencial	Estufas	5.42E-03	ton/#Efc
		Calentadores	2.33E-03	ton/#CAL
	*Servicios		15	kg/ton GLP
	*Industria		15	

Fuente: * PEMEX Gas y Petroquímica Básica 1997. TÜV Rheinland de México S.A. de C.V., 2000.

** Manuales del Programa de Inventarios de Emisiones de México: Volumen V- Desarrollo de Inventario de Emisiones de Fuentes de Área

HNQC: Hidrocarburos no quemados por combustión

TP: Número de tanques portátiles

TE: Número de tanques estacionarios

ESTF: Número de estufas a GLP

ESTFcp: Número de estufas con piloto

CAL: Número de calentadores

Para calcular la emisión de CH_4 , se utiliza el factor ($9.98 \cdot 10^{-5}$ ton CH_4 /ton de COT). La emisión de COV se calculó por el 98.4% de la emisión de COT y para la estimación de HCNM y HCT se utiliza la siguiente expresión "ver almacenamiento y distribución de GLP.

$$E_{HCNM} = E_{COT} \cdot E_{CH_4} \cdot E_{Aldehídos}$$

$$E_{HCT} = E_{COT} \cdot E_{Aldehídos}$$

Donde

36 PEMEX Gas y Petroquímica Básica, 1997. Memoria técnica del estudio: Efecto de los componentes del Gas Licuado de Petróleo en la Acumulación de Ozono en la Atmósfera de la Zona Metropolitana del Valle de México.

37 TÜV Rheinland de México S.A. de C.V. Programa para la Reducción y Eliminación de Fugas de Gas L.P. en las Instalaciones Domésticas, ZMMV 2000.

E_{HCNM} = Emisión de HCNM

E_{COT} = Emisión de COT

E_{CH_4} = Emisión de CH_4

$E_{\text{Aldehídos}}$ = Emisión de Aldehídos

Los datos de actividad como son el nivel de población y viviendas,³⁸ son necesarios para estimar el número de accesorios o equipos (tanques portátiles, estacionarios, estufas y calentadores) en casa habitación.

Tabla A.2.38 Indicadores demográficos³⁸

Entidad	Población	Viviendas
Distrito Federal	8,686,849	2,232,548
Estado de México	8,914,136	2,137,750
ZMVM	17,600,985	4,370,298

Tabla A.2.39 Factores de saturación de equipos a GLP

Factor de saturación de estufas a GLP	
Estufas a GLP	0.971
Con piloto	0.798
Sin piloto (encendido con cerillo)	0.095
Encendido electrónico	0.107
Factor de saturación de calentadores a GLP	
Factor de saturación de calentadores a GLP	0.644
Factor de saturación de instalaciones a GLP	
Con tanque portátil.	0.808
Con tanque estacionario.	0.192

Fuente: Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos en los Hogares,-2002.

Estimación del número de accesorios para el Distrito Federal

Considera que cada vivienda ocupa por lo menos una estufa, es decir:

$$\# \text{ Viviendas} = \# \text{ Estufas} = 2'232,548$$

El número de estufas y el factor de saturación de estufas a GLP dan como resultado las estufas que utilizan GLP:

$$\# \text{ Estufas}_{\text{GLP}} = \# \text{ Estufas} * 0.971 = 2'167,533 \text{ estufas a GLP}$$

Se asume que por lo menos cada estufa tiene un tanque portátil; con el factor de saturación de estufas a tanque portátil se obtiene el número de tanques:

$$\# \text{ Tanques Portátil} = \# \text{ Estufas}_{\text{GLP}} * 0.808 = 1'750,566 \text{ recipientes portátil}$$

Con el número de estufas a GLP y el factor de saturación de estufas a tanque estacionario, tenemos el número de tanques estacionarios:

$$\# \text{ Tanques Estacionarios} = \# \text{ Estufas}_{\text{GLP}} * 0.192 = 416,967 \text{ recipientes estacionarios}$$

El número de calentadores se calculó con el número de viviendas y el factor de saturación de calentadores a GLP:

$$\# \text{ Calentadores} = \# \text{ Viviendas} * 0.644 = 1'438,545 \text{ calentadores}$$

38 INEGI, XII Censo General de Población y Vivienda 2000. CONAPO, Escenarios Demográficos y Urbanos de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México 1990-2010.

El número de estufas con piloto fue estimado con el número de estufas a GLP y el factor de saturación de estufas a GLP con piloto:

$$\# \text{Estufas con piloto a gas L.P.} = \# \text{Estufas} * 0.798 = 1'729,691 \text{ estufas con piloto}$$

De la misma forma se estimo el equipamiento para el Estado de México, los resultados obtenidos se muestran en la tabla A.2.40.

Tabla A.2.40 Equipamiento por entidad federativa

Tipo	Distrito Federal	Estado de México
Estufas	2,232,548	2,137,540
Estufas a GLP	2,167,533	2,075,495
Calentadores a GLP	1,438,545	1,377,462
Tanque portátil "TP"	1,750,566	1,676,233
Tanque estacionario "TE"	416,967	399,262

La tabla A.2.41 muestra las emisiones estimadas por fugas en instalaciones y de hidrocarburos no quemados por sector.

Tabla A.2.41 Emisiones estimadas en instalaciones domésticas a GLP

Categoría	Fuente de emisión "Actividad"	Emisión [ton/año]					
		Distrito Federal		Estado de México		ZMVM	
		COT	COV	COT	COV	COT	COV
Accesorios en instalaciones domésticas	Tanque portátil "TP"	6	6	6	6	12	12
	Conexiones en TP	3,623	3,565	3,469	3,414	7,092	6,979
	Picteles en TP	3,448	3,393	3,302	3,249	6,750	6,642
	Válvulas de paso en TP	42	41	41	40	83	81
	Reguladores en TP	1,908	1,877	1,827	1,798	3,735	3,675
	Tanque estacionario "TE"	437	431	419	412	856	843
	Válvulas de paso en TE	10	10	10	10	20	20
	Reguladores en TE	454	447	435	428	889	875
	Estufas	262	258	251	247	513	505
	Calentadores	175	171	167	164	342	335
Apagado y encendido de pilotos	Apagados en estufas	1,764	1,736	1,689	1,662	3,453	3,398
	Apagados en calentadores	0.23	0.22	0.22	0.21	0.45	0.43
	Encendido de estufas	387	381	371	365	758	746
	Encendido de calentadores	0.23	0.22	0.22	0.21	0.45	0.43
HNQC	Estufas	11,748	11,560	11,249	11,069	22,997	22,629
	Calentadores	3,352	3,298	3,209	3,158	6,561	6,456

Tabla A.2.42 Emisiones estimadas sector industrial, comercial-institucional a GLP

Categoría	Fuente de emisión "Actividad"	Emisión [ton/año]					
		Distrito Federal		Estado de México		ZMVM	
		COT	COV	COT	COV	COT	COV
Fugas en instalaciones	Industria	14	14	22	22	37	36
	Comercial-Institucional	103	101	106	104	21	205
Hidrocarburos No quemados	Industria	789	776	1,233	1,214	2,022	1,990
	Comercial-Institucional	2,221	2,185	2,279	2,242	4,499	4,427
Total		3,127	3,076	3,640	3,582	6,579	6,658

A.2.5. Fuentes industriales ligeras y comerciales

Panaderías

La emisión de COT en esta categoría es principalmente etanol como subproducto del proceso de fermentación de la levadura y el horneado de la misma y depende de la cantidad de azúcar fermentable en la masa, el tiempo y temperatura de horneado, entre los principales. El cálculo de emisiones se realiza con la siguiente ecuación:

$$E_{\text{COT}} = FE_{\text{COT}} \cdot FA$$

Donde:

E_{COT} = Emisión de COT [kg/año]

FE_{COT} = Factor de emisión de COT [26.38E-2 kg COT/hab-año]³⁹

FA = Factor de actividad en el área de estudio [hab/año] tabla A.2.43

Tabla A.2.43 Indicadores de actividad por entidad federativa

Entidad Federativa	Estado de México	Distrito Federal	ZMVM
Habitantes, 2004	8,914,136	8,686,849	17,600,985
% Habitantes	50.64	49.35	100

Fuente: INEGI, XII Censo General de Población y Vivienda 2000.

CONAPO 2002, Proyecciones Municipales de población 1995-2010.

Debido a que el proceso de fermentación carece de la generación de metano y aldehídos, las emisiones de HCT y HCNM serán iguales a la emisión de COT. La tabla A.2.44, muestra las emisiones obtenidas.

Tabla A.2.44 Factor de emisión y emisiones generadas por panaderías

Contaminante	Factor de emisión [kg/hab]	Emisiones de COT [ton/año]		
		Estado de México	Distrito Federal	ZMVM
Compuestos Orgánicos Totales	0.26389	2,352	2,292	4,644
Compuestos Orgánicos Volátiles	0.26389	2,352	2,292	4,644

Esterilización en hospitales

La emisión de COT por esterilización en hospitales fue estimada con factor de emisión⁴⁰ en función al número de camas, con la siguiente ecuación:

$$E_{\text{COT},j} = (FE_{\text{COT},j} \cdot FA_j) / 1000$$

Donde:

$E_{\text{COT},j}$ = Emisión de COT asociada a la unidad medica (j) [ton/año]

$FE_{\text{COT},j}$ = Factor de emisión de COT asociado al numero de camas de la unidad medica (j) [kg/cama/año], tabla A.2.45

FA_j = Numero de camas en la unidad medica (j) [cama/año], tabla A.2.46

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

39 SMA-GDF Inventario DE Emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México, 2002.

40 Procedures for Estimating and Allocating Area Source missions of Air Toxics. EPA Contract No. 68-02-4254 Work Assignment No.105

Tabla A.2.45 Factores de emisión para esterilización en hospitales

Rango	Factor de emisión [kg/cama-año]
200 >x<500	0.590
x<200	0.770
x>500	0.820

El nivel de actividad fue obtenido del Directorio de Unidades Médicas 2002, de la Secretaría de Salud⁴¹. La base de datos presenta información sobre el número de camas del sector público y privado para el año 2002, el cálculo del año 2004 se realizó como un estimado del número de camas a nivel nacional.

Tabla A.2.46 Emisión de COT generado en hospitales

Entidad	Numero de camas	Emisión de COT [ton/año]
Distrito Federal	23513	17
Estado de México	3410	2
ZMVM	26923	19

Nota: El análisis se realizó por unidad médica

Debido a que la composición de los solventes utilizados no cuenta con metano, las emisiones de HNM y HCT son iguales a la emisión de COT, igual a la emisión de COV.

A.2.6. Manejo de residuos

Rellenos sanitarios

Para el año 2004, la Secretaría de Obras y Servicios del Distrito Federal, reporta una producción *per cápita* de basura de 1.5 kg por día⁴²; generándose cerca de 12 mil toneladas de residuos sólidos al día (ver tabla A.2.47) y solo el 10% es recuperado, aproximadamente el 90% es transferido a disposición final.

Tabla A.2.47 Composición de los residuos sólidos municipales

Concepto	Composición [%W]
Residuos alimenticios	31.6
Papel y Cartón	14.2
Desechos de jardinería	9.8
Metal	3.1
Vidrio	6.6
Textiles	1.2
Plástico	5.8
Otros (sin clasificar)	27.7

Fuente: Fundación de Estudios Urbanos y Metropolitanos, 2004

El metano (CH₄) y el dióxido de carbono (CO₂) son los principales constituyentes de los gases que se desprenden de la degradación de residuos en un relleno sanitario, la estimación de emisiones se realiza con el modelo LANDFILL⁴³ y se requiere de información relacionada al sitio de disposición (tasa de aceptación anual, año de apertura, año de clausura, capacidad del sitio) como se muestra en la tabla A.2.48.

41 Recursos materiales de Instalaciones médicas del DDF, IMSS, ISSSTE, SSA y Privados
<http://sinais.salud.gob.mx/recursos/recursoshumanos.htm>

42 Mora Reyes, 2004. Fundación de Estudios Urbanos y Metropolitanos.

43 U.S. EPA, May 1998; User's Manual Landfill Gas Emissions Model V.2.01, <http://www.epa.gov/ttn/atw/landfill/landfillpg.html>

Tabla A.2.48 Indicadores de actividad en rellenos sanitarios

Sitio de Disposición	Año de Apertura	Año de Clausura	Cantidad Dispuesta [ton/año]
Bordo Poniente Etapa I	1985	1992	3,323,247
Bordo Poniente Etapa II	1986	1991	3,659,368
Bordo Poniente Etapa III	1992	1994	5,819,892
Bordo Poniente Etapa IV	1995	En uso	30,002,556
Santa Catarina	1982	2001	13,153,018
Prados de la Montaña	1987	1994	5,353,270

Fuente: Secretaría de Obras y Servicios/ Dirección General de Servicios Urbanos: Manejo de Residuos Sólidos en el D.F., 2004.

Debido a que la emisión de aldehídos es despreciable, la emisión de HCT es igual a HCNM más CH₄ y la emisión de COT es igual a la emisión de HCT; por su parte, la emisión de COV es el 0.5% de COT. Los resultados de la aplicación del programa, se presentan en la tabla A.2.49.

Tabla A.2.49 Emisiones generadas por rellenos sanitarios

Entidad	Sitio de disposición	CO	CO ₂	COV	COT	CH ₄	HCNM	HCT
Álvaro Obregón	Prados de la montaña	17	43,670	681	16,604	15,920	684	16,604
Nezahualcóyotl	Bordo poniente Etapa 1 a Etapa 4	177	449,190	7,002	170,723	163,686	7,037	170,723
Paz, La	Santa Catarina	47	120,000	1,871	45,620	43,740	1,880	45,620
Estado de México		224	569,190	8,873	216,343	207,426	8,917	216,343
Distrito Federal		17	43,670	681	16,604	15,920	684	16,604
ZMVM		241	612,860	9,553	232,947	223,346	9,601	232,947

Tratamiento de aguas residuales

Para estimar las emisiones de esta categoría, se utilizó la metodología del Manual del Programa de Inventario de Emisiones para México (Radian Internacional, 1997), la cual se basa en un factor de emisión, aplicando la siguiente ecuación:

$$E_{\text{COT}} = (\text{VART} \cdot \text{FE}_{\text{COT}}) / 1,000$$

Donde:

E_{COT} : Emisión de COT [ton/año]

VART: Volumen de agua residual tratada [l/año]

FE_{COT} : Factor de emisión COT [1.3×10^{-5} kg/l agua tratada-año]

1000: Factor de conversión de [kg] a [ton]

Debido a la ausencia de aldehídos, se asume que las emisiones de HCT son iguales a los COT, así mismo, la emisión de COV representan el 92% de los COT.

Para el año 2004 se estimó un nivel de tratamiento de aguas residual de 201'757,633 m³, de los cuales el 52% fueron tratadas en las plantas de tratamiento del Distrito Federal y el 48% en el Estado de México.

Tabla A.2.50 Volumen de agua tratada y emisión de contaminantes

Entidad	VART [m ³ /año]	COT [ton/año]	COV [ton/año]
Distrito Federal	96,864,087	1,401	1,289
Estado de México	104,893,546	1,225	1,127
ZMVM	201,757,633	2,626	2,416

Fuente: Comisión Nacional del Agua, Gerencia Nacional de Aguas del Valle de México y Sistema Cutzamala. Julio 2004. Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica.

VART: Volumen de Agua Residual Tratada.

Incendios en estructuras

Los incendios en estructuras en casa habitación, hoteles, departamentos y comercios, entre otros, son considerados como fuentes de contaminación por combustión, a diferencia de muchas otras, estos son involuntarios y la cantidad de material consumido puede ser difícil de determinar. Para la estimación de emisiones es de gran utilidad determinar la cantidad de material combustible, éste deberá incluir los materiales correspondientes a la estructura del edificio, el mobiliario y decoración.

En esta sección se incluyen valores típicos de residencias en los Estados Unidos, sin embargo a diferencia en México, el diseño en la construcción de hogares es generalmente de ladrillo o mampostería y metales y en poca escala el uso de maderas; Por lo tanto, deberá considerar esta diferencia para la estimación de emisiones.

$$E_i = (F_{Ei} \cdot (I \cdot \%W \cdot (MI + MC))) / 1,000$$

Donde:

E_i = Emisión del contaminante (i) [kg/año]

F_{Ei} = Factor de emisión del contaminante (i) [kg/Mg], tabla A.2.51

I = Número de incendios por año [año], tabla A.2.52

$\%W$ = Promedio porcentual de pérdida estructural [7.3%]

MI = Cantidad de Material contenido en el Inmueble [Mg], tabla A.2.53

MC = Cantidad de material estructural [Mg], tabla A.2.53

Los factores de emisión por contaminante se reportan en la tabla A.2.51 y el número de incendios⁴⁴ se presentan en la tabla A.2.52. La emisión de partículas menores a 2.5 micrómetros representan el 91.4% de las PM_{10} y la emisión de aldehídos el 2% de las emisiones de COT (Radian Internacional, 1997).

Tabla A.2.51 Factores de Emisión para incendios en estructura

Factor de emisión (F_i) [kg/Mg]		
PM	84	Factor de emisión obtenido a partir de pruebas como modelo en la quema de madera en el interior de edificios.
CO	5.4	
COT	6.95	
COV	4.85	
NOx	2	Factor de emisión, propuesto por el AP-42 y considerado como similar para residuos municipales e incendios estructurales

44 Secretaría de Seguridad Pública, Dirección General del Heroico Cuerpo de Bomberos, 2004.

Tabla A.2.52 Número de incendios en estructuras por entidad federativa

Lugar	Distrito Federal*	Estado de México**
Asentamientos irregulares	11	11
Bancos	2	2
Casa particular	861	884
Casa vecindad	56	57
Centros culturales	125	128
Comercios	201	206
Edificios de departamentos	433	444
Edificios públicos	46	47
Escuelas	46	47
Fábricas / industrias	81	83
Hospitales	15	15
Hoteles	9	9
Iglesias	6	6
Instalaciones de F.F.C.C.	4	4
Mercados	53	54
Panteones	34	35
Predio baldío	897	920
Reclusorios	8	8
Talleres	22	23
Terrenos de gobierno	29	30
Vía pública	1,755	1,801
Total	3,438	3,526

Fuente: Dirección General del Heroico Cuerpo de Bomberos, 2004.

** Obtenido con la cantidad de incendios y habitantes.

Se debe estimar el porcentaje promedio de pérdida estructural debido a que el material disponible en la estructura no es consumido por el fuego al 100%. Para que sea afectada la construcción de varilla, tabique y concreto es necesaria que transcurra un tiempo estimado entre 3 y 4 horas en un inmueble y que además este permanezca cerrado para que pueda dañar los materiales de construcción.⁴⁵

En California el porcentaje de pérdida estructural se ha estimado en 7.3% este dato puede ser utilizado como default, siendo deseable una estimación específica para la ZMVM. Ha diferencia de Estados Unidos, en México los materiales de construcción generalmente son de mampostería y metales, en menor cantidad se requiere del uso de madera, por lo tanto el material estructural combustible se considera como cero. La tabla A.2.54 muestra las emisiones estimadas del sector.

⁴⁵ Superintendente Agustín Aguilar López, Jefe del Heroico Cuerpo de Bomberos

Tabla A.2.53 Material estructural presente en interior de casa habitación

Estructura	MC [Mg]	MI [Mg]
Casa particular	0	3.249
Casa vecindad	0	1.218
Edificios de departamentos	0	2.031
Predio baldío, casas, construcción abandonada	0	4.061
Edificios públicos	0	24.368
Comercios	0	1.625
Fábricas / industrias	0	20.307
Asentamiento irregular	0	8.123
Bancos	0	4.061
Escuelas	0	48.736
Hospitales	0	60.920
Iglesias	0	9.747
Hoteles	0	19.494
Talleres	0	1.625
Mercados	0	24.368
Reclusorios	0	12.184
Centros culturales	0	3.249

Fuente: Manuales del Programa de Inventarios de Emisiones de México: Volumen V- Desarrollo de Inventario de Emisiones de Fuentes de Área.

MC: Material de construcción contenido; MI: Cantidad de Material combustible contenido en el inmueble

Tabla A.2.54 Emisiones estimadas en incendios estructurales

Entidad	PM ₁₀	PM _{2.5}	SO ₂	CO	NO _x	COV	COT	HCNM	HCT	Aldehídos
Distrito Federal	14	12	N/E	214	5	12	18	17	17	0.35
Estado de México	14	13	N/E	220	5	12	18	18	18	0.36
ZMVM	28	25	N/E	434	10	24	36	35	35	0.72

N/E: No estimado

Incendios Forestales

El cálculo de emisiones por incendios forestales, se realizó con la siguiente ecuación:

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

Donde:

E_{ij} = Emisiones del contaminante (i) por la vegetación (j)

FE_{ij} = Factor de emisión del contaminante (i) para la vegetación (j) [g/kg]

L= Carga de combustible [kg/ha]

C= Porcentaje de combustible consumido en el incendio

A= Superficie quemada [ha]

i= Tipo de contaminante

A cada contaminante le corresponde un factor de emisión ($FE_{i,j}$) por tipo de vegetación quemada, el cual se obtiene utilizando la siguiente tabla de algoritmos “tabla A.2.55:

Tabla A.2.55 Algoritmo para la estimación de factores de emisión por incendios forestales [g/kg]

Contaminante	Algoritmo (FE_{ij})
CO	$961 - (\eta * 984)$
CH ₄	$42.7 - (\eta * 43.2)$
HCNM	$0.76 + (FE_{CH_4} * 0.616)$
HCT	$FE_{[CH_4]} + FE_{NMHC}$
PM ₁₀	$1.18 * FE_{PM_{2.5}}$
NO _x	2.5 forestal y 3.5 pastos
NH ₃	$0.0073 * CO$
SO ₂	0.83

Debido a que no se cuenta con información para separar las fases de combustión, se considero la eficiencia promedio de combustión por tipo de vegetación afectada; por su parte, la carga de combustible (L) es un estimado en base seca “tabla A.2.56”. La carga de combustible (C) supone que el 100% es consumido, por lo tanto (C=1).

Tabla A.2.56 Eficiencia de combustión, factor de emisión de PM_{2.5} y carga de combustible

Vegetación	Carga de combustible [L] [kg/ha]	Factor de Emisión de PM _{2.5} [g/Kg.]	Eficiencia de combustión [η]
Cola de antilope-pasto	2,317	6.99	0.90
Roble -pino	2,317	6.95	0.90
Bosque de roble azul	819	8.09	0.89
Mezquite	2,396	6.99	0.90
Pino-arbusto	7,649	8.26	0.89
Pino-pastizal	5,951	9.45	0.87
Abeto	7,968	9.28	0.87

Fuente: AP-42 (US EPA, 1996), Thompson G. Pace (200246)

La base de datos sobre el número de incendios forestales en la ZMVM es proporcionada por la CORENADER⁴⁷ (Distrito Federal) y por la CONAFOR⁴⁸ (EDOMEX), obteniendo una cobertura digital de incendios forestales sobre el mapa de vegetación (SEMARNAT, 2000⁴⁹) para la ZMVM. La tabla A.2.57. muestra las emisiones estimadas por entidad federativa en la ZMVM.

Tabla A.2.57 Emisiones estimadas por incendios forestales

Entidad	Emisiones [ton/año]										
	PM ₁₀	PM ₂₅	SO ₂	CO	NOx	COT	CH ₄	COV	NH ₃	HCNM	HCT
Distrito Federal	49	40	5	438	16	30	21	14	2	9	28
Estado de México	8	7	N/S	87	2	5	5	2	N/S	1	5
ZMVM	57	47	5	525	18	35	26	16	2	10	33

N/S: No Significativo

Emisiones domésticas de amoníaco

El amoníaco como parte del ciclo del nitrógeno es uno de los principales contribuyentes de la formación de aerosoles en la atmósfera, como ión amonio reacciona rápidamente con nitratos y sulfatos o con otros aniones para formar material particulado, siendo este uno de los principales problemas ambientales de la ZMVM⁵⁰.

Las actividades a inventariar en esta categoría son:

- Respiración y transpiración humana
- Desechos de perros y gatos
- Uso doméstico de amoníaco
- Humo de cigarrillos
- Pañales desechables
- Desecho humano

46 US EPA, February 2002. Thompson G. Pace, 2002. Development of Emissions Inventory Methods for Wild land Fire. Final Report

47 Comisión de Recursos Naturales y Desarrollo Rural del Distrito Federal, 2004.

48 Comisión Nacional Forestal, 2004.

49 Inventario Nacional Forestal 2000.

50 CENR, 2000.

En general la estimación de emisiones se realiza con un factor de emisión y el nivel de actividad, como se muestra en la tabla A.2.58.

Tabla A.2.58 Información para el cálculo de amoniaco por fuentes domésticas

Tipo de fuente	Factor de Emisión [FE]	Fórmula de cálculo	Información requerida
Perros *	2.49 kg/cabeza/año	$E = P \cdot PM \cdot FE$	PM= 122 perros/1,000 habitantes
Gatos*	0.82 kg/cabeza/año	$E = P \cdot PM \cdot FE$	PM= 83 gatos/1,000 habitantes
Ratas	130 mg/cabeza/año	$E = P \cdot PM \cdot FE$	PM= 1.4 ratas/ habitante
Transpiración humana	0.25 kg/persona/año	$E = P \cdot FE$	P= población
Respiración humana	1.6E-3 kg/persona/año	$E = P \cdot FE$	P= población
Desechos humano	2.3E-2 kg/persona/año	$E = P \cdot FE$	P= población
Uso doméstico de amoniaco	2.3E-2 kg/persona/año	$E = P \cdot FE$	P= población
Pañales (desechables)	0.16 kg/infante/año	$E = PI \cdot FE$	PI= infantes menores de 3 años
Cigarrillos	5.2 mg/cigarrillo	$E = C \cdot FE$	C= número de cigarrillos
Alcantarillas**	80.4 g/persona/año	$E = FE \cdot P$	P= población

Fuente: Programa de Inventario de Emisiones para México.

*(USDA-ARS, 2002⁵¹) Las emisiones de amoniaco generadas por los animales domésticos, se basa en la realización del promedio del nitrógeno excretado, por lo tanto, estas emisiones pueden variar dependiendo del tipo de hábitat, alimentación, manejo de los desechos, entre las principales.

** (IMP, 1998) Inventario de Amoniaco para la Zona Metropolitana del Valle de México.

La población utilizada es una estimación correspondiente al año 2004⁵², para el cálculo de emisiones de perros y gatos, se utilizó el factor per cápita de mascotas, recomendado para áreas urbanas de USA; la estimación de amoniaco por consumo de cigarrillos, se realizó considerando a la población de fumadores y el número de cigarrillos consumidos por edad y sexo⁵³. La tabla A.2.59, muestra la cantidad de amoniaco estimado por actividad.

Tabla A.2.59 Emisiones de amoniaco por fuentes domésticas

Fuentes Domésticas	Emisiones [ton/año]		
	Distrito Federal	Estado de México	ZMVM
Perros	2,639	2,708	5,347
Gatos	591	607	1,198
Ratas	2	2	4
Transpiración humana	2,172	2,229	4,401
Respiración humana	14	14	28
Desechos humano	200	205	405
Uso doméstico de amoniaco	200	205	405
Pañales (desechables)	95	113	208
Cigarrillo	59	55	114
Alcantarillas	698	717	1,415
Total	6,670	6,855	13,525

51 United States Department of Agriculture-Agricultural Research Services. National Programs

52 Secretaría del Medio Ambiente del GDF. Dirección de Inventario de Emisiones y Fuentes Estacionarias, población estimada con base en el Censo de Población y Vivienda 1995 y 2000 de INEGI.

53 SSA-COANDIC, 2002. Secretaría de Salud - Consejo Nacional Contra las Adicciones. Encuesta Nacional de Adicciones 2002.

Vialidades pavimentadas

La cantidad de material particulado por el paso de la flota vehicular en las vialidades pavimentadas se estimó por medio de la siguiente ecuación⁵⁴:

$$E = FE_i * VKT$$

Donde:

FE_i = Emisión de material particulado PM_{10} “o” $PM_{2.5}$ [g]

FE_i = Factor de emisión de PM_{10} “o” $PM_{2.5}$ de la flota vehicular [g/km]

VKT = Kilómetros recorridos totales de la flota vehicular

El factor de emisión de PM_{10} “o” $PM_{2.5}$ se calculó con la siguiente expresión:⁵⁵

$$FE_i = [(k_i (sL/2)^{0.65} (W/3)^{1.5}) - C] [1 - (P/4N)]$$

Donde:

FE_i = Factor de emisión para PM_{10} “o” $PM_{2.5}$ [g/VKT]

k_i = Factor de emisión para PM_{10} [1.1 g/VKT] “o” $PM_{2.5}$ [4.6 g/VKT]⁵⁵

sL = Carga de material [g/m²], tabla A.2.60

W = peso promedio de la flota vehicular [1.94 ton]⁵⁹

P = número de días con al menos 0.254 mm de precipitación pluvial (Tabla A.2.6.1)

N = número de días del periodo a inventariar (Tabla A.2.6.2)

C = factor de emisión por escape, frenos y llantas, para una flota vehicular de 1980, para PM_{10} [0.1698 g/VKT] “o” $PM_{2.5}$ [0.1342 g/VKT]⁵⁶

La *carga de material (sL)*, se define como la masa de material igual o menor a 75 µm de diámetro por unidad de área en la superficie del camino pavimentado, sus valores más representativos en ausencia de datos locales, son los reportados por el California Air Resources Board 1997^{57,58} y fueron seleccionados en función a los aforos realizados en la ZMVM, donde se sabe que sobre la red vial terciaria o local circulan en promedio menos de 500 vehículos por día (tránsito escaso), mientras que sobre la red primaria y secundaria circulan en promedio 500 o más de 10,000 vehículos diarios (como tránsito intenso) “tabla A.2.60”.

Tabla A.2.60 Valores de carga de material (sL)

Vialidad con tránsito intenso [g/m ²]	Vialidad con tránsito escaso [g/m ²]
0.035	0.32

Fuente: Improved Activity Levels for National Emission Inventory of Fugitive Dust from Paved and Unpaved Roads.

54 U.S. EPA. AP-42: Cap. 13.2.1 Paved Roads.

55 U.S. EPA, AP-42: Particle Size Multipliers for Paved Road Equation

http://www.marama.org/visibility/Calculótion_Sheets/Paved_Roads_newAP42Dec04.doc

56 El factor de emisión (C) por emisiones de escape, frenos y llantas, se obtiene con la aplicación del modelo MOBILE 6 México para una flota vehicular de 1980.

57 California Air Resources Board, 1997 (CARB 1997). Entrained Paved Road Dust

<http://www.arb.ca.gov/emisinv/areasrc/onehtm/one7-9.htm>

58 Improved Activity Levels for National Emission Inventories of Fugitive Dust from Paved and Unpaved Roads.

Tabla A.2.61 Días con más de 0.254 mm de precipitación

Delegación	Fría	Lluvias	Secas
Álvaro Obregón	9	112	32
Azcapotzalco	7	99	29
Benito Juárez	4	94	27
Coyoacán	9	97	35
Cuajimalpa	12	123	35
Cuauhtémoc	8	85	29
Gustavo A. Madero	8	103	35
Iztacalco	7	84	31
Iztapalapa	11	112	39
Magdalena Contreras	12	117	33
Miguel Hidalgo	6	99	27
Milpa Alta	9	106	25
Tláhuac	12	109	31
Tlalpan	13	127	37
Venustiano Carranza	8	83	5
Xochimilco	11	86	28
Atizapán z.	0	1	10
Chalco	9	8	15
Chalco Solidaridad	7	62	14
Chicoloapan	9	8	15
Chimalhuacán	5	1	8
Coacalco	8	112	33
Cuautitlán	0	1	5
Cuautitlán Izcalli	0	1	9
Ecatepec	0	0	5
Huixquilucan	7	99	18
Ixtapaluca	9	0	15
La Paz	10	70	20
Naucalpan	10	105	29
Nezahualcoyotl	7	70	20
Nicolás Romero	0	1	13
Tecámac	5	0	4
Tlalnepantla	8	112	33
Tultitlán	8	112	33

Tabla A.2.62 Duración en días por temporada climática (N)

Temporada	Días
Fría	121
Lluvia	152
Seca	92

El peso promedio de la flota vehicular (W)⁵⁹ se calculó con el peso promedio y los kilómetros recorridos por categoría de vehículo (KRV)⁶⁰, obteniendo un peso promedio para la flota vehicular que circula en la ZMVM de 1.94 toneladas, Tabla A.2.61.

Tabla A.2.63 KRV totales de la ZMVM, 2004

Tipo de Vehículo	KRV	% KRV	Peso [ton]	Peso promedio de la flota
Autos particulares	44,693,609,294	0.67	1.319	0.8892
Taxis	7,636,194,000	0.12	0.894	0.1030
Combis*	1,252,167,400	0.02	1.44	0.0272
Microbuses*	2,098,216,600	0.03	3.8549	0.1220
Pick-up*	3,245,790,940	0.05	1.8	0.0881
Camiones < 3 ton*	3,576,625,236	0.05	2.9	0.1565
Tractocamiones*	1,731,764,040	0.03	12	0.3135
Autobuses*	930,956,802	0.01	7.5	0.1053
Camiones de más 3 ton*	1,129,894,620	0.02	8	0.1363
Total	66,295,218,932	1.00	40	1.9411

* Se toma el total de KRV para pavimentados

Para separar los KRV por tipo de camino (intenso, escaso) se asume que:

- A excepción de los autos particulares y taxis el resto de las categorías (tipo de vehículos) realizan su recorrido sobre vialidades pavimentadas.
- Todo conductor accede a una vialidad primaria o secundaria (se midieron 600 tramos de vialidad, partiendo de una zona habitacional a una vialidad primaria o secundaria, para obtener su valor promedio de KRV.⁶¹

La Tabla A.2.64, muestra el por ciento de recorrido sobre vialidades con tránsito escaso e intenso por entidad federativa.

Tabla A.2.64 Porcentaje de KRV en vialidades de tráfico intenso y escaso

Tipo de holograma	Distrito Federal		Estado de México	
	% Intenso	% Escaso	% Intenso	% Escaso
0 y 00	0.974	0.026	0.935	0.065
1	0.961	0.039	0.902	0.098
2	0.962	0.038	0.906	0.094
Taxis	0.974	0.026	0.935	0.065

Para la obtención del número de días con más de 0.254 mm de precipitación pluvial por entidad federativa se requirió de la base de datos de *precipitación pluvial*⁶². La tabla A.2.65, muestra las emisiones anuales estimadas del sector.

Tabla A.2.65 Emisiones de PM₁₀ y PM_{2.5} en vialidades pavimentadas

Entidad	Pavimentados	
	PM ₁₀	PM _{2.5}
Distrito Federal	527	25
Estado de México	996	66
ZMVM	1,523	91

59 La ecuación está diseñada para trabajar con el peso promedio de todos los vehículos que transitan el camino, no calculó un factor de emisión por tipo de vehículo.

60 Inventario de Fuentes Móviles 2004.

61 Realizado con SIG, Sistema de información geográfica en Arc View.

62 Subdirección de Meteorología de la SMA con datos de: DGCOH del Gobierno del Distrito Federal.

Vialidades no pavimentadas

Las partículas que se forman cuando un vehículo pasa sobre un camino no pavimentado, son arrastradas y arrojadas por el rodamiento de las llantas y por la turbulencia que se produce en la superficie del camino, la turbulencia se debilita en la parte trasera del vehículo y continúa actuando en la superficie del camino después de que el vehículo ha pasado.

La cantidad de material particulado por el paso de la flota vehicular en vialidades no-pavimentadas se estimó por medio de la siguiente ecuación⁶³:

$$E = FE_i * VKT$$

Donde:

E_i = Emisión de material particulado PM_{10} “o” $PM_{2.5}$ [g]

FE_i = Factor de emisión de PM_{10} “o” $PM_{2.5}$ de la flota vehicular [g/km]

VKT = Kilómetros recorridos totales de la flota vehicular

El factor de emisión de PM_{10} “o” $PM_{2.5}$ se calculó con la siguiente expresión:⁶⁴

$$FE_i = [((k (s/12)^{0.97} (S/30)^{0.46}) / (M/0.5)^{0.23})) - C] * [(N-p)/N]$$

Donde:

FE_i = Factor de emisión para PM_{10} “o” $PM_{2.5}$ [g/VKT]

k = Factor de emisión para PM_{10} [507.42 g/VKT] “o” $PM_{2.5}$ [76.11 g/VKT]⁶⁵

sL = carga de material [6%]⁶⁶

S = velocidad promedio vehicular [16 km/h]⁶⁷

M = contenido de humedad del material en la superficie (Tabla A.2.66)

N = número de días del periodo

p = número de días con más de 0.254 mm de precipitación (Tabla A.2.6.1)

C = factor de emisión por escape, frenos y llantas, para una flota vehicular de 1980, para PM_{10} [0.1698 g/VKT] “o” $PM_{2.5}$ [0.1342 g/VKT]⁶⁸

El valor de humedad de la superficie del suelo (M) proviene de la variable SOILM del modelo meteorológico MM5 y localizada sobre vialidades sin pavimentar de la ZMVM.

63 U.S. EPA. AP-42: Cap. 13.2.1 Paved Roads.

64 U.S. EPA. Unpaved Road Area Source Category Calculation Methodology Sheet
http://www.marama.org/visibility/Calculación_Sheets/UnpavedRoads_newAP42.pdf

65 U.S. EPA, AP-42: Particle Size Multipliers for Paved Road Equation
http://www.marama.org/visibility/Calculación_Sheets/Paved_Roads_newAP42Dec04.doc

66 SEMARNAT-INE, 2003. Inventario Nacional de Emisiones de México 1999 (Factor local).

67 U.S. EPA 2003, El rango para la velocidad promedio en los caminos no pavimentados (S), va de 16 a 88 [km/h]; sin embargo, se utilizó la velocidad de 16 km/h, ya que en las vialidades sin pavimentar, se transita a velocidades mínimas.

68 El factor de emisión (C) por emisiones de escape, frenos y llantas, se obtiene con la aplicación del modelo MOBILE 6 México para una flota vehicular de 1980.

Tabla A.2.66 Porcentaje de humedad del material de la superficie

Delegación	Fría	Lluvias	Secas
Álvaro Obregón	12.36	25.00	19.70
Azcapotzalco	0.00	0.00	0.00
Benito Juárez	0.00	0.00	0.00
Coyoacán	0.00	0.00	0.00
Cuajimalpa	12.21	24.60	21.24
Cuauhtémoc	0.00	0.00	0.00
Gustavo A. Madero	3.65	5.79	18.27
Iztacalco	0.00	0.00	0.00
Iztapalapa	1.97	17.48	9.45
Magdalena Contreras	15.76	27.11	23.10
Miguel Hidalgo	3.51	11.48	0.00
Milpa Alta	8.93	18.80	16.11
Tláhuac	2.45	14.96	5.31
Tlalpan	11.44	27.43	17.70
Venustiano Carranza	0.00	0.00	0.00
Xochimilco	3.62	18.30	9.53
Atizapán de Z.	5.70	5.72	10.03
Chalco	6.09	6.54	14.07
Chalco Solidaridad	3.63	7.03	3.35
Chicoloapan	1.39	5.45	5.48
Chimalhuacán	1.42	6.51	8.12
Coacalco	11.34	10.03	6.58
Cuautitlán	2.65	5.33	4.80
Cuautitlan Izcalli	2.09	7.60	9.40
Ecatepec	4.48	7.38	8.70
Huixquilucan	6.41	25.05	22.93
Ixtapaluca	5.36	5.68	18.07
La Paz	1.48	7.91	4.23
Naucalpan	6.56	25.00	12.78
Nezahualcoyotl	1.69	7.00	4.90
Nicolás Romero	9.39	10.25	13.15
Tecámac	3.39	5.04	5.67
Tlalnepantla	2.93	10.00	13.72
Tultitlán	2.93	10.00	13.72

Para calcular los KRV en vialidades no pavimentadas, se utilizó la cartografía digital⁶⁹ de vialidades y se obtuvo la fracción que representan las vialidades de tercerera por entidad y municipio de la ZMVM, se asume que este valor es el porcentaje de KRV en tráfico escaso.

69 SETRAVI, 2001; PNUMA, 2001 y SIGSA, 2002.

Tabla A.2.67 Porcentaje de terracería por delegación y municipio

Delegación	%	Municipio	%
Álvaro Obregón	4.7	Atizapán de Z..	59.88
Azcapotzalco	0.0	Chalco	83.62
Benito Juárez	0.0	Chalco Solidaridad	11.75
Coyoacán	0.0	Chicoloapan	56.39
Cuajimalpa	12.7	Chimalhuacán	64.03
Cuauhtémoc	0.0	Coacalco	30.60
Gustavo A. Madero	0.2	Cuautitlán	64.18
Iztacalco	0.0	Cuautitlán Izcalli	50.61
Iztapalapa	0.5	Ecatepec	36.80
Magdalena Contreras	5.7	Huixquilucan	64.54
Miguel Hidalgo	0.0	Ixtapaluca	78.16
Milpa Alta	13.9	La Paz	36.26
Tláhuac	7.0	Naucalpan	45.13
Tlalpan	6.6	Nezahualcoyotl	29.43
Venustiano Carranza	0.0	Nicolás Romero	82.84
Xochimilco	3.3	Tecámac	63.55
		Tlalnepantla	18.65
		Tultitlán	7.56

En el caso del Estado de México, además de lo anterior, considera el promedio porcentual (12%) de viajes realizados dentro y entre los municipios⁷⁰ en un camino sin pavimentar. La tabla A.2.64, muestra las emisiones estimadas en las vialidades no pavimentadas.

Tabla A.2.68 Emisiones de PM₁₀ y PM_{2.5} en vialidades no pavimentadas

Entidad	No pavimentados	
	PM ₁₀	PM _{2.5}
Distrito Federal	866	131
Estado de México	7,889	1,231
ZMVM	8,755	1,362

70 SETRAVI, 2002. Programa Integral de Transporte y Vialidad, 2001-2006.