

## ANEXO D

# PROYECCION DEL INVENTARIO DE EMISIONES 1998 AL 2000, 2006 Y 2010

Tomando como base la metodología empleada en el desarrollo del inventario de emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México, del año 1998, se estima cuales podrían ser las emisiones de esta zona en los años 2000, 2006 y 2010, esto sin considerar la mitigación de emisiones debido a la instrumentación de medidas de control de emisiones contaminantes al aire.

## D.1. TENDENCIAS DE CRECIMIENTO

Las premisas básicas utilizadas en este documento para realizar las proyecciones son las siguientes: las tendencias de crecimiento poblacional, vehicular y de consumo de combustibles, entre las principales. Con base en dichas tendencias se estimaron los niveles de actividad para cada fuente o categoría, a las cuales se les aplicaron los factores de emisión utilizados en el inventario de emisiones 1998 y de esa manera obtener las emisiones proyectada al 2000, 2006 y 2010.

✂ Fuentes puntuales, para realizar la proyección de emisiones, se consideró el crecimiento promedio del producto interno bruto real 1993-1999 constante al 2010, para el caso de la industria manufacturera y para la generación de energía eléctrica. Los datos utilizados fueron en específico para el Distrito Federal y para el Estado de México.

✂ Fuentes de área, se consideraron las tasas de crecimiento poblacional, el incremento de gas natural y de combustóleo, el aumento en el consumo de diesel desulfurado, el incremento de gas LP, así como las tasas de crecimiento anual de las gasolinas y el porcentaje de distribución al 2000, 2006 y 2010.

✂ Fuentes móviles, para los autos particulares se calculó una tasa anual de crecimiento compuesta con los últimos 10 años de ventas, y un perfil de desecho a partir de datos históricos de ventas en la ZMVM y de la flota vehicular por año modelo de autos particulares utilizada en el inventario de emisiones 1998. Para los otros tipos de vehículos se tomaron las tasas de crecimientos por entidad federativa reportadas en el documento de la Secretaría de Energía "Prospectivas del mercado de gas natural 2000-2009".

### D.1.1. Poblacional

La Zona Metropolitana del Valle de México, en el año 1998 contaba con una población de 16.7 millones de habitantes que representan poco más del 20% de la población del país. Del total de la población de la ZMVM el 51% estaba localizada en el Distrito Federal y el 49% en el Estado de México. La evolución del incremento poblacional indica que para el año 2010 existirá una población de cerca de 19.1 millones de habitantes<sup>1</sup>. Las proyecciones del crecimiento de la población en la Zona Metropolitana del Valle de México por entidad, muestran que en el Estado de México la población aumentará a un ritmo más acelerado que en el Distrito Federal, lo cual indica que en el

---

<sup>1</sup> CONAPO. Escenarios demográficos y urbanos de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, 1990-2010

futuro los municipios conurbados del Estado de México serán los más poblados de la Zona Metropolitana del Valle de México. Lo anterior implica que las emisiones contaminantes generadas en los municipios conurbados del Estado de México aumentaran debido a que esta entidad demandará un mayor consumo energético.

#### D.1.2. Producto interno bruto

Para realizar las proyecciones de las emisiones contaminantes al aire de las fuentes puntuales (sector industria) al año 2010, se aplicaron tasas de crecimiento anual constantes a partir del año base 1998 hasta los años proyectados, 2000, 2006 y 2010, las tasas de crecimiento utilizadas son las que se muestran en la tabla D.1.2.1, en la que se observa la tasa de crecimiento promedio anual 1993-1999 del producto interno bruto (PIB) y su participación por gran división respecto al PIB nacional y por entidad federativa para la industria manufacturera y la generación de energía eléctrica.

**Tabla D.1.2.1. Taza de crecimiento anual del PIB**

Gran divisor	Distrito Federal	Estado de México
Industria manufacturera	4.2	4.5
Electricidad, agua y gas	0.0	3.7

Fuente: Sistema de Cuentas Nacionales de México. Producto Interno Bruto por Entidad Federativa INEGI, 1999.

Nota: Esta información fue proporcionada por la Secretaría de Desarrollo Económico

#### D.1.3. Consumo de combustibles

De acuerdo con las cifras de la tabla D.1.3.1, tenemos que en la Zona Metropolitana del Valle de México el consumo de combustibles vehiculares aumenta año con año, al igual que el diesel industrial bajo en azufre, el gas licuado de petróleo y el gas natural, solo la demanda del gasóleo doméstico y el combustible industrial disminuye, es muy posible que para el año 2010, no se consuman en la ZMVM.

**Tabla D.1.3.1. Consumo de combustibles en la ZMVM**

Año	Consumo de combustible [miles de barriles/año]							
	PEMEX Premium	PEMEX Magna	PEMEX diesel	Gasóleo doméstico	Combustible industrial	Diesel. industrial* <sup>1</sup>	Gas LP	Gas natural* <sup>2</sup>
1998	2,548	38,138	10,113	19	2,367	1,557	23,171	172,879
1999	3,135	37,679	10,164	10	1,558	2,002	28,154	183,258
2000	4,024	37,773	10,218	5	831	2,115	29,686	191,806

\*1 Bajo en azufre; \*2 Millones de pies cúbicos; Fuente: PEMEX

**Tabla D.1.3.2. Consumo de combustibles proyectado en la ZMVM, 2001-2010**

Año	Consumo de combustible [miles de barriles/año]
-----	--

	PEMEX Premium	PEMEX Magna	PEMEX diesel	Diesel industrial* <sup>1</sup>	Gas LP	Gas natural* <sup>2</sup>
2001	4,791	38,762	10,709	2,217	30,725	203,506
2002	4,992	40,390	11,223	2,323	31,800	215,920
2003	5,202	42,086	11,761	2,435	32,913	229,091
2004	5,420	43,854	12,326	2,552	34,065	243,066
2005	6,675	44,669	12,918	2,674	35,258	257,893
2006	6,955	46,545	13,538	2,803	36,492	273,624
2007	7,247	48,500	14,187	2,937	37,769	290,315
2008	7,551	50,537	14,868	3,078	39,091	308,024
2009	7,869	52,659	15,582	3,226	40,459	326,814
2010	9,460	53,609	16,330	3,381	41,875	346,750

\*1 Bajo en Azufre; \*2 Millones de pies cúbicos

Con base en el aumento previsto en la población, al dinamismo de la economía y a las tendencias históricas del consumo de combustibles de la Zona Metropolitana del Valle de México, podemos suponer que se espera un crecimiento importante para el año 2010 en lo que se refiere a la demanda energética. Tomando en cuenta las perspectivas de crecimiento del país de la demanda de petrolíferos en el periodo 1999-2010<sup>2</sup>, tenemos que se espera que el consumo de gasolina crezca a una tasa anual de por lo menos 4.2% y la demanda de diesel en un 4.8%. Por otro lado, se espera que en la región centro del país en el periodo 1999-2009, la demanda de gas natural aumente en un 6.1% anual y el gas licuado de petróleo en un 3.5% anual. Tomando como base el consumo de combustible del año 2000 de la Zona Metropolitana del Valle de México (tabla D.1.3.1) y asumiendo una tasa de crecimiento anual constante para combustible hasta el año 2010, en la tabla D.1.3.2 se muestran los consumos para los años proyectados.

#### D.1.4. Flota vehicular

Dadas las características y crecimiento particular de la flota vehicular de la Zona Metropolitana del Valle de México, la proyección se dividió en dos partes, una para los autos particulares y otra para el resto de la flota vehicular.

##### *Autos particulares.*

Para estimar el crecimiento de este tipo de vehículos se partió de la clasificación y número de autos particulares reportados en el inventario de emisiones 1998, tal y como se muestra en la tabla D.1.4.1.

**Tabla D.1.4.1. Distribución de los autos particulares y taxis por año modelo, 1998**

Año/Modelo	Distrito Federal		EdoMéx		ZMVM	
	Autos particulares	Taxis	Autos particulares	Taxis	Autos particulares	Taxis
1974 y anteriores.	78,916	-	81,739	628	160,655	628

<sup>2</sup>El sector energía en México, Análisis y Prospectivas, Secretaría de Energía, México, 2000.

## Anexo D

1975	20,063	-	18,597	143	38,660	143
1976	20,081	-	18,264	140	38,345	140
1977	15,479	-	15,755	121	31,234	121
1978	19,807	-	18,965	146	38,772	146
1979	27,571	-	24,150	186	51,721	186
1980	37,375	-	31,561	242	68,936	242
1981	46,837	-	36,784	283	83,621	283
1982	44,987	-	35,056	269	80,043	269
1983	26,499	-	20,899	161	47,398	161
1984	31,542	-	24,683	190	56,225	190
1985	39,285	288	28,563	219	67,848	508
1986	36,751	616	29,728	228	66,479	845
1987	27,137	856	18,865	145	46,002	1,001
1988	39,153	1,332	24,918	191	64,071	1,524
1989	62,587	2,678	34,637	266	97,224	2,944
1990	88,496	9,053	40,825	314	129,321	9,367
1991	112,657	16,745	45,097	346	157,754	17,092
1992	133,379	24,664	49,528	381	182,907	25,044
1993	133,613	25,830	41,600	320	175,213	26,149
1994	128,812	11,755	38,939	299	167,751	12,054
1995	77,163	3,932	23,754	182	100,917	4,114
1996	51,697	1,151	16,994	131	68,691	1,281
1997	96,175	2,034	27,486	211	123,661	2,245
1998	150,533	2,363	47,751	367	198,284	2,730
<b>Total</b>	<b>1,546,595</b>	<b>103,298</b>	<b>795,136</b>	<b>6,109</b>	<b>2,341,731</b>	<b>109,407</b>

Además de la distribución de autos particulares por año modelo, se utilizó un estudio histórico de ventas de autos en la Zona Metropolitana del Valle de México<sup>3</sup>, ver tabla D.1.4.2.

**Tabla D.1.4.2. Histórico de ventas de vehículos en la ZMVM**

New Gasoline Vehicle Sales in the Mexico City Metropolitan Area			
Year	Cars	Year	Cars
1974 a 1951	857,815	1987	80,585
1975	111,076	1988	99,770
1976	94,203	1989	124,169
1977	88,102	1990	160,325
1978	106,700	1991	186,627
1979	125,297	1992	203,630
1980	126,858	1993	190,755
1981	155,228	1994	200,020
1982	138,835	1995	69,405
1983	81,214	1996	96,614
1984	100,750	1997	143,322
1985	114,572	1998	202,802
1986	84,673	1999	220,133

Fuente: Population of Vehicles in Mexico City's Metropolitan area and their Emission levels

<sup>3</sup> Reportado por el Grupo Trafalgar: Population of Vehicles in Mexico City's Metropolitan area and their Emission levels

Con las ventas de autos para cada año y el número de autos particulares en circulación de cada año modelo (parque reportado en el inventario de emisiones, 1998), se calculó el porcentaje de supervivencia, esto es, de los autos vendidos en un determinado año cuantos se tienen en circulación en 1998 (ecuación D.1). Cabe mencionar que el estudio realizado por el grupo Trafalgar reporta la venta de autos sin distinguir entre taxis y autos particulares, por lo que para obtener la tasa de supervivencia se utilizará la suma de autos particulares y taxis para obtener las unidades en circulación, y se asume que el perfil así obtenido es representativo del comportamiento de los autos particulares. En el caso de los taxis no se utiliza esta tasa de supervivencia ya que la edad de las unidades está restringida a 10 años en circulación.

$$TS_i = [1 - ((V_i - C_i) / V_i)] 100 \quad \text{Ecuación D.1.}$$

Donde:  $TS_i$ : Tasa de Supervivencia del año i. [%]

$V_i$ : Unidades vendidas del año modelo i.

$C_i$ : Unidades en circulación del año modelo i.

A continuación se presenta un ejemplo de cómo se calcula la tasa de supervivencia de los vehículos que tienen 24 años circulando, utilizando la ecuación D.1.

Datos

	Valor	Fuente
$V_{1974 \text{ y ant.}}$	857,815	Valor de la celda sombreada de la tabla D.1.4.2
$C_{1974 \text{ y ant.}}$	160,655+628=61,283	Valor de las celdas sombreadas de la tabla D.1.4.1

Sustituyendo en la ecuación D.1.

$$TS_{24} = (1 - ((857,815 - 161,283) / 857,815)) 100 = 18.8 \%$$

El resultado se presenta en la celda sombreada de la tabla D.1.4.3, de igual forma se obtienen los demás valores de esta tabla.

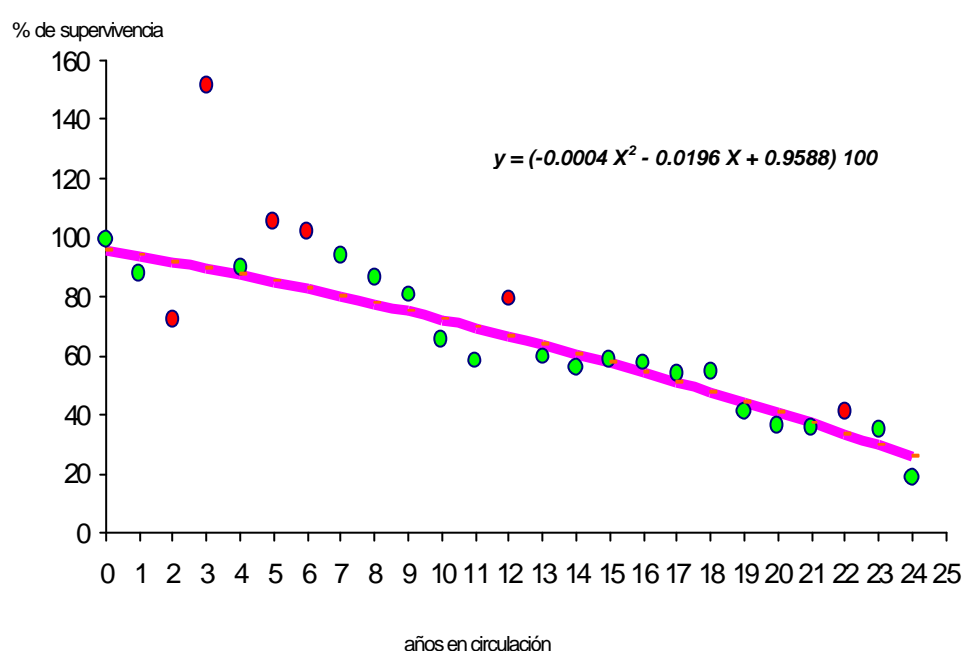
**Tabla D.1.4.3. Tasa de supervivencia**

Años en circulación (x)	Tasa de supervivencia (y)	Años en circulación (x)	Tasa de supervivencia (y)
24	18.8	11	58.3
23	34.9	10	65.7
22	40.9	9	80.7
21	35.6	8	86.5
20	36.5	7	93.7
19	41.4	6	102.1

18	54.5	5	105.6
17	54.1	4	89.9
16	57.8	3	151.3
15	58.6	2	72.4
14	56.0	1	87.8
13	59.7	0	99.1
12	79.5		

A partir de los valores de la tabla anterior, construimos la gráfica D.1.4.4.

**Gráfica D.1.4.4. Curva de la tasa de supervivencia**



Analizando la gráfica D.1.4.4, tenemos que si omitimos los valores que están arriba del 100% (3, 5 y 6 años de circulación) y los datos de los años 22, 12, 7, y 2, por quedar fuera de la tendencia del resto de los datos, tenemos que los puntos pueden unirse y ajustarse por regresión a una función cuadrática (ecuación D.2).

$$y = (-0.0004x^2 - 0.0196 x + 0.9588) 100 \quad \text{Ecuación D.2.}$$

Donde

Y: Tasa de supervivencia [%]

X: Años de circulación [0 a 23 años]

Dado que no se tiene una clasificación por año modelo de los vehículos más viejos que circulan en la ZMVM, la obtenemos a partir de un análisis de los datos de las tasas de supervivencia (Tabla D.1.4.3), se construye una curva con los datos de las tasas de supervivencia de los 5 años modelos

más viejos (vehículos que tienen de 20 a 24 años de circulación), esta curva se ajustó a una función exponencial, e igualmente por regresión obtuvimos la ecuación D.3, la cual representa el comportamiento de los autos con 24 o más años de circulación.

$$y = (3.9928e^{-0.1135x}) 100 \quad \text{Ecuación D.3.}$$

Donde:

Y: Tasa de supervivencia [%]

X: Años de circulación [24 años o más]

Con la aplicación de las ecuaciones D.2 y D.3 se ajustaron las tasas de supervivencia de la tabla D.1.4.3 y se obtienen los valores de la tabla D.1.4.5.

**Tabla D.1.4.5. Tasa de supervivencia ajustada**

Años en circulación	Tasa de supervivencia [%]	Años en circulación	Tasa de supervivencia [%]
37	5.99	18	47.64
36	6.71	17	51.00
35	7.52	16	54.28
34	8.42	15	57.48
33	9.43	14	60.60
32	10.57	13	63.64
31	11.84	12	66.60
30	13.26	11	69.48
29	14.85	10	72.28
28	16.64	9	75.00
27	18.64	8	77.64
26	20.88	7	80.20
25	23.39	6	82.68
24	26.20	5	85.08
23	29.64	4	87.40
22	33.40	3	89.64
21	37.08	2	91.80
20	40.68	1	93.88
19	44.20	0	95.88

Se realizó un análisis de las ventas de vehículos particulares, con la finalidad de inferir las tasas de ventas de vehículos del año 2000 al año 2010. De este análisis se desprende que un promedio aritmético anual de las ventas de todos los datos históricos (tabla D.1.4.2) no sería del todo representativo, ya que el comportamiento histórico de las ventas es muy variable, sobre todo en los últimos 10 años, por tal motivo se optó por calcular una tasa anual promedio de crecimiento compuesto del periodo 1989-1999, con la ecuación D.4.

$$TACCV = [(VU / VP)^{(1/NP)} - 1] 100 \quad \text{Ecuación D.4.}$$



Donde

TACCV: Tasa anual de crecimiento compuesto de ventas de autos [%]

VU: Ventas del último año.

VP: Ventas del primer año.

NP: Número de periodos.

Datos

	Valor	Fuente
VU (1999)	220,133	tabla D.1.4.2.
VP (1989)	124,169	tabla D.1.4.2.
NP	10 (10 AÑOS)	--

Sustituyendo los datos en la ecuación D.4.

$$TACCV = ((220,133 / 124,169)^{(1/10)} - 1) 100 = 5.893 \%$$

La tasa de crecimiento compuesto de las ventas de autos obtenida como resultado de la aplicación de la ecuación D.3. en el periodo 1989-1999, se tomará constante para estimar las proyecciones de ventas para el periodo 2000-2010. El siguiente paso es ajustar las ventas de vehículos para cada año del periodo 1974 a 1998 aplicando la ecuación D.5, la cual está en función de las tasas de supervivencia ajustadas (tabla D.1.4.5 y el número de autos particulares que circularon en 1998 (tabla D.1.4.1).

$$VA_i = VC_i / (TSA_j / 100) \quad \text{Ecuación D.5.}$$

Donde

$VA_i$ : Ventas ajustadas del año i.

$VC_i$ : Vehículos en circulación del año modelo i.

$TSA_j$ : Tasa de supervivencia ajustada de los vehículos con j años en circulación [%].

Los resultados de la aplicación de la ecuación D.5 se muestran en la tabla D.1.4.6. y las ventas de autos proyectadas para cada año a partir de 1999, se calcularon con la ecuación D.6.

$$Ventas_i = (Ventas_{(i-1)}) (1 + TACCV/100) \quad \text{Ecuación D.6.}$$

Donde

$Ventas_i$ : Ventas para el año i (i = 1990- 2010)

$Ventas_{(i-1)}$ : Ventas para el año i -1 (i = 1989- 2010)

TACCV. Tasa anual de crecimiento compuesto de ventas de autos [5.893%]

Los resultados de la aplicación de la ecuación D.6. se presentan en la tabla D.1.4.6. Y tomando como base las tasas de supervivencia ajustada (tabla D.1.4.5) de acuerdo a los años de circulación y a las ventas de autos ajustadas por año modelo (tabla D.1.4.6), se procede mediante la ecuación D.7, al cálculo de la flota circulante por año modelo a partir de 1999 hasta el año 2010.

Este cálculo se basa en el supuesto de que el perfil de supervivencia construido para 1998, se mantendrá en los años siguientes.

**Tabla D.1.4.6. Venta de autos ajustada por año modelo**

Año/modelo	Ventas ajustadas	Año/modelo	Ventas ajustadas
1974	613,246	1993	205,939
1975	130,431	1994	191,935
1976	114,806	1995	112,580
1977	84,233	1996	74,826
1978	95,309	1997	131,722
1979	117,015	1998	206,804
1980	144,703	1999	218,991
1981	163,962	2000	231,896
1982	147,463	2001	245,562
1983	82,460	2002	260,033
1984	92,780	2003	275,357
1985	106,613	2004	291,583
1986	99,818	2005	308,766
1987	66,209	2006	326,962
1988	88,643	2007	346,230
1989	129,632	2008	366,633
1990	166,565	2009	388,239
1991	196,701	2010	411,118
1992	221,223		

$$V_{ij} = (VA_j) (TSA_k / 100) \quad \text{Ecuación D.7.}$$

Donde

$V_{ij}$ . Número de vehículos del año modelo i en el año j

$VA_j$ : Ventas de autos ajustadas del año i

$TSA_k$ : Tasa de supervivencia ajustada de los vehículos con k años en circulación [%].

A continuación se muestra un ejemplo de cómo se calcula el número de vehículos del año modelo 1999 en el año 2010. En el año 2010 los autos año modelo 2010 tienen 0 años en circulación a diferencia de los año modelo 1999 que tendrían 11 años en circulación.

Datos

Variables	Valor	Fuente
$VA_{1999}$	218,991	valor de la celda sombreada de la tabla D.1.4.6
$TSA_{11}$	69.48	valor de las celdas sombreadas de la tabla D.1.4.5