



*Universidad Nacional
Autónoma de
México*

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN
INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA

“ESCENARIOS DE CONSUMO DE ENERGÍA Y EMISIONES DE
GASES DE EFECTO INVERNADERO DEL TRANSPORTE DE
PASAJEROS DE LA ZONA METROPOLITANA DE LA CIUDAD DE
MÉXICO”

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE :

MAESTRA EN INGENIERÍA EN ENERGÍA

P R E S E N T A :

ING. CARMINA GARCÍA ROBLES

TUTOR:
DRA. CLAUDIA SHEINBAUM PARDO



México D. F. 2010



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO:

Presidente: Dr. Víctor Rodríguez Padilla

Secretario: Dra. Claudia Sheinbaum Pardo

Vocal: Dr. Javier Eduardo Aguillón Martínez

1^{er}. Suplente: Arturo Guillermo Reinking Cejudo

2^{do}. Suplente: Gabriel León de los Santos

Lugar donde se realizó la tesis:

FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNAM

TUTOR DE TESIS

NOMBRE

FIRMA

ÍNDICE

| | |
|---|----|
| Introducción..... | 6 |
| Hipótesis..... | 8 |
| Objetivos..... | 8 |
| Capítulo 1. Antecedentes | |
| 1.1 Cambio climático..... | 10 |
| 1.2 Causas del cambio climático..... | 11 |
| 1.3 Consumo de energía del sector transporte en México..... | 14 |
| Capítulo 2. Zona Metropolitana del Valle de México | |
| 2.1 Características de la ZMVM..... | 19 |
| 2.2 Extensión territorial de la ZMVM..... | 22 |
| 2.3 Red vial y carretera de la ZMVM..... | 26 |
| 2.4 Parque vehicular..... | 28 |
| Capítulo 3 Metodología y fuentes de información | |
| 3.1 Metodología..... | 30 |
| 3.2 Información base y estimaciones..... | 35 |
| Capítulo 4. Transporte de pasajeros en la ZMVM | |
| 4.1 Características generales del transporte de pasajeros..... | 42 |
| 4.2 Estimación del consumo de combustibles del transporte de pasajeros en la ZMVM para el año 2006..... | 48 |
| 4.3 Inventario de emisiones de GEI para transporte de pasajeros en la ZMVM para el año 2006..... | 51 |
| 4.4 Venta de vehículos en la ZMVM..... | 55 |
| 4.5 Planes de desarrollo de movilidad, infraestructura y vialidad en la ZMVM..... | 57 |
| Capítulo 5. Escenarios | |
| 5.1 Escenarios de emisiones al 2020..... | 60 |
| 5.2 Resultados de los escenarios de mitigación al 2020..... | 68 |
| Conclusiones..... | 71 |
| Bibliografía..... | 73 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | | |
|------------|---|----|
| Tabla 1.1 | Consumo de combustibles por sector en México (PJ)..... | 15 |
| Tabla 1.2 | Emisiones equivalentes de CO ₂ por sector..... | 16 |
| Tabla 1.3 | Información disponible para estimar consumo de combustible por modo para autotransporte..... | 17 |
| Tabla 2.1 | Zona Metropolitana del Valle de México..... | 20 |
| Tabla 2.2 | Áreas total y urbana de las delegaciones y municipios de la ZMVM..... | 24 |
| Tabla 2.3 | Vehículos registrados en la ZMVM..... | 28 |
| Tabla 2.4 | Tasa de motorización..... | 28 |
| Tabla 3.1 | Factores de emisiones de CO ₂ , incluyendo fracción oxidante (tCO ₂ /TJ)..... | 32 |
| Tabla 3.2 | Factores de emisiones de CH ₄ y N ₂ O para vehículos de gasolina | 33 |
| Tabla 3.3 | Factores de emisiones de CH ₄ y N ₂ O para vehículos de combustibles distintos a gasolinas..... | 34 |
| Tabla 3.4 | Edad del parque vehicular por año para 16 delegaciones y 18 municipios conurbados..... | 39 |
| Tabla 3.5 | Estimación de la tasa de desecho del parque vehicular en la ZMVM..... | 40 |
| Tabla 4.1 | Número de vehículos en circulación para la ZMVM (2006)..... | 44 |
| Tabla 4.2 | Parque vehicular para pasajeros por tipo y edad en la ZMVM..... | 45 |
| Tabla 4.3 | Distancia promedio recorrida del auto particular (2006)..... | 48 |
| Tabla 4.4 | Distancia promedio recorrida por transporte público de pasajeros (2006)..... | 48 |
| Tabla 4.5 | Rendimiento vehicular promedio para vehículos de gasolina y diesel..... | 49 |
| Tabla 4.6 | Porcentaje de vehículos particulares por número de cilindros en la ZMVM (2006)..... | 49 |
| Tabla 4.7 | Consumo de combustible para transporte de pasajeros (2006)..... | 50 |
| Tabla 4.8 | Consumo de combustibles por modo de transporte en la ZMVM (2006)..... | 50 |
| Tabla 4.9 | Estructura del consumo de combustible por modo de transporte en la ZMVM (2006)..... | 50 |
| Tabla 4.10 | Emisiones de CO ₂ del transporte de pasajeros en la ZMVM (2006)3..... | 51 |
| Tabla 4.11 | Emisiones de CH ₄ del transporte de pasajeros en la ZMVM (2006)..... | 51 |
| Tabla 4.12 | Emisiones de N ₂ O del transporte de pasajeros en la ZMVM (2006)..... | 51 |
| Tabla 4.13 | Emisiones de CO ₂ eq del transporte de pasajeros en la ZMVM (2006)..... | 51 |
| Tabla 4.14 | Emisiones de GEI del transporte público de pasajeros en la ZMVM (2006)..... | 53 |
| Tabla 4.15 | Ventas de vehículos en la ZMVM..... | 55 |
| Tabla 5.1 | Flota vehicular de la ZMVM para escenario base..... | 61 |
| Tabla 5.2 | Autos particulares de la ZMVM para escenario base..... | 61 |
| Tabla 5.2a | Estructura del parque vehicular de autos particulares por rendimiento, ZMVM (Escenario base)..... | 61 |
| Tabla 5.3 | Consumo de energía por modo y tipo de combustible para el año 2020, ZMVM (Escenario base)..... | 62 |
| Tabla 5.4 | Emisiones de gases de efecto invernadero, ZMVM (Escenario base)..... | 64 |
| Tabla 5.5 | Emisiones de CO ₂ eq, ZMVM (Escenario base)..... | 65 |
| Tabla 5.6 | Escenarios base y de mitigación para el año 2020, (GEI) ZMVM..... | 68 |
| Tabla 5.7 | Escenario base y de mitigación para el año 2020, (CO ₂ eq)ZMVM..... | 69 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | | |
|------------|--|----|
| Figura 1.1 | Consumo de combustible del sector transporte..... | 15 |
| Figura 1.2 | Consumo de combustible del sector transporte por modo..... | 16 |
| Figura 2.1 | Delegaciones y Municipios de la ZMVM..... | 23 |
| Figura 2.2 | Red vial primaria de la Ciudad de México..... | 27 |
| Figura 4.1 | Parque vehicular por edad..... | 43 |
| Figura 4.2 | Consumo de gasolina del transporte de pasajeros, ZMVM (2006)..... | 50 |
| Figura 4.3 | Estructura de las emisiones de GEI, transporte de pasajeros por modo (2006)... | 52 |
| Figura 4.4 | Estructura de las emisiones de GEI, transporte de pasajeros por combustible (2006)..... | 52 |
| Figura 4.5 | Estructura de las emisiones de CO ₂ eq. Para transporte de pasajeros por modo y combustible (2006)..... | 53 |
| Figura 4.6 | Estructura de las emisiones de CO ₂ eq. Del transporte público de pasajeros en la ZMVM (2006)..... | 54 |
| Figura 6.8 | Ventas de vehículos en la ZMVM..... | 56 |
| Figura 5.1 | Autos particulares por rendimiento, ZMVM (Escenario base)..... | 61 |
| Figura 5.2 | Parque vehicular de autos privados por edad, ZMVM (Escenario base)..... | 62 |
| Figura 5.3 | Consumo de energía por modo de transporte, ZMVM (Escenario base)..... | 63 |
| Figura 5.4 | Consumo de energía por tipo de combustible, ZMVM (Escenario base)..... | 63 |
| Figura 5.5 | Emisiones de CO ₂ eq., ZMVM (Escenario base)..... | 65 |
| Figura 5.6 | Escenario base y de mitigación, ZMVM (ton CO ₂ eq.)..... | 70 |

Introducción

Este trabajo presenta escenarios de consumo de energía y emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) del transporte de pasajeros en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (CMVM), que equivale a la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), para el año 2020. Los escenarios se dividen en cinco; el base o tendencial y cuatro escenarios de mitigación, a) Hoy no circula sabatino, b) Aumento en la eficiencia vehicular de los automóviles nuevos; c) Disminución del auto particular, implementando cambio modal de transporte privado y microbuses hacia Metrobús, mejorando el servicio, para motivar al usuario del auto particular a utilizar este medio masivo de transporte, d) Aumento en la velocidad de circulación del automóvil privado, lo cual puede estar asociado a nuevas vialidades, u otros mecanismos de control de la demanda o mejoramiento de la infraestructura.

La metodología está sustentada en los trabajos del Panel Intergubernamental de Cambio Climático, IPCC (1996a, b, c) y el modelo MEEM para transporte desarrollado en el Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (Sheinbaum et al., 2000).

De acuerdo con el escenario base o tendencial, el parque vehicular para transporte de pasajeros en el año 2020 sería dos veces lo que circuló en el año 2006, y el auto privado seguirá representando cerca del 89% del total del parque vehicular. El consumo de energía representará 1.84 veces el de 2006 y las emisiones de GEI, 1.87 veces, casi el valor de 40 millones de Toneladas de CO₂ equivalente.

Con todas las medidas, la disminución de emisiones de GEI llegaría al 15% respecto al escenario base. El escenario de menor impacto en la mitigación es el hoy no circula sabatino, que representaría una disminución en las emisiones del año 2020 de tan sólo el 1.15%. En orden de importancia de menor a mayor, le sigue el escenario del aumento en la eficiencia de los autos nuevos (2.95%), aumento en la velocidad de circulación del auto privado (3.51%) y el de mayor contribución es el escenario de disminución del uso del auto particular (5.75%).

El capítulo 1 define el término de “cambio climático” y las causas que lo provocan. También, brinda un panorama general del consumo de energía del sector transporte en México. Asimismo, explica la composición del sector por modos, aún y cuando, debido a la carencia de información se dificulta el análisis detallado.

En el capítulo 2 se define de manera general el concepto de Zona Metropolitana, describe la Zona Metropolitana del Valle de México, describe la situación geográfica, su extensión territorial, las delegaciones y municipios que la conforman. Además, brinda información de las carreteras y red vial de la zona, y del parque vehicular que en ella circula.

El capítulo 3 describe la metodología implementada para realizar los cálculos de consumos de energía y emisiones de gases de efecto invernadero. Asimismo, muestra la información utilizada y las consideraciones empleadas para estimar las emisiones de CO_{eq} y define los diferentes escenarios posibles para mitigar los gases de efecto invernadero.

El capítulo 4 brinda un panorama general del transporte de pasajeros en la Zona Metropolitana del Valle de México, la estructura del parque vehicular que circula en la zona. De igual forma, muestra el consumo de combustible de los diferentes modos de transporte de pasajeros para el año 2006.

El capítulo 5 muestra los resultados obtenidos con los diferentes escenarios planteados, para mitigar las emisiones de CO_2 eq, tales como; el crecimiento de la flota vehicular y el consumo de energía y las emisiones de gases de efecto invernadero.

Hipótesis

El crecimiento de las emisiones de gases de efecto invernadero en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México provenientes de fuentes móviles, están sujetas a las ventas de autos nuevos en la zona, a la eficiencia energética de estos, al mal estado de las unidades de transporte público, a la actividad que realizan diariamente los vehículos y finalmente al parque vehicular que actualmente circula en la zona, entre otras. Con base en estas variables y al crecimiento histórico de éstas, se pueden plantear escenarios que permitan modelar el consumo de energético de los vehículos en los próximos años, de tal forma que se tomen acciones para mitigar los gases de efecto invernadero en la zona.

Objetivo

Crear diferentes escenarios de consumo de energía y emisiones de gases de efecto invernadero en la Zona Metropolitana del Valle de México, para el 2020, de acuerdo con cifras históricas de crecimiento en la última década. Que permitan visualizar posibles disminuciones de consumo y emisiones debido a acciones tales como; mejorar la infraestructura vial, mejorar el sistema de transporte colectivo y automóviles más eficiente.

CAPITULO 1

ANTECEDENTES

1.1 Cambio climático

De acuerdo con el último reporte del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, 2007a):

El término “cambio climático” denota un cambio en el estado del clima identificable a raíz de un cambio en el valor medio y/o en la variabilidad de sus propiedades, y que persiste durante un período prolongado, generalmente cifrado en decenios o en períodos más largos. Denota todo cambio del clima a lo largo del tiempo, tanto si es debido a la variabilidad natural como si es consecuencia de la actividad humana. Este significado difiere del utilizado en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMCC), que describe el cambio climático como un cambio del clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana, que altera la composición de la atmósfera mundial y que viene a sumarse a la variabilidad climática natural observada en períodos de tiempo comparables.

El dióxido de carbono (CO₂) es el GEI antropógeno más importante. Entre 1970 y 2004, sus emisiones anuales han aumentado en aproximadamente un 80%, pasando de 21 a 38 Gt, y en 2004 representaban un 77% de las emisiones totales de GEI antropógenos. Durante el reciente decenio 1995-2004, la tasa de crecimiento de las emisiones de CO₂-eq fue mucho mayor (0,92 GtCO₂-eq anuales) que durante el período anterior de 1970-1994 (0,43 GtCO₂-eq anuales).

1.2 Causas del cambio climático

- La variación de las concentraciones de gases de efecto invernadero (GEI) y aerosoles en la atmósfera, y las variaciones de la cubierta terrestre y de la radiación solar, alteran el equilibrio energético del sistema climático.

- Las emisiones mundiales de GEI por efecto de actividades humanas han aumentado, desde la era preindustrial, en un 70% entre 1970 y 2004.

- Las concentraciones atmosféricas mundiales de CO₂, metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O) han aumentado notablemente por efecto de las actividades humanas desde 1750, y son actualmente muy superiores a los valores preindustriales, determinados a partir de núcleos de hielo que abarcan muchos milenios.

- Las concentraciones atmosféricas de CO₂ (379 ppm) y CH₄ (1774 ppm) en 2005 exceden con mucho el intervalo natural de valores de los últimos 650.000 años. Los aumentos de la concentración mundial de CO₂ se deben principalmente a la utilización de combustibles de origen fósil y, en una parte apreciable pero menor, a los cambios de uso de la tierra. Es muy probable que el aumento observado en la concentración de CH₄ se deba predominantemente a la agricultura y a la utilización de combustibles de origen fósil.

Para las próximas dos décadas, se proyecta un calentamiento de unos 0.2°C por decenio para una gama de escenarios de emisiones IE-EE. Incluso si las concentraciones de todos los gases de efecto invernadero y de aerosoles se hubieran mantenido constantes en los niveles del año 2000, podría esperarse un calentamiento ulterior de 0.1°C aproximadamente por decenio, debido a la permanencia de GEI en la atmósfera.

El mayor crecimiento en las emisiones mundiales de GEI entre 1970 y 2004 provino del sector de suministro energético (un incremento de 145%). El incremento en emisiones directas del transporte en este período fue de 120%, de la industria 65% y de los usos del suelo, cambio de usos del suelo y silvicultura y (LULUCF en sus siglas en inglés) el 40%. Entre 1970 y 1990 las emisiones directas de la agricultura crecieron 27%, y las de las construcciones un 26%, permaneciendo estas últimas en los niveles alcanzados en 1990. Sin embargo, el sector de la construcción presenta un alto nivel de uso de electricidad, y por ello el total de emisiones directas e indirectas en este sector es mucho mayor (75%) que el de emisiones directas.

A nivel mundial, las emisiones de GEI provocadas por el consumo de energía para transporte, representaron en 2004, el 23% del total de emisiones de GEI (IPCC, 2007b) y se ubican en el segundo lugar en importancia, después de la generación eléctrica. De éstas, el auto particular representa el mayor porcentaje.

La vulnerabilidad al cambio climático puede acentuarse por efecto de otros factores de estrés. Estos pueden ser, por ejemplo, fenómenos climáticos peligrosos, pobreza, acceso desigual a los recursos, inseguridad alimentaria, tendencias de la globalización económica, conflictos, o incidencia de enfermedades tales como el VIH/SIDA.

México está entre los 20 países con mayores emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en el mundo. Aun cuando los acuerdos internacionales en la materia no lo obligan a reducir emisiones, es indispensable que el país visualice los escenarios de reducción en la perspectiva de su propio desarrollo y de la contribución que pueda aportar a la estabilización de las emisiones en el planeta.

En México, el transporte es el sector que más contribuye a las emisiones de GEI y es el de mayor crecimiento. Por ello, analizar la contribución de la ZMVM y las medidas para disminuir el consumo de los derivados del petróleo, y de esta forma, mitigar las emisiones de GEI.

1.3 Consumo de energía del sector transporte en México

A continuación se brinda un panorama general del consumo de energía del sector transporte en México. Asimismo, explica la composición del sector por modos, aún y cuando, debido a la carencia de información se dificulta el análisis detallado.

El sector transporte es el principal consumidor de energía en México. En 2007 alcanzó 2,149 PJ, el 40% de la energía final. Entre 1990 y 2007, el consumo creció en 69.3% (Tabla 1.1). Sin embargo el mayor incremento ha venido ocurriendo a partir del año 2000. Mientras que en la década de 1990 a 2000 la tasa promedio de crecimiento anual fue de 2.6%, para el periodo 2000-2007, aumentó a 4.8% (Balance Nacional de Energía, 2002; 2007)

La Secretaria de energía (SENER), desagrega este sector en cinco modos de transporte. Autotransporte carretero, aviación, marítimo, ferrocarril y transporte eléctrico.

En el periodo 1990-2007, el crecimiento de la demanda de combustibles para autotransporte fue de 71.0%, el de la aviación de 82.0%, el marítimo de 46%, mientras que el ferroviario cayó 3% (Figuras 1.1 y 1.2). Para 2007, el 91.0% del consumo de combustibles para transporte lo utilizó el autotransporte, seguido por la aviación (6.0%), el transporte marítimo (2.0%) y el ferroviario (1.0%).

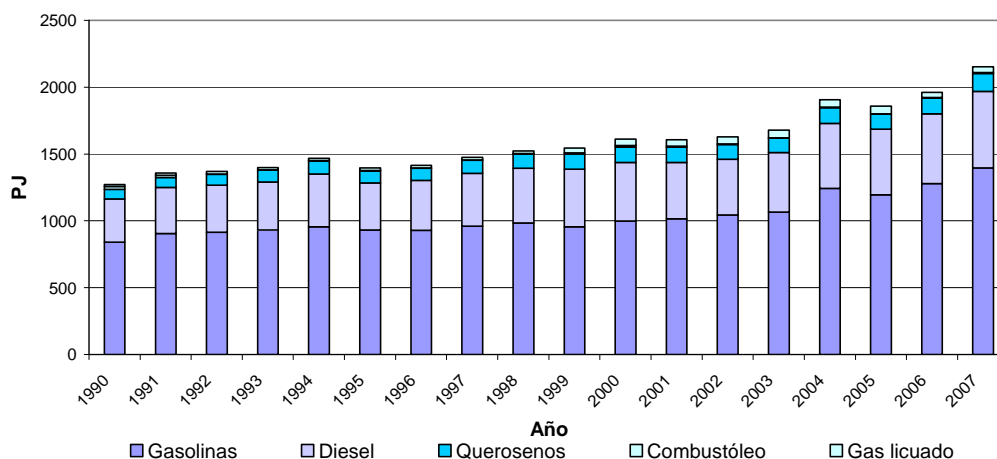
Debido al incremento en la demanda del sector transporte, aumentaron las emisiones de gases de efecto invernadero a nivel nacional en un 80.6% entre 1990 y 2007, debido al consumo de energía de dicho sector (Tabla 1.2). Mientras que las emisiones asociadas a la producción y consumo de energía, tuvieron un crecimiento de 53.4% (Sheinbaum, et al. 2009).

Para 2007, el sector transporte representó el 44% de las emisiones equivalentes de dióxido de carbono (CO₂), seguido por la generación eléctrica (30.9%), el sector industrial (15.8%), residencial (5.9%), agropecuario (2.1%) y comercial (1.4%).

| Tabla 1.1 Consumo de combustibles por sector en México (PJ) | | | |
|---|--------------|--------------|--------------|
| Sector | 1990 | 2007 | Crecimiento |
| Generación eléctrica | 895 | 1,659 | 85.4% |
| Industrial | 915 | 983 | 7.4% |
| Transporte | 1,270 | 2,149 | 69.2% |
| Comercial | 52 | 80 | 52.5% |
| Residencial | 531 | 576 | 8.5% |
| Agropecuario | 68 | 107 | 56.0% |
| Total | 3,731 | 5,554 | 48.8% |

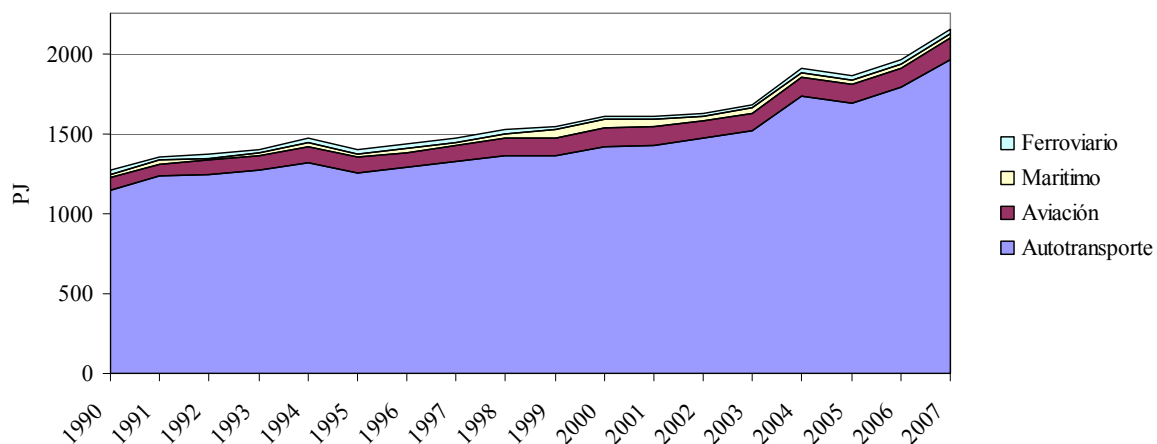
Fuente: Elaboración con base en información del Balance Nacional de Energía (SE, 2002; 2007)

Figura 1.1. Consumo de combustible del sector transporte



Fuente: Elaboración con base en información del Balance Nacional de Energía (SE, 2002; 2008)

Figura 1.2 Consumo de combustibles del sector transporte por modo



Fuente: Con base en información del BNE (SE, 1997; 2008)

| Tabla 1.2 Emisiones equivalentes de CO₂ por sector (Miles de toneladas de CO₂ equivalente) | | | |
|---|-------------|-------------|--------------------|
| Sector | 1990 | 2007 | Crecimiento |
| Generación eléctrica | 66,800 | 114,521 | 71.44% |
| Industrial | 56,004 | 58,470 | 4.40% |
| Transporte | 90,311 | 163,106 | 80.60% |
| Comercial | 3,731 | 5,008 | 34.23% |
| Residencial | 19,665 | 21,772 | 10.71% |
| Agropecuario | 5,011 | 7,810 | 55.86% |
| Total | 241,522 | 370,687 | 53.48% |

Fuente: Elaboración propia. La aviación incluye nacional e internacional.

El autotransporte es el mayor consumidor de combustibles en el país, y a pesar de esto no existe información del consumo de energía por modos del autotransporte, divididos entre transporte de carga y pasajeros. Los indicadores de actividad y eficiencia del sector transporte son los siguientes (Tabla 1.3):

- Número de vehículos por tipo o modo. Se refiere al total de vehículos en circulación para determinado año por tipo. Para transporte de pasajeros se refiere a automóvil y autobús por tamaño.
- kilómetro recorrido. Se refiere al número de kilómetros que recorre cada vehículo al año.
- Vehículo-km. Es el resultado de multiplicar el total de vehículos de determinado tipo, por la distancia anual recorrida en kilómetros.
- Ton-km. Es el resultado de multiplicar el Vehículo-km. por el promedio de toneladas que lleva cada vehículo por viaje.
- Pass-km. Es el resultado de multiplicar el Vehículo-km. por el promedio de pasajeros que lleva cada vehículo por viaje.
- Rendimiento vehicular. Es la cantidad de combustible que gasta un vehículo por kilómetro recorrido.

| Tabla 1.3 Información disponible para estimar consumo de combustibles por modo para autotransporte | |
|---|-------------------------------------|
| Transporte de carga por tipo | |
| Total de vehículos por tipo | SMA-GDF |
| Km. recorrido | SMA-GDF |
| Vehículo-km. | SMA-GDF |
| Ton-km. | n.a |
| Rendimiento vehicular | Estimaciones para algunos años ZMVM |
| Transporte de pasajeros por tipo | |
| Total de vehículos por tipo | SMA-GDF |
| Km.-recorrido | SMA-GDF |
| Vehículo-km. | SMA-GDF |
| Pass-km. | n.d. |
| Rendimiento vehicular | SMA-GDF |

CAPITULO 2

ZONA METROPOLITANA DEL VALLE DE MÉXICO (ZMVM)

2.1 Características de la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM)

El presente capítulo define de manera general el concepto de Zona Metropolitana. Asimismo, describe la Zona Metropolitana del Valle de México. De igual manera, describe la situación geográfica, su extensión territorial, las delegaciones y municipios que la conforman. A demás, brinda información de las carreteras y red vial de la zona, y del parque vehicular que en ella circula.

De acuerdo con el INEGI, CONAPO, SEDESOL (2007); una zona metropolitana está definida como el conjunto de dos o más municipios donde se localiza una ciudad de 50 mil o más habitantes, cuya área urbana, funciones y actividades rebasan el límite del municipio que originalmente la contenía, incorporando como parte de sí misma o de su área de influencia directa municipios vecinos, predominantemente urbanos, con los que mantiene un alto grado de integración socioeconómica; en esta definición se incluye además a aquellos municipios que por sus características particulares son relevantes para la planeación y políticas urbanas. Adicionalmente, se definen como zonas metropolitanas todos aquellos municipios que contienen una ciudad de un millón o más de habitantes, así como aquellos con ciudades de 250 mil o más habitantes que comparten procesos con ciudades de Estados Unidos de América.

De acuerdo con SEDESOL, CONAPO, INEGI (2007), la Zona Metropolitana del Valle de México incluye las 16 delegaciones del Distrito Federal, 59 municipios conurbados del Estado de México y un municipio del Estado de Hidalgo (Tabla 2.1).

| Tabla 2.1 Zona Metropolitana del Valle de México | | | |
|---|-------------------|----------------------------------|-------------------|
| Delegaciones o Municipios | Población | Delegaciones o Municipios | Población |
| Distrito Federal | 8,720,916 | Huixquilucan | 224,042 |
| Álvaro Obregón | 706,567 | Isidro | 8,788 |
| Azcapotzalco | 425,298 | Ixtapaluca | 429,033 |
| Benito Juárez | 355,017 | Jaltenco | 26,359 |
| Coyoacán | 628,063 | Jilotzingo | 13,825 |
| Cuajimalpa de Morelos | 173,625 | Juchitepec | 21,017 |
| Cuauhtémoc | 521,348 | Melchor Ocampo | 37,706 |
| Gustavo A. Madero | 1,193,161 | Naucalpan de Juárez | 821,442 |
| Iztacalco | 395,025 | Nextlalpan | 22,507 |
| Iztapalapa | 1,820,888 | Nezahualcóyotl | 1,140,528 |
| La Magdalena Contreras | 228,927 | Nicolás Romero | 306,516 |
| Miguel Hidalgo | 353,534 | Nopaltepec | 8,182 |
| Mila Alta | 115,895 | Otumba | 29,889 |
| Tláhuac | 344,106 | Ozumba | 24,055 |
| Talpan | 607,545 | Papalotla | 3,766 |
| Venustiano Carranza | 447,459 | La Paz | 232,546 |
| Xochimilco | 404,458 | San Martín de las Pirámides | 21,511 |
| Estado de México | 10,462,421 | Tecámac | 270,574 |
| Acolman | 77,035 | Temamatla | 10,135 |
| Amecameca | 48,363 | Temascalapa | 33,063 |
| Apaxco | 25,738 | Tenango del Aire | 9,432 |
| Atenco | 42,739 | Teoloyucan | 73,696 |
| Atizapán de Zaragoza | 472,526 | Teotihuacán | 46,779 |
| Atlautla | 24,110 | Tepetlaxtóc | 25,507 |
| Axapusco | 21,915 | Tepetlixpa | 16,912 |
| Ayapango | 6,361 | Tepotzotlán | 67,724 |
| Coacalco de Berriozábal | 257,403 | Tequixquiac | 31,080 |
| Cocotitlán | 22,664 | Texcoco | 209,308 |
| Coyotepec | 170,035 | Tezoyuca | 25,372 |
| Cuautitlán | 19,656 | Tlalamalco | 43,930 |
| Cuautitlán Izcalli | 525,389 | Tlalnepantla de Baz | 683,808 |
| Chalco | 285,943 | Tonanitla | 8,081 |
| Chiautla | 12,120 | Tultepec | 110,145 |
| Chicoloapan | 39,341 | Tultitlán | 472,867 |
| Chiconcoac | 110,345 | Valle de Chalco Solidaridad | 332,279 |
| Chimalhuacán | 498,021 | Villa del carbón | 39,587 |
| Ecatepec de Morelos | 1,688,258 | Zumpango | 127,988 |
| Ecatzingo | 8,247 | Hidalgo | |
| Huehueteca | 59,721 | Tizayuca | 56,573 |
| Hueyopxtla | 36,512 | Total | 19,239,910 |

Fuente: INEGI (2005a)

En la Ciudad de México o Distrito Federal (DF), viven más de 8.72 millones de personas y se concentra el 22% del PIB nacional. La Ciudad forma parte de la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), que de acuerdo con el INEGI a partir de 2006, incluye a las 16 delegaciones del Distrito Federal (DF), 59 municipios conurbados del Estado de México y 1 municipio del Estado de Hidalgo (INEGI, 2006); en ella viven cerca de 20 millones de habitantes, que corresponden a poco más del 18% de la población total del país y representa alrededor del 35% de la generación de la riqueza nacional.

De acuerdo con esta definición, la ZMVM se sitúa dentro del sistema formado por las siguientes coordenadas geográficas: al Norte, 20° 03', al Sur, 18° 56'; de latitud Norte al Este 98° 36', al Oeste 99° 40' de longitud Oeste. Abarca una superficie que representa el 0.39% del total nacional. Gran parte de la ZMVM presenta alturas que van desde los 2,240 metros sobre el nivel del mar (msnm) en sus partes planas, hasta sus elevaciones principales, el Cerro Telapón con 4,030 msnm y el Volcán Ajusco con 3,930 msnm.

La ZMVM es parte de un sistema más complejo de relaciones económicas y sociales, que se han establecido entre las diversas ciudades de la región central del país en el marco de una megalópolis (Iracheta, 1997), que incluye las zonas metropolitanas de Toluca-Lerma, Cuernavaca-Cuautla, Puebla-Tlaxcala y Pachuca en los estados de México, Morelos y Guerrero, Puebla y Tlaxcala, e Hidalgo respectivamente.

2.2 Extensión territorial de la ZMVM

La ZMVM entendida como 16 delegaciones, 59 municipios del Estado de México y 1 municipio del Estado de Hidalgo (Figura 4.1) tiene una extensión de 7,845.22 km², de los cuales 2,225.77 km² son urbanos (INEGI, 2005a).

El área urbana de la ZMVM se concentra en las delegaciones del centro, norte y oriente del Distrito Federal, y en los municipios más cercanos a éstas. La Tabla 4.1 muestra las áreas total y urbana (de AGEBS), así como el porcentaje urbanizado, de los municipios de la ZMVM.

Se observa que las delegaciones y los municipios con urbanización de más del 99% son nueve delegaciones del DF y un municipio del Estado de México: Miguel Hidalgo, Iztacalco, Benito Juárez, Azcapotzalco, Cuauhtémoc, Venustiano Carranza, Iztapalapa, Coyoacán, Gustavo A. Madero y Jaltenco. Con urbanización de entre el 80% y el 92% se tienen los siguientes cuatro municipios del Estado de México: Tlalnepantla de Baz, Atizapán de Zaragoza, Ecatepec de Morelos y Nezahualcóyotl.

Las delegaciones y los municipios con urbanización entre el 50% y el 80% son los siguientes: Chimalhuacán, Cuautitlán Izcalli, Chiconcuac, La Paz, Álvaro Obregón, Tultitlán, Papalotla, Coacalco de Berriozábal, Valle de Chalco Solidaridad, Tultepec, Cuautitlán, Xochimilco, Melchor Ocampo y Naucalpan de Juárez.

Por otro lado, los 18 municipios con urbanización menor al 10% son los siguientes: Temascalapa, Apaxco Hueycoxtila, Nopaltepec, Temamatla, Tepetlaoxtoc, Otumba, Atlautla, Tlalmanalco, San Martín de las Pirámides, Amecameca, Tenango del Aire, Axapusco, Jilotzingo, Villa del Carbón, Ayapango, Juchitepec, e Isidro Fabela.

Los municipios de la ZMVM con menor urbanización se ubican en la periferia y presentan múltiples áreas urbanas no contiguas al resto del área urbana de la ZMVM (Figura 2.1).

Las delegaciones del DF no listadas anteriormente, con urbanización de entre 10% y 50%, se ubican en las zonas poniente y sur del DF, donde la topografía del terreno y la existencia de áreas de reserva ecológica limitan su crecimiento. Dichas delegaciones son las siguientes: Cuajimalpa de Morelos, Tláhuac, La Magdalena Contreras, Tlalpan y Milpa Alta.



Fuente: Inventario de emisiones criterio de la ZMVM, 2006(INEGI, 2007)

| Tabla 2.2 Áreas total y urbana de las delegaciones y municipios de la ZMVM | | | | |
|---|-----------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Clave | Delegación/Municipio | Área Mun. 2005 | Área AGEB 2005 | % Urbanización |
| 9002 | Azcapotzalco | 33.49 | 33.50 | 100.03% |
| 9003 | Coyoacán | 54.03 | 53.98 | 99.91% |
| 9004 | Cuajimalpa de Morelos | 70.64 | 33.50 | 47.42% |
| 9005 | Gustavo A. Madero | 87.65 | 87.56 | 99.90% |
| 9006 | Iztacalco | 23.17 | 23.19 | 100.09% |
| 9007 | Iztapalapa | 113.37 | 113.33 | 99.96% |
| 9008 | La Magdalena Contreras | 63.44 | 18.95 | 29.87% |
| 9009 | Milpa Alta | 285.80 | 28.67 | 10.03% |
| 9010 | Álvaro Obregón | 95.93 | 69.91 | 72.88% |
| 9011 | Tláhuac | 86.83 | 38.97 | 44.88% |
| 9012 | Tlalpan | 311.31 | 89.30 | 28.69% |
| 9013 | Xochimilco | 119.00 | 65.68 | 55.19% |
| 9014 | Benito Juárez | 26.67 | 26.69 | 100.07% |
| 9015 | Cuauhtémoc | 32.66 | 32.66 | 100.00% |
| 9016 | Miguel Hidalgo | 46.34 | 46.41 | 100.15% |
| 9017 | Venustiano Carranza | 33.74 | 33.73 | 99.97% |
| 13069 | Tizayuca | 77.12 | 24.23 | 31.42% |
| 15002 | Acolman | 83.86 | 28.44 | 33.91% |
| 15009 | Amecameca | 190.00 | 9.44 | 4.97% |
| 15010 | Apaxco | 75.54 | 6.76 | 8.95% |
| 15011 | Atenco | 83.76 | 8.94 | 10.67% |
| 15013 | Atizapán de Zaragoza | 83.61 | 71.80 | 85.87% |
| 15015 | Atlautla | 161.77 | 9.39 | 5.80% |
| 15016 | Axapusco | 230.71 | 9.04 | 3.92% |
| 15017 | Ayapango | 36.39 | 1.17 | 3.22% |
| 15020 | Coacalco de Berriozábal | 34.94 | 21.75 | 62.25% |
| 15022 | Cocotitlán | 14.83 | 2.22 | 14.97% |
| 15023 | Coyotepec | 49.27 | 12.04 | 24.44% |
| 15024 | Cuautitlán | 26.29 | 14.53 | 55.27% |
| 15025 | Chalco | 219.83 | 43.62 | 19.84% |
| 15028 | Chiautla | 20.79 | 8.40 | 40.40% |
| 15029 | Chicoloapan | 53.84 | 22.35 | 41.51% |
| 15030 | Chiconcuac | 6.81 | 5.25 | 77.09% |
| 15031 | Chimalhuacán | 45.87 | 36.38 | 79.31% |
| 15033 | Ecatepec de Morelos | 160.02 | 132.16 | 82.59% |
| 15034 | Ecatzingo | 50.68 | 6.33 | 12.49% |
| 15035 | Huehuetoca | 117.90 | 12.48 | 10.59% |
| 15036 | Hueypoxtla | 233.67 | 18.73 | 8.02% |
| 15037 | Huixquilucan | 140.20 | 38.51 | 27.47% |
| 15038 | Isidro Fabela | 75.72 | 1.14 | 1.51% |

Fuente: Elaboración con información del INEGI (2005a, b, c).

| Tabla 2.2 Áreas total y urbana de las delegaciones y municipios de la ZMVM (continuación) | | | | |
|--|-----------------------------|------------------|-----------------------|-----------------------|
| Clave | Delegación/Municipio | Área 2005 | Área AGEB 2005 | % Urbanización |
| 15039 | Ixtapaluca | 325.35 | 48.29 | 14.84% |
| 15044 | Jaltenco | 4.72 | 4.69 | 99.36% |
| 15046 | Jilotzingo | 126.29 | 4.70 | 3.72% |
| 15050 | Juchitepec | 139.78 | 3.20 | 2.29% |
| 15053 | Melchor Ocampo | 18.07 | 9.47 | 52.41% |
| 15057 | Naucalpan de Juárez | 156.76 | 79.00 | 50.40% |
| 15058 | Nezahualcóyotl | 62.52 | 51.44 | 82.28% |
| 15059 | Nextlalpan | 54.16 | 9.16 | 16.91% |
| 15060 | Nicolás Romero | 235.47 | 53.30 | 22.64% |
| 15061 | Nopaltepec | 83.62 | 5.66 | 6.77% |
| 15065 | Otumba | 195.44 | 12.53 | 6.41% |
| 15068 | Ozumba | 45.99 | 6.57 | 14.29% |
| 15069 | Papalotla | 3.39 | 2.19 | 64.60% |
| 15070 | La paz | 36.39 | 26.83 | 73.73% |
| 15075 | San Martín de las Pirámides | 67.07 | 3.47 | 5.17% |
| 15081 | Tecámac | 157.16 | 52.19 | 33.21% |
| 15083 | Temamatla | 28.75 | 1.86 | 6.47% |
| 15084 | Temascalapa | 163.64 | 15.33 | 9.37% |
| 15089 | Tenango del Aire | 37.65 | 1.60 | 4.25% |
| 15091 | Teoloyucán | 52.92 | 18.93 | 35.77% |
| 15092 | Teotihuacán | 83.09 | 13.56 | 16.32% |
| 15093 | Tepetlaoxtoc | 177.82 | 11.44 | 6.43% |
| 15094 | Tepetlixpa | 42.67 | 8.14 | 19.08% |
| 15095 | Tepotzotlán | 187.64 | 25.55 | 13.62% |
| 15096 | Tequixquiac | 126.03 | 22.45 | 17.81% |
| 15099 | Texcoco | 433.97 | 78.83 | 18.16% |
| 15100 | Tezoyuca | 17.40 | 6.99 | 40.17% |
| 15103 | Tlalmanalco | 160.03 | 8.94 | 5.59% |
| 15104 | Tlalnepantla de Baz | 76.93 | 70.81 | 92.04% |
| 15108 | Tultepec | 27.18 | 15.29 | 56.25% |
| 15109 | Tultitlán | 69.23 | 49.53 | 71.54% |
| 15112 | Villa del Carbón | 306.18 | 9.96 | 3.25% |
| 15120 | Zumpango | 219.96 | 39.26 | 17.85% |
| 15121 | Cuatitlan Izcalli | 109.51 | 85.14 | 77.75% |
| 15122 | Valle de Chalco Solidaridad | 46.48 | 26.24 | 56.45% |
| 15125 | Tonanitla | 8.47 | 2.10 | 24.79% |
| Total | | 7,845.22 | 2,225.77 | 28.37% |

Fuente: Elaboración con información del INEGI (2005a, b, c).

2.3 Red vial y carretera de la ZMVM

En la red vial de la ZMVM se mezclan tramos de carreteras y de autopistas, vías internas rápidas de cuota, calles locales, y de la red vial primaria de la Ciudad de México la cual se comprende de vías rápidas, vías principales y ejes viales (Figura 2.2).

Dentro de la zona central del DF, la red vial permite múltiples opciones de rutas entre pares origen-destino, sin embargo en las periferias del DF y en los municipios del Estado de México, la red brinda un reducido número de rutas (a veces una única) entre pares de puntos, lo cual se ve reflejado en fuerte congestión y tiempos de recorrido.

En el DF la longitud de la red vial se estima alrededor de 10 mil 200 km, de los cuales 913 km (9%) corresponden a la vialidad primaria conformada por 171.5 km de vías rápidas, 421 km de ejes viales y 320.5 km de vías principales. El resto de la red vial, 9,269 km (91%), esta conformada por las vialidades secundarias (SETRAVI 2009).

Las áreas urbanas de los municipios de la periferia están conectadas mediante carreteras con capacidad reducida (generalmente un carril por sentido). Con la tendencia actual, es probable que la mancha urbana se extienda sobre dichas carreteras hasta llegar a las áreas urbanas actualmente no contiguas, lo cual producirá mayores necesidades de viaje y consecuentemente un incremento en la congestión sobre dichas carreteras.

Debido a la falta de información, la estimación del flujo vehicular de la ZMVM, solamente incluye las 16 delegaciones y 34 municipios metropolitanos.

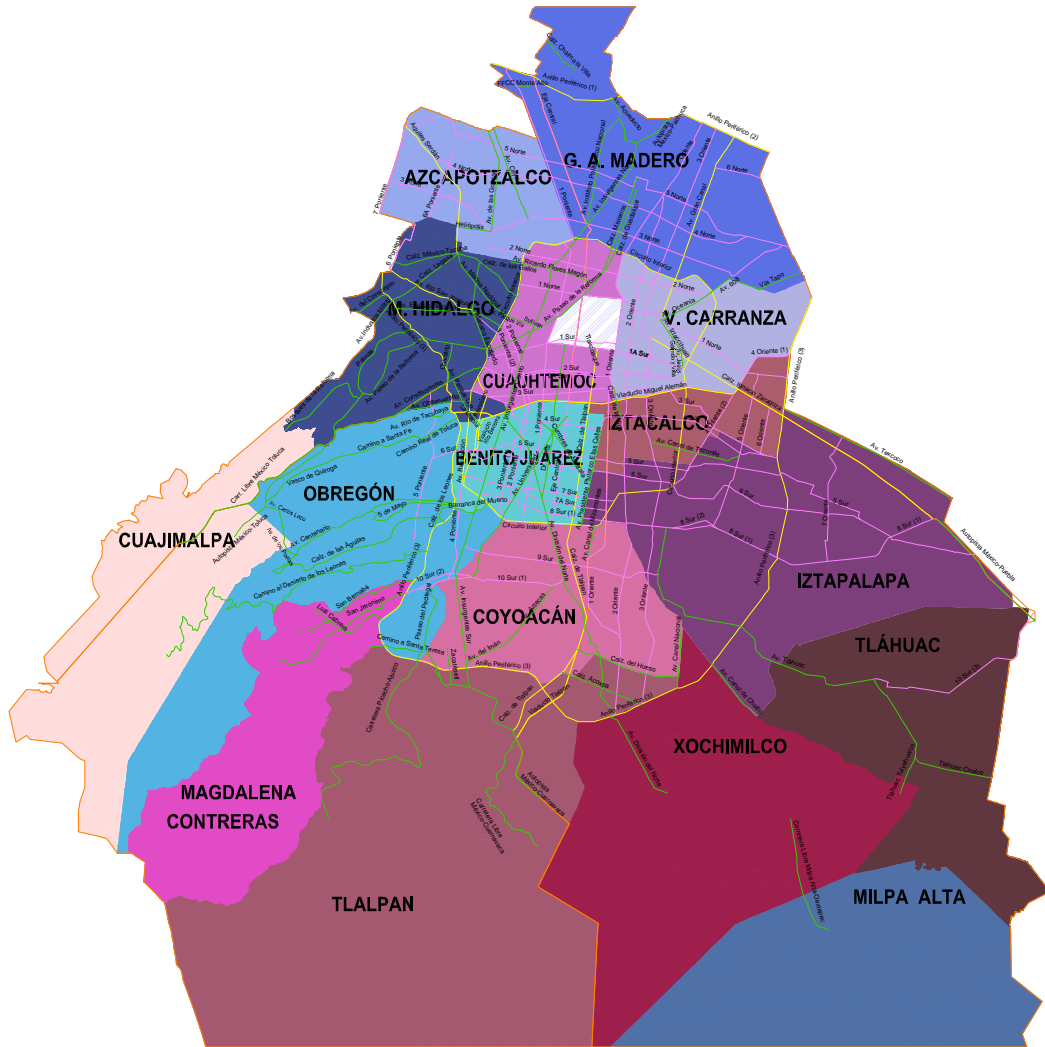


Figura 2.2 Red vial primaria de la Ciudad de México

2.4 Parque vehicular

La Tabla 2.3 muestra los vehículos registrados en la ZMVM, de acuerdo a la SMA-GDF. Como puede observarse, entre 1990 y 2006, el incremento en el número de automóviles fue de 99%, el de autobuses de 96% y el de camiones de carga de 80%. De esta forma, el crecimiento del parque vehicular es una de las razones más importantes del aumento de combustibles en el sector transporte.

Visto de otra forma, el número de vehículos de motor registrados en el país, creció a una tasa promedio anual de 9.4%, mientras la población total del país lo hizo en 1.7% anual. De esta forma, la tasa de motorización (número de automóviles por 1000 habitantes), aumentó de 83 vehículos por cada 1000 habitantes en 1991 a 169.7 en 2008 (Tabla 2.4).

| Año | Automóviles | Camiones de Carga | Autobuses |
|------------|--------------------|--------------------------|------------------|
| 1990 | 1,885,317 | 117,780 | 37,504 |
| 1992 | 2,074,752 | 145,481 | 50,705 |
| 1994 | 2,251,568 | 150,569 | 55,907 |
| 1996 | 2,261,805 | 154,456 | 56,175 |
| 1998 | 2,472,252 | 153,173 | 54,474 |
| 2000 | 2,723,359 | 168,814 | 56,845 |
| 2002 | 3,107,233 | 193,330 | 61,413 |
| 2004 | 3,469,110 | 203,790 | 65,212 |
| 2006 | 3,747,951 | 212,305 | 73,617 |

Fuente: Elaboración con base en la información de la SMA-GDF

| Año | Población (millones) | Automóviles registrados (miles) | Tasa de motorización (automóviles por 1000 habitantes) |
|------------|-----------------------------|--|---|
| 1991 | 83.0 | 6916.1 | 83.3 |
| 1995 | 90.5 | 7449.4 | 82.3 |
| 2000 | 97.5 | 10145.1 | 104.1 |
| 2005 | 103.0 | 14269.3 | 138.5 |
| 2008 | 106.5 | 18077.9 | 169.7 |

Fuente: Mitigación de GEI en el transporte de pasajeros en las tres principales zonas metropolitanas de México, Claudia Sheinbaum Pardo.

CAPITULO 3

METODOLOGÍA Y FUENTES DE INFORMACIÓN

El presente capítulo describe la metodología implementada para realizar los cálculos de consumos de energía y emisiones de gases de efecto invernadero. Asimismo, muestra la información utilizada y las consideraciones empleadas para estimar las emisiones de CO_{eq} y define los diferentes escenarios posibles para mitigar los gases de efecto invernadero.

3. 1 Metodología

Para estimar el consumo de energía por modo de transporte y por combustible se utiliza la siguiente ecuación:

$$E = \sum \left[\frac{V_{t,i,c} * D_{t,i} * d * PC_{t,c}}{Rv_i} \right] \quad (1)$$

Donde:

t=año del vehículo (tecnología de control de emisiones)

i=i(tv)

tv=tipo de vehículo (subcompacto, compacto, lujo)

c=combustible

V_{t, i, c}=Vehículo (año, tipo, combustible)

D_{t, f}=Kilómetros recorridos al día por el vehículo (año, tipo)

d=días de circulación al año (tipo de calcomanía)

PC_{t, c}=Poder calorífico del combustible (año, combustible)

Rv_f=Rendimiento vehicular (tipo de vehículo)

Dado que en este trabajo se analiza el transporte de pasajeros, los modos de transporte que se consideran son:

- Vehículo privado sub-compacto
- Vehículo privado-compacto
- Vehículo privado de lujo
- Vehículo privado deportivo
- Camioneta (camiones ligeros de uso múltiples)
- Taxi
- Microbús o minibús

Para estimar las emisiones de GEI para el año base por modo de transporte para un año determinado, se calcula el consumo de energía por modo y por combustible y se utilizan los factores de emisión del IPCC. En este caso, se usan los factores de emisión de la metodología 1996.

Las emisiones equivalentes de CO₂ se calculan de acuerdo a la fuerza radiativa del CH₄ y del N₂O determinada en la metodología del IPCC (1996), como:

$$CO_2eq = E * Fe_{t,i,c}|_{CO_2} + 310 * E * Fe_{t,i,c}|_{N_2O} + 21 * E * Fe_{t,i,c}|_{CH_4} \quad (2)$$

Donde:

$Fe_{t,i,c}$ = Factor de emisiones (año del vehículo, tipo de vehículo, combustible)

Análisis dimensional

Para el caso de la gasolina, diesel y gas LP:

$$E [=] \frac{\# \text{ de vehículos} * \left(\frac{km}{día}\right) * \left(\frac{días}{año}\right) / \text{vehículo} * \left(\frac{MJ}{Bl}\right)}{\left(\frac{km}{lt}\right)} * \left(\frac{1Bl}{159lt}\right) [=] MJ$$

$$Fe [=] MJ * \left(\frac{g}{MJ}\right) [=] g$$

Para gas LP

$$E [=] \frac{\# \text{ de vehículos} * \left(\frac{km}{día}\right) * \left(\frac{días}{año}\right) / \text{vehículo} * \left(\frac{MJ}{m^3}\right)}{\left(\frac{km}{lt}\right)} * \left(\frac{1m^3}{1000Lt}\right) [=] MJ$$

$$Fe [=] MJ * \left(\frac{g}{MJ}\right) [=] g$$

El año base para ZMVM es el 2006, para esos años se tiene información disponible.

Las emisiones de CO₂ (Tabla 3.1) están determinadas por el contenido de carbono en el combustible debido a que, prácticamente todo el combustible que se quema, con excepción del que no se oxida (factor de oxidación), se convierte de CO₂. Por ello, el IPCC recomienda utilizar el factor de emisión en gramos de CO₂ por energía (Joule). Sin embargo, para el CH₄ y el N₂O, las emisiones dependen de la tecnología de control y de los kilómetros recorridos, de forma similar a los contaminantes locales o criterio.

| Tabla 3.1 Factores de emisión de CO₂, incluyendo fracción oxidable (tCO₂/TJ) | |
|---|--------|
| GLP | 62.436 |
| Gasolinas | 68.607 |
| Diesel | 73.326 |
| Gas natural | 55.820 |

Fuente: IPCC, Manual de referencia V III. 1996c

Los factores de emisión para el CH₄ y el N₂O se presentan en las Tablas 3.2 y 3.3 para automóviles a gasolina y de otros combustibles, respectivamente. Se decidió utilizar los factores de emisión del IPCC (1996) que corresponden a vehículos de Estados Unidos. En este caso, las emisiones dependen de la tecnología de control.

| Tabla 3.2 Factores de emisión CH₄ y N₂O para vehículos de gasolina | | | |
|---|---------------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| | Año de incorporación en México | CH₄ (g/km) | N₂O (g/km) |
| Auto privado, taxi y combi ⁽¹⁾ | | | |
| Convertidor catalítico de tres vías | 1993 en adelante | 0.030 | 0.170 |
| Convertidores por oxidación | 1991-1992 | 0.070 | 0.075 |
| Sin control | anteriores a 1991 | 0.135 | 0.020 |
| Microbús ⁽²⁾ | | | |
| Convertidor catalítico de tres vías | 1993 en adelante | 0.035 | 0.236 |
| Convertidores por oxidación | 1991-1992 | 0.090 | 0.097 |
| Sin control | anteriores a 1991 | 0.135 | 0.024 |
| Autobús ⁽³⁾ | | | |
| Convertidor catalítico de tres vías | 1993 en adelante | 0.075 | 0.606 |
| Sin control | anteriores a 1993 | 0.270 | 0.054 |
| Motocicleta ⁽⁴⁾ | | | |
| Con control | 1993 en adelante | 0.13 | 0.002 |

Fuente: IPCC (1996). (1) Tabla 1.27 US Gasoline passenger cars; (2) Tabla 1.28 US light duty gasoline trucks ; (3) Tabla 1.29 US Heavy Duty Gasoline Trucks; (4) Tabla 1.33. US Motorcycles.

Como puede observarse, el factor de emisión del metano disminuye a medida que el automóvil tiene un mejor convertidor catalítico. Sin embargo, las emisiones de óxido nítrico son mayores mientras mejor es la tecnología de control. Esto pone énfasis en el hecho de que la tecnología de control de las emisiones de contaminantes locales, no necesariamente tiene impacto positivo en las emisiones de GEI. Este es caso particular del N₂O donde las emisiones son mayores y del propio CO₂, en donde el convertidor catalítico no representa ningún impacto.

| Tabla 3.3 Factores de emisión de CH₄ y N₂O para vehículos de combustibles distintos a gasolina | | | |
|---|--------------------------------|------------------------|-------------------------|
| | Año de incorporación en México | CH ₄ (g/km) | N ₂ O (g/km) |
| Auto privado, taxi y combi a diesel ⁽¹⁾ | | | |
| Control avanzado | 1998 en adelante | 0.010 | 0.007 |
| Control moderado | 1994-1997 | 0.010 | 0.010 |
| Sin control | anteriores a 1994 | 0.010 | 0.014 |
| Auto privado, taxi y combi a GLP ⁽⁴⁾ | | | |
| Control avanzado | 1993 en adelante | 0.030 | NAV |
| Sin control | anteriores a 1993 | 0.180 | NAV |
| Auto privado, taxi y combi a GNC ⁽⁵⁾ | | | |
| Control avanzado | 1993 en adelante | 0.700 | NAV |
| Sin control | anteriores a 1993 | 3.500 | NAV |
| Microbús a diesel ⁽²⁾ | | | |
| Control avanzado | 1998 en adelante | 0.010 | 0.024 |
| Sin control | 1994-1997 | 0.01 | 0.063 |
| Sin control | anteriores a 1994 | 0.01 | 0.031 |
| Microbús a GLP ⁽⁴⁾ | | | |
| Control avanzado | 1993 en adelante | 0.030 | NAV |
| Sin control | anteriores a 1991 | 0.180 | NAV |
| Microbús a GNC ⁽⁵⁾ | | | |
| Control avanzado | 1993 en adelante | 0.700 | NAV |
| Sin control | anteriores a 1991 | 3.500 | NAV |
| Autobús a diesel ⁽³⁾ | | | |
| Control avanzado | 1998 en adelante | 0.040 | 0.025 |
| Control moderado | 1994-1997 | 0.050 | 0.025 |
| Sin control | anteriores a 1994 | 0.060 | 0.031 |

Fuente: IPCC (1996; 2006). (1) Tabla 1.30 US diesel passenger car; (2) Tabla 1.31 US light duty diesel truck; (3) 1.32 US heavy duty diesel vehicles; (4) Tabla 1.43 passenger cars. Para N₂O se toma de IPCC (2006); Tabla 3.3; (5) Tabla 1.44 passenger cars, Para N₂O se toma de IPCC (2006)

3.2 Información base y estimaciones

La fuente de información para la estimación de las emisiones para el año base fue tomada de los inventarios de emisión elaborados por la Dirección General de Calidad del Aire de la Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal.

Escenarios de consumo de energía y emisiones

Para estimar el consumo de energía y las emisiones de gases de efecto invernadero para el año 2020, la metodología que se sigue es muy similar a la presentada en la ecuación (1) para el año base. De esta forma, el problema será estimar el parque vehicular para el año 2020, por tipo, edad y combustibles, los rendimientos vehiculares y los kilómetros recorridos.

Para ello y en el caso del transporte privado, incluyendo motocicletas para la ZMVM, se consideran las ventas históricas y una tasa de desecho, como lo muestra la ecuación (3).

$$V_{ijt} = \sum_{n=1}^{n-1} [V_{ijt} * (1 + TD_t)] + C(t-1) * (1 + T_t) \quad (3)$$

Donde:

TD = tasa de desecho desde el año 1 hasta el n-1; es decir la tasa a la cual los vehículos de cierta antigüedad dejan de circular.

C(t-1) = Ventas del año anterior

T_t = tasa de crecimiento anual de las ventas para el año t.

A continuación muestran las consideraciones del escenario base para la ZMVM

Autos privados:

- Para 2007 y 2008, las ventas por tipo de vehículo provienen del INEGI (2009).
- De 2009 a 2020, la tasa anual de crecimiento de las ventas es equivalente a la del periodo 1998-2006; para cada categoría. Sin embargo de 2009 a 2011 se hacen las siguientes consideraciones: las ventas en 2009 disminuyen en un 25% respecto al valor de 2008, producto de la crisis económica (estimación basada en proyecciones de la Asociación Mexicana de la Industria Automotriz) y las ventas de 2011 serán iguales a las del 2008 (situación similar a la ocurrida con la crisis de 1995, cuando las ventas de autos se recuperaron en 3 años). Entre 2008 y 2011 se estima un crecimiento lineal.
- Para estimar la tasa de desecho se tomó la información del parque por edad, disponible para las 16 delegaciones y 18 municipios conurbados de 1994 a 2006, de la SMA-GDF. La Tabla 5.5 muestra la tasa de desecho, como puede observarse, en los años de 1990 a 2006, la tasa de desecho de los vehículos anteriores a 1982 y hasta los de 1996 resulta tener cierta coherencia. Sin embargo la información de 1997 a 2006 presenta tasas de desecho que no tienen relación temporal. Por ejemplo establece que los vehículos de 2004 a 2006 cayeron en 12.8%. Por esta razón, se decide utilizar la tasa de los primeros años y se realiza una estimación lineal, la cual queda como se presenta en la Tabla 5.4.
- El crecimiento de los vehículos privados a partir del año base es solamente para autos de gasolina. Los autos de otros combustibles van saliendo del parque conforme a la tasa de desecho de la Tabla 5.5.
- Se considera que los autos subcompactos y compactos tienen un rendimiento vehicular promedio y constante para todos los años de 10 km/lt.

- Se considera que los autos deportivos, camiones ligeros de uso múltiple tienen un rendimiento vehicular promedio y constante para todos los años de 7 km/lt.
- Se considera que los autos de lujo y los camiones ligeros tienen un rendimiento vehicular promedio y constante para todo los años de 4 km /lt.
- Los kilómetros recorridos son constantes y equivalentes a los del año base.
- Se mantiene el hoy no circula para los vehículos con 8 años de antigüedad.

Transporte público de pasajeros

- Se estima que el parque vehicular de los vehículos de transporte público se incrementa de acuerdo a datos de la SETRAVI, en los siguientes años. Para el caso de los taxis y los microbuses se considera la sustitución que acuerda al 1^{er} informe “Mejoramiento de Transporte público” de la SETRAVI.
- En el caso de la ZMVM, se considera que los taxis utilizan solamente gasolina, para microbuses, autobuses y combis se considera la misma proporción de estructura de combustible que para el 2006.
- Para la ZMVM se mantienen el programa hoy no circula para los vehículos con 8 años de antigüedad con excepción de los autobuses que se considera circulan diario.
- Los rendimientos vehiculares y la distancia se consideran constantes y equivalentes al año base.

Los principales escenarios de mitigación se construyen bajo las siguientes consideraciones:

a) Mayor eficiencia vehicular

Este escenario implica aumento del rendimiento vehicular de los autos privados nuevos, de forma gradual hasta llegar en 2020 a una eficiencia mayor del 10%, comparado con 2006.

b) Disminución del uso del auto particular

Este escenario considera la sustitución de viajes que se realizan en transporte privado por transporte público. Mantiene el parque vehicular de los autos nuevos, pero disminuye el recorrido de los mismos, en un 80%, para el 15% de la flota vehicular, para el año 2020. Implica también la incorporación de autobuses nuevos (de acuerdo a los pasajeros kilómetro que dejarían de circular bajo la hipótesis) y la chatarrización de microbuses o autobuses que serán sustituidos por el nuevo modelo. Esto significaría la incorporación o crecimiento de modos de transporte como el Metrobús y otras medidas que facilitarían la decisión del automovilista para cambiar de modo de transporte, como estacionamientos a lo largo de las rutas.

c) Aumento en la velocidad de recorrido

Este escenario implica el aumento en la velocidad de recorrido de los automóviles particulares. Este objetivo puede lograrse con nuevas vías de comunicación o con mecanismos de control de la demanda como el programa “Hoy no Circula” y el “Hoy no Circula Sabatino”, u horarios de transporte de carga, u horarios de transporte.

| Tabla 3.4 Edad del parque vehicular por año para 16 delegaciones y 18 municipios conurbados | | | | | | | | | | |
|--|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|
| | 1990 | 1992 | 1994 | 1996 | 1998 | 2000 | 2002 | 2004 | 2006 | TD* |
| 1982 y ant. | 913,056 | 832,516 | 751,975 | 671,430 | 590,877 | 510,341 | 445,301 | 382,251 | 297,039 | -6.80% |
| 1983 | 67,388 | 62,175 | 56,963 | 51,750 | 46,536 | 41,323 | 36,927 | 33,370 | 26,963 | -5.60% |
| 1984 | 78,611 | 72,818 | 67,025 | 61,233 | 55,440 | 49,648 | 44,851 | 41,310 | 33,630 | -5.20% |
| 1985 | 90,285 | 84,215 | 78,146 | 72,076 | 66,006 | 59,936 | 55,062 | 50,979 | 41,769 | -4.70% |
| 1986 | 79,906 | 74,866 | 69,827 | 64,787 | 59,746 | 54,709 | 50,949 | 48,084 | 40,832 | -4.10% |
| 1987 | 55,489 | 50,364 | 45,240 | 42,873 | 40,503 | 38,137 | 36,842 | 36,196 | 31,390 | -3.50% |
| 1988 | 75,812 | 68,719 | 61,626 | 58,915 | 56,204 | 53,493 | 51,922 | 52,180 | 45,580 | -3.10% |
| 1989 | 116,483 | 105,482 | 94,480 | 89,391 | 84,304 | 79,213 | 75,205 | 74,679 | 65,760 | -3.50% |
| 1990 | 143,297 | 129,995 | 116,693 | 110,949 | 105,207 | 99,464 | 95,142 | 94,885 | 84,171 | -3.30% |
| 1991 | | 154,459 | 138,944 | 123,428 | 117,487 | 111,547 | 107,278 | 108,345 | 99,107 | -3.10% |
| 1992 | | 170,972 | 153,375 | 135,779 | 128,951 | 122,129 | 116,524 | 118,168 | 110,575 | -3.10% |
| 1993 | | | 162,857 | 143,606 | 134,406 | 125,210 | 116,734 | 116,269 | 107,320 | -3.40% |
| 1994 | | | 172,126 | 152,697 | 140,704 | 128,715 | 117,960 | 112,734 | 105,482 | -4.00% |
| 1995 | | | | 97,962 | 89,846 | 81,724 | 74,088 | 70,119 | 72,855 | -2.90% |
| 1996 | | | | 70,588 | 64,323 | 58,074 | 52,106 | 48,764 | 59,466 | -1.70% |
| 1997 | | | | | 118,677 | 107,651 | 98,417 | 91,552 | 83,763 | -4.30% |
| 1998 | | | | | 248,231 | 198,118 | 175,350 | 164,474 | 152,278 | -5.90% |
| 1999 | | | | | | 165,969 | 156,077 | 146,691 | 137,089 | -3.10% |
| 2000 | | | | | | 278,114 | 202,161 | 194,744 | 184,544 | -6.60% |
| 2001 | | | | | | | 294,980 | 242,726 | 234,643 | -5.60% |
| 2002 | | | | | | | 317,488 | 274,810 | 248,768 | -5.90% |
| 2003 | | | | | | | | 270,270 | 220,604 | -9.70% |
| 2004 | | | | | | | | 310,158 | 235,852 | -12.8% |
| 2005 | | | | | | | | | 285,661 | |
| 2006 | | | | | | | | | 270,426 | |

Fuente: SMA (2008a); *Tasa de desecho.

| Tabla 3.5 Estimación de la tasa de desecho del parque vehicular en la ZMVM | |
|---|------------------------|
| Antigüedad (años) | Tasa de desecho |
| 10 o menos | -6.8% |
| 11 | -5.6% |
| 12 | -5.2% |
| 13 | -4.7% |
| 14 | -4.1% |
| 15 | -3.5% |
| 16 | -3.1% |
| 17 | -3.5% |
| 18 | -3.3% |
| 19 | -3.1% |
| 20 | -3.1% |
| 21 | -3.4% |
| 22 | -4.0% |
| 23 | -2.9% |
| 24 o más | -1.7% |

Fuente: Estimación con base en datos de la ZMVM

CAPITULO 4

TRANSPORTE DE PASAJEROS EN LA ZONA METROPOLITANA DEL VALLE DE MÉXICO

El presente capítulo brinda un panorama general del transporte de pasajeros en la Zona Metropolitana del Valle de México, la estructura del parque vehicular que circula en la zona. De igual forma, muestra el consumo de combustible de los diferentes modos de transporte de pasajeros para el año 2006.

4. 1 Características generales del transporte de pasajeros

De acuerdo con la encuesta origen-destino 2007 realizada por el INEGI, para la ZMVM (sólo incluyeron 40 municipios del Estado de México), cada día hábil se efectúan cerca de 22 millones de viajes, de los cuales 6.8 millones (30%) se realizan en transporte privado, mientras que la mayor parte, 14.8 millones, se realizan en transporte público. De estos viajes/día, el 58.4% se realizan en el Distrito Federal y el 41.3% en el Estado de México.

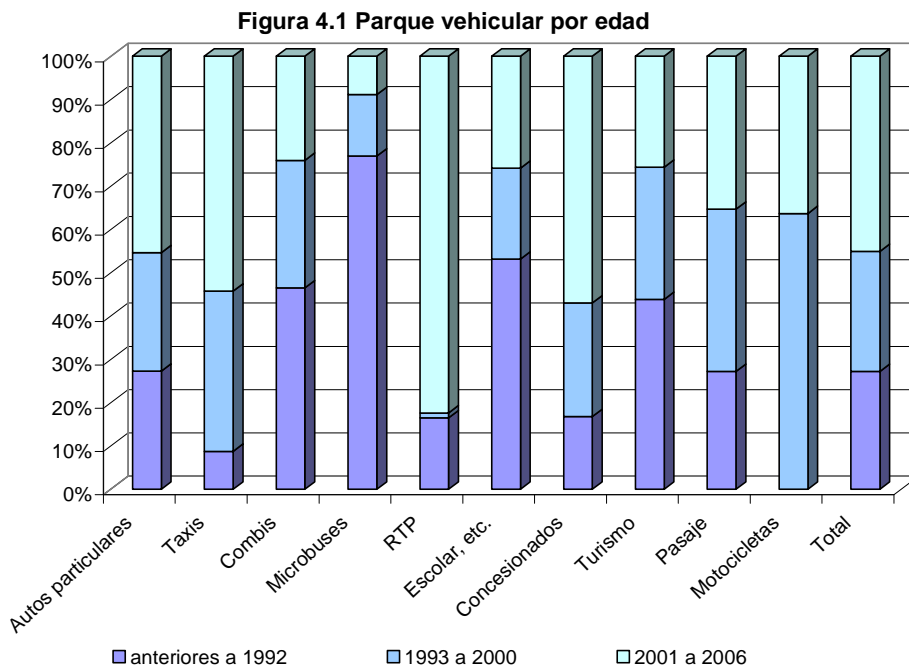
De acuerdo con esta fuente, los viajes realizados por modo de Transporte Público se distribuyen de la siguiente manera: Colectivo 65%; Taxi 17%; Metro 8%; Autobús suburbano 7%; RTP 2%; Trolebús 1%; y Metrobus 0.5% y el mayor número de viajes por modo de Transporte Privado se realizan en automóvil (92.3%); el 6.4% en Bicicleta y el restante 1.4% en Motocicleta.

A demás, dicha encuesta da como resultado que en el Distrito Federal las delegaciones Iztapalapa y Cuauhtémoc son las que producen el mayor número de viajes; mientras que en el Estado de México el municipio de Ecatepec es donde se genera el mayor número de viajes.

De acuerdo con esta información el Sistema de transporte Colectivo Metro transporta alrededor de 1.7 millones de personas al día y la Red de Transporte Público (RTP) a 440 mil personas al día, sin embargo, la SETRAVI reporta que trasladan alrededor de 3.7 millones y 628 mil personas al día, respectivamente para el mismo año.

La Tabla 4.1 muestra la desagregación del parque vehicular de acuerdo a la información de la SMA-GDF, para la ZMVM (16 delegaciones y 59 municipios) en el año 2006 para vehículos de motor a combustible (se excluye transporte eléctrico metro, trolebús, tren ligero y bicicletas). Para dicho año, el total de vehículos circulando en la ZMVM llegó a más de cuatro millones (4, 227,274) incluyendo carga, pasajeros y motocicletas, de los cuales, el 80% fueron autos particulares. Los autobuses para turismo son aquellos que circulan en la ZMVM y están registrados por el autotransporte público federal para servicio de turismo. Los autobuses para pasaje se refieren a autobuses interestatales, es decir, aquellos de servicio público federal que prestan servicio para transportar entre ciudades de diferentes estados.

En la Figura 4.1 se aprecia la composición del parque vehicular para pasajeros. Como puede observarse las combis, microbuses, el transporte escolar y el de turismo, son los modos que tienen vehículos más antiguos.



Fuente: Elaboración propia con base en datos de SMA (2008).

| Tabla 4.1 Número de vehículos en circulación para la ZMVM (2006) | | | |
|---|------------------|------------------|------------------|
| Tipo de Vehículo | DF | Edo. Méx. | Total |
| Autos particulares | 2,143,945 | 1,251,855 | 3,395,800 |
| Taxis | 108,041 | 47,085 | 155,126 |
| Combis | 4,250 | 35,496 | 39,746 |
| Microbuses | 20,549 | 15,507 | 36,056 |
| RTP | 1,349 | 0 | 1,349 |
| Escolar y personal | 46 | 97 | 143 |
| Discapacitados | 51 | 0 | 51 |
| Concesionados | 5,348 | 8,053 | 13,401 |
| Turismo | 8,817 | 777 | 9,594 |
| Pasaje | 16,865 | 1,705 | 18,570 |
| Pick Up | 25,540 | 107,812 | 133,352 |
| Vehículos < 3 ton | 15,151 | 66,477 | 81,628 |
| Tractocamiones | 46,424 | 14,514 | 60,938 |
| Vehículos >3 ton | 41,070 | 59,749 | 100,819 |
| Motocicletas | 163,353 | 17,348 | 180,701 |
| Total | 2,600,799 | 1,626,475 | 4,227,274 |

Fuente: SMA del DF (2008)

Tabla 4.2 Parque vehicular para pasajeros por tipo y edad en la ZMVM (2006)

| Año Modelo | Autos Particulares | Taxis | Combis | Microbuses | Escolares y Personal | RTP | DISCAPAC | Concesionados | Turismo | Pasaje | Motocicletas |
|-------------|--------------------|---------|--------|------------|----------------------|-------|----------|---------------|---------|--------|--------------|
| 1982 y ant. | 315,256 | 1,019 | 2,795 | 2,243 | 49 | 3 | 0 | 1,036 | 1,440 | 1,199 | 0 |
| 1983 | 28,573 | 135 | 514 | 143 | 1 | 2 | 0 | 20 | 60 | 102 | 0 |
| 1984 | 35,638 | 203 | 689 | 132 | 0 | 16 | 0 | 48 | 211 | 182 | 0 |
| 1985 | 44,227 | 212 | 1,043 | 329 | 5 | 29 | 0 | 114 | 263 | 246 | 0 |
| 1986 | 43,178 | 256 | 1,128 | 221 | 3 | 13 | 0 | 79 | 350 | 178 | 0 |
| 1987 | 33,203 | 257 | 903 | 166 | 1 | 0 | 0 | 26 | 151 | 91 | 0 |
| 1988 | 48,171 | 415 | 749 | 357 | 2 | 0 | 0 | 20 | 132 | 122 | 0 |
| 1989 | 69,311 | 612 | 1,576 | 1,165 | 1 | 0 | 0 | 39 | 178 | 232 | 0 |
| 1990 | 88,419 | 1,502 | 2,221 | 4,256 | 6 | 159 | 0 | 168 | 247 | 471 | 0 |
| 1991 | 103,875 | 3,057 | 2,657 | 8,826 | 7 | 0 | 0 | 180 | 592 | 941 | 0 |
| 1992 | 115,740 | 5,882 | 4,190 | 9,918 | 1 | 0 | 0 | 519 | 581 | 1,293 | 0 |
| 1993 | 112,005 | 6,571 | 3,502 | 1,652 | 12 | 0 | 0 | 326 | 516 | 1,896 | 0 |
| 1994 | 109,622 | 9,777 | 1,754 | 653 | 3 | 16 | 0 | 573 | 394 | 1,127 | 0 |
| 1995 | 75,555 | 4,606 | 1,911 | 494 | 2 | 0 | 0 | 444 | 196 | 293 | 45,428 |
| 1996 | 61,446 | 2,226 | 580 | 196 | 0 | 0 | 0 | 134 | 163 | 128 | 7,932 |
| 1997 | 86,231 | 5,439 | 840 | 453 | 1 | 0 | 0 | 432 | 242 | 468 | 9,721 |
| 1998 | 156,312 | 9,400 | 982 | 451 | 5 | 0 | 0 | 325 | 430 | 679 | 16,353 |
| 1999 | 140,489 | 8,999 | 760 | 619 | 3 | 0 | 0 | 373 | 347 | 820 | 17,094 |
| 2000 | 188,893 | 10,452 | 1,391 | 591 | 4 | 0 | 0 | 905 | 646 | 1,545 | 18,576 |
| 2001 | 240,636 | 18,444 | 1,482 | 695 | 4 | 466 | 51 | 1,258 | 616 | 2,007 | 7,698 |
| 2002 | 255,594 | 18,673 | 1,779 | 717 | 7 | 355 | 0 | 1,663 | 383 | 1,082 | 5,801 |
| 2003 | 227,233 | 15,654 | 2,377 | 626 | 6 | 0 | 0 | 1,165 | 529 | 1,361 | 9,938 |
| 2004 | 243,562 | 16,265 | 1,948 | 345 | 10 | 260 | 0 | 1,173 | 385 | 879 | 13,950 |
| 2005 | 295,677 | 8,695 | 1,369 | 516 | 7 | 30 | 0 | 1,365 | 423 | 892 | 13,768 |
| 2006 | 276,954 | 6,375 | 606 | 292 | 3 | 0 | 0 | 1,016 | 119 | 336 | 14,442 |
| Total | 3,395,800 | 155,126 | 39,746 | 36,056 | 143 | 1,349 | 51 | 13,401 | 9,594 | 18,570 | 180,701 |

El Sistema de Transporte Colectivo Metro es uno de los modos de transporte más importantes en la ZMVM, en el año 2008 transporto en promedio alrededor de 4 millones de personas al día, cifra que aumentó en un 7.5% respecto al 2007 (3.7 millones). La línea 2 (línea azul) es la de mayor demanda, en ese año traslado al 19.4 % del total de pasajeros, seguida por la línea 1 (línea rosa) con el 17% y la línea 3 (línea verde) con el 16.2%. Siendo estas tres las de mayor demanda por su colindancia con los municipios del Estado de México. Además, la Terminal Indios Verdes presentó la mayor demanda de todo el sistema, trasladó a 46.7 millones de personas en el 2008, 128 mil personas al día (STCM, 2009).

Actualmente se encuentra en construcción la línea 12 metro o línea dorada se estima que la demanda será de 367 mil pasajeros diarios.

Por otro lado, en el año 2005, inició en Distrito Federal una alternativa de transporte masivo de pasajeros denominado Metrobús que es un sistema de autobuses articulados en carril confinado con sistema de prepago y operado por empresas. A la fecha funcionan dos líneas que atraviesan al DF en el sentido Norte-Sur y Oriente-Poniente que mueven cerca de 400 mil pasajeros diarios.

A finales del 2008, entró en operación la línea del tren suburbano, que conecta la zona central del DF con los municipios al norte de la ZMVM (Buenavista DF a Cuautiltán Edo Mex). Se trata de un tren concesionado que opera en 27 km de vías y tiene una capacidad para transportar 100 millones de pasajeros al año (273 mil al día).

Además, en el Distrito Federal existe el servicio de autobuses de la Red de Transporte de Pasajeros y los trolebuses y tren ligero, que aun cuando tienen pocas unidades respecto a otros modos, brindan un servicio estable y más económico.

El modo de transporte que más pasajeros opera son las combis, microbuses y autobuses concesionados que de acuerdo a la encuesta origen destino cubren el 65% de los viajes en transporte público y que significaron en 2006; 34,397 mil unidades en el DF y 59,056 en el Estado de México. En general, este es un transporte poco eficiente, pero que representa la única alternativa en muchos de los municipios del Estado de México y en algunas zonas de la periferia del propio Distrito Federal.

Finalmente en el DF, en el año 2006 se encontraban en operación 108,041 taxis, la mayoría sin sitio y en el Estado México 47,085.

En el 2006 el 99.8% del parque vehicular de autos particulares en la Ciudad de México eran de motor a gasolina, de los cuales el 21% eran sin control de emisiones (modelos anteriores a 1990), el 6% tenía convertidor catalítico de oxidación (modelos 1191 y 1992) y el 73% tenían convertidor catalítico de tres vías (modelos 93 en adelante). Mientras que en los municipios del Estado de México pertenecientes a la ZMVM, el 41% eran sin control de emisiones.

4.2 Estimación del consumo de combustibles del transporte de pasajeros en la ZMVM para el año 2006

Para estimar el consumo de combustibles, es necesario conocer el recorrido anual por tipo de vehículo, así como su rendimiento vehicular. La Tabla 4.3 muestra la distancia promedio anual recorrida por el auto particular en la ZMVM y la Tabla 4.4 para el transporte público de pasajeros.

La Tabla 4.5 muestra la estimación del rendimiento vehicular por tipo de vehículo (SMA-GDF 2008), y la Tabla 4.6 muestra la composición del parque vehicular privado de acuerdo con el número de cilindros.

| Año Modelo del auto particular | Recorrido promedio [km/día] | Días al año |
|---------------------------------------|------------------------------------|--------------------|
| 1985 y ant. | 25 | 313 |
| 1986-1990 | 34 | 313 |
| 1991-1995 | 35 | 313 |
| 1996-1998 | 35 | 365 |
| 1999-2006 | 31 | 365 |

Fuente: SMA (2008)

| Tipo de Vehículo | km al día | Cero | Uno y Dos |
|--|------------------|-------------|------------------|
| Pick Up de uso particular | 60 | 365 | 313 |
| Microbuses | 200 | 365 | 313 |
| Taxis | 200 | 365 | 313 |
| Combis | 200 | 365 | 313 |
| Autobuses Red de Transporte de Pasajeros (día hábil) | 223 | 255 | |
| Autobuses Red de Transporte de Pasajeros (día inhábil) | 241 | 110 | |
| Autotransporte Federal de Turismo | 60 | 365 | |
| Autobuses Concesionados ³ | 223 | 365 | 313 |
| Motocicletas | 79 | 313 | |

Fuente: SMA (2008)* Se estima que los vehículos con menos de 10 años tienen holograma cero

| Tabla 4.5 Rendimiento vehicular promedio para vehículos de gasolina y diesel | |
|---|---------------------------|
| Tipo de vehículo | Rendimiento [km/l] |
| Vehículos a gasolina | |
| Autos particulares 8 cilindros | 4 |
| De 6 cilindros | 7 |
| De 4 cilindros | 10 |
| Taxis | 10 |
| Pick up | 5.4 |
| carga menores a 3 ton | 5.2 |
| Carga mayor a 3 ton | 2.5 |
| Combis | 7 |
| microbuses | 2 |
| Vehículos a GLP | |
| Pick up | 5.6 |
| microbuses | 1.4 |
| Vehículos a diesel | |
| Autobuses | 1.8 |
| Camiones de carga | 1.7 |
| Motocicleta (gasolina) | 9.8 |

Fuente: Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal (SMA). Base de datos de inventarios de emisiones 1990-2006. Documento interno.

Tabla 4.6 Porcentaje de vehículos particulares por número de cilindros en la ZMVM

| Cilindros | % |
|------------------|----------|
| 4 | 78.7 |
| 6 | 15.6 |
| 8 | 5.7 |

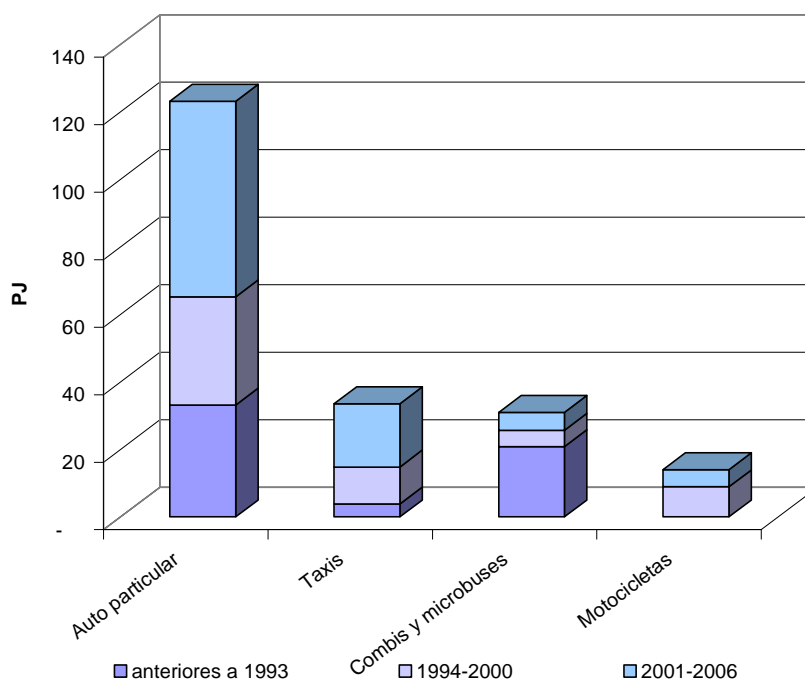
Fuente: SMA (2008)

Con estos datos el resultado del consumo de combustibles en la ZMVM para transporte de pasajeros (incluyendo motocicletas) alcanzó en 2006 el valor de 273.43 PJ; el 16.38% del consumo de combustible del autotransporte en el país (Tabla 6.7). La Figura 4.3 muestra el consumo de gasolina por modo transporte y edad del vehículo, se puede observar que el auto particular es el de mayor consumo y cerca de la mitad de éstos son modelos 2001 a 2006. En las Tablas 4.8 y 4.9 se muestra el consumo por modo de transporte y por combustible.

| Tabla 4.7 Consumo de combustible para transporte de pasajeros (PJ), 2006 | | | |
|--|---------------|-----------------|---------------|
| Combustible | ZMVM | Nacional | Porcentaje |
| Gasolina | 218.13 | 1,277.28 | 17.08% |
| Diesel | 37.38 | 469.15 | 7.97% |
| GLP | 17.37 | 38.58 | 45.02% |
| GNC | 0.55 | 0.71 | 77.46% |
| Total | 273.43 | 1,785.72 | 15.31% |

Fuente: ZMVM: Elaboración con base en datos de SMA (2008); Nacional (SENER, 2007)

Figura 4.2 Consumo de gasolina del transporte de pasajeros, ZMVM (2006)



Fuente: Elaboración con base en datos de la SMA-GDF (2008).

| Tabla 4.8 Consumo de combustibles por modo de transporte en la ZMVM (PJ) (2006) | | | | | | |
|---|------------|-------|---------------------|------------|--------------|--------|
| Combustible | Particular | Taxi | Combis y Microbuses | Autobuses* | Motocicletas | Total |
| Gasolina | 123.18 | 33.56 | 31.02 | 1.44 | 13.97 | 203.17 |
| Diesel | 0.08 | 0.04 | 0.17 | 51.65 | 0.00 | 51.93 |
| GLP | 0.12 | 0.00 | 17.04 | 0.11 | 0.00 | 17.28 |
| GNC | 0.00 | 0.00 | 0.54 | 0.00 | 0.00 | 0.55 |

Fuente: Elaboración propia con base en datos de SMA (2008). * Incluye concesionados, escolares, turismo, interestatal y RTP.

| Tabla 4.9 Estructura del consumo de combustibles por modo de transporte en la ZMVM (2006) | | | | | |
|---|------------|--------|---------------------|------------|--------------|
| Combustible | Particular | Taxi | Combis y Microbuses | Autobuses* | Motocicletas |
| Gasolina | 60.63% | 16.52% | 15.27% | 0.71% | 6.88% |
| Diesel | 0.15% | 0.07% | 0.32% | 99.46% | 0.00% |
| GLP | 0.71% | 0.03% | 98.62% | 0.64% | 0.00% |
| GNC | 0.11% | 0.00% | 99.89% | 0.00% | 0.00% |

Fuente: Elaboración propia con base en datos de SMA (2008). * Incluye concesionados, escolares, turismo, interestatal y otros.

4.3 Inventario de emisiones de GEI para transporte de pasajeros en la ZMVM para el año 2006

Las emisiones de GEI de la ZMVM fueron de 21 millones de toneladas de dióxido de carbono equivalente (CO₂ eq.). Las Tablas 4.10 a 4.13 muestran las emisiones de CO₂, CH₄, N₂O y CO₂ eq., respectivamente, por modo de transporte y combustible.

| Tabla 4.10 Emisiones de CO₂ del transporte de pasajeros en la ZMVM (2006), 1x10³ de toneladas | | | | | | | | |
|--|-----------------|-----------------|---------------|-----------------|-----------------|-----------------|---------------|------------------|
| Combustible | Auto particular | Taxi | Combis | Microbuses | Pickup | Autobuses | Motocicletas | Total |
| Gasolina | 8,451.01 | 2,302.51 | 779.37 | 1,348.68 | 1,016.98 | 98.92 | 958.48 | 14,955.96 |
| Diesel | 5.71 | 2.63 | 1.62 | 10.52 | 6.82 | 2,713.96 | 0.00 | 2,741.27 |
| GLP | 7.61 | 0.31 | 7.40 | 1,056.41 | 5.92 | 6.94 | 0.00 | 1,084.58 |
| GNC | 34.32 | 0.00 | 0.05 | 30.36 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 64.73 |
| Total | 8,498.66 | 2,305.45 | 788.43 | 2,445.96 | 1,029.73 | 2,819.83 | 958.48 | 18,846.54 |

Fuente: Elaboración propia con base en datos de SMA (2008); IPCC (1996). * Incluye concesionados, escolares, turismo, interestatal y otros.

| Tabla 4.11 Emisiones de CH₄ del transporte de pasajeros en la ZMVM (2006), toneladas | | | | | | | | |
|--|-----------------|---------------|---------------|-----------------|---------------|---------------|--------------|-----------------|
| Combustible | Auto particular | Taxi | Combis | Microbuses | Pickup | Autobuses | Motocicletas | Total |
| Gasolina | 1,216.45 | 270.89 | 131.96 | 242.96 | 164.02 | 13.79 | 272.43 | 2,312.51 |
| Diesel | 0.09 | 0.04 | 0.02 | 0.29 | 0.19 | 125.39 | 0.00 | 126.01 |
| GLP | 1.79 | 0.05 | 3.18 | 440.57 | 1.44 | 1.85 | 0.00 | 448.88 |
| GNC | 0.23 | 0.00 | 0.47 | 339.72 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 340.42 |
| Total | 1,218.56 | 270.98 | 135.64 | 1,023.54 | 165.65 | 141.03 | 0.00 | 3,227.83 |

Fuente: Elaboración propia con base en datos de SMA (2008); IPCC (1996). * Incluye concesionados, escolares, turismo, interestatal y otros.

| Tabla 4.12 Emisiones de N₂O del transporte de pasajeros en la ZMVM (2006), toneladas | | | | | | | | |
|--|-----------------|-----------------|---------------|---------------|---------------|---------------|--------------|-----------------|
| Combustible | Auto particular | Taxi | Combis | Microbuses | Pickup | Autobuses | Motocicletas | Total |
| Gasolina | 4,222.70 | 1,358.02 | 310.76 | 376.48 | 361.66 | 42.85 | 13.97 | 6,686.44 |
| Diesel | 0.16 | 0.07 | 0.04 | 0.77 | 0.50 | 74.02 | | 75.57 |
| GLP | n.s. | n.s. | n.s. | n.s. | n.s. | n.s. | n.s. | n.s. |
| GNC | n.s. | n.s. | n.s. | n.s. | n.s. | n.s. | n.s. | n.s. |
| Total | 4,222.86 | 1,358.09 | 310.81 | 377.25 | 362.16 | 116.87 | 13.97 | 6,762.01 |

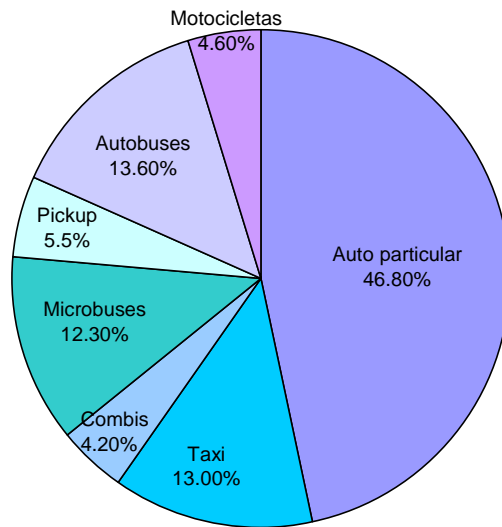
Fuente: Elaboración propia con base en datos de SMA (2008); IPCC (1996). * Incluye concesionados, escolares, turismo, interestatal y otros.

| Tabla 4.13 Emisiones de CO₂ eq. del transporte de pasajeros en la ZMVM (2006), 1x10³ de toneladas | | | | | | | | |
|--|-----------------|-----------------|---------------|-----------------|-----------------|-----------------|---------------|------------------|
| Combustible | Auto particular | Taxi | Combis | Microbuses | Pickup | Autobuses | Motocicletas | Total |
| Gasolina | 9,785.59 | 2,729.19 | 878.48 | 1,470.49 | 1,132.54 | 112.50 | 968.54 | 17,077.32 |
| Diesel | 5.77 | 2.65 | 1.63 | 10.76 | 6.98 | 2,739.55 | 0.00 | 2,767.34 |
| GLP | 7.65 | 0.31 | 7.46 | 1,065.66 | 5.95 | 6.98 | 0.00 | 1,094.01 |
| GNC | 34.33 | 0.00 | 0.06 | 37.49 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 71.88 |
| Total | 9,833.33 | 2,732.15 | 887.63 | 2,584.40 | 1,145.48 | 2,859.02 | 968.54 | 21,010.55 |

Fuente: Elaboración propia con base en datos de SMA (2008); IPCC (1996). * Incluye concesionados, escolares, turismo, interestatal y otros.

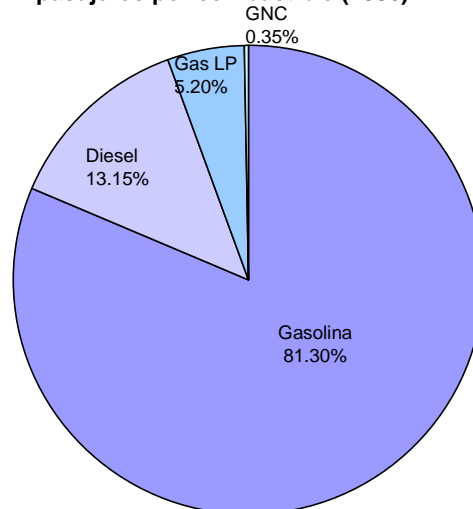
De las 21 millones de toneladas de CO_{2eq} emitidas en el 2006; el uso del auto particular genera el 46.80%, los autobuses el 13.60%, los taxis el 13.00%, los microbuses el 12.30%, las camionetas pickup el 5.50%, las motocicletas el 4.60% y las combis el 4.20%, como se observa en la Figura 4.4. En la Figura 4.5 se observa que el transporte de gasolina emitió el 81.30%, el diesel el 13.15%, el gas LP el 5.20% y finalmente el gas natural comprimido el 35% del total de las emisiones en ese año.

Figura 4.3 Estructura de las emisiones de GEI (CO₂ eq.) transporte de pasajeros por modo (2006)



Fuente: Elaboración propia con base en datos de SMA (2008); IPCC (1996).

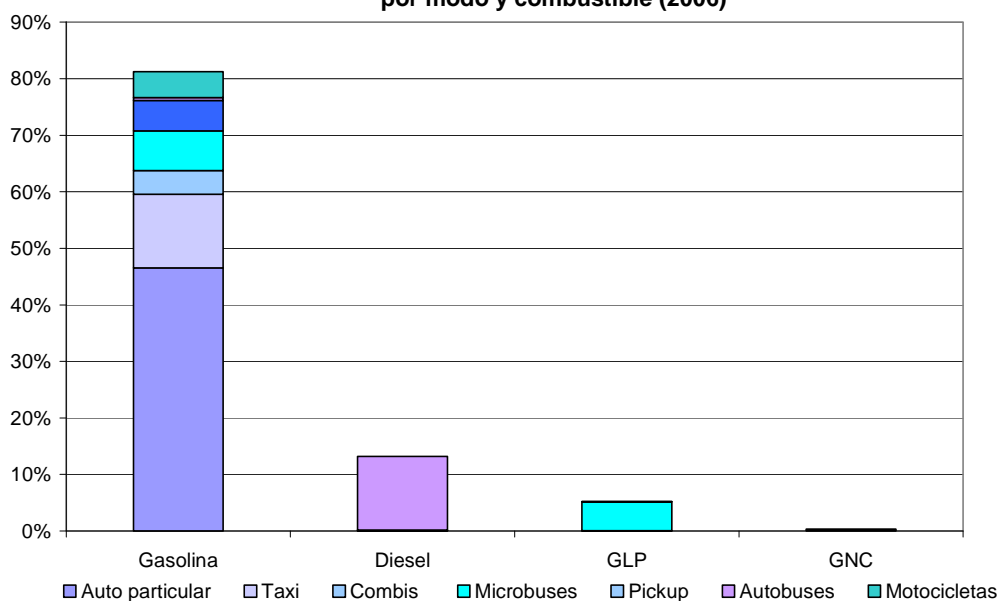
Figura 4.4 Estructura de las emisiones de GEI (CO₂ eq.) transporte de pasajeros por combustible (2006)



Fuente: Elaboración propia con base en datos de SMA (2008); IPCC (1996).

En las emisiones generadas por el consumo de gasolinas se puede observar claramente en la Figura 4.6, que el auto particular es el de mayor importancia. En las emisiones generadas por el consumo de diesel provienen principalmente de los autobuses y las de GLP por los microbuses.

Figura 4.5 Estructura de las emisiones de CO₂ eq. para transporte de pasajeros por modo y combustible (2006)



Fuente: Elaboración con base en datos de SMA (2008); IPCC (1996).

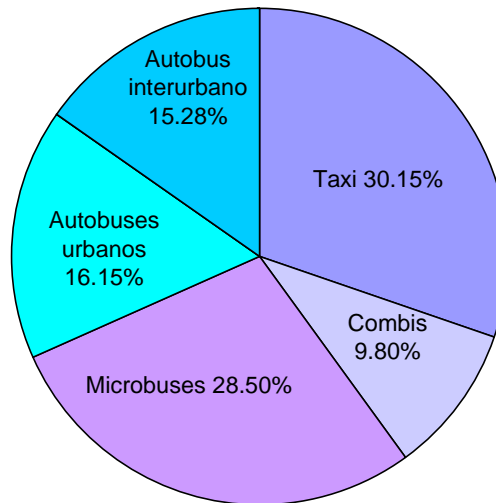
La Tabla 4.14 muestra las emisiones del transporte público, en ella se puede observar que el taxi es el de mayor contribución de las emisiones equivalentes de CO₂, 30.15%, seguido de los microbuses con el 28.50%, como se muestra en la Figura 4.7.

Tabla 4.14 Emisiones de GEI del transporte público de pasajeros en la ZMVM (2006)

| | | |
|-------------------------------|----------|---------|
| Taxi | 2,732.15 | 30.15% |
| Combis | 887.63 | 9.80% |
| Microbuses | 2,584.40 | 28.50% |
| Autobús urbano* | 1463.64 | 16.15% |
| Autobús escolar y de personal | 11.23 | 0.12% |
| Autobús interestatal | 1384.16 | 15.28% |
| Total | 9,063.21 | 100.00% |

Fuente: Elaboración propia con base en datos de SMA (2008); IPCC (1996). *Incluye concesionados, RTP y discapacidad.

Figura 4.6 Estructura de las emisiones de CO₂ equivalente del transporte público de pasajeros en la ZMVM (2006)



Fuente: Elaboración propia con base en datos de SMA (2008); IPCC (1996). *Incluye concesionados, RTP y discapacidad. Autobuses escolares y de personal n. s.

Las mayores emisiones proviene de los vehículos con menor capacidad de transporte, como el caso del vehículo privado o del taxi. El transporte menos eficiente en términos de emisiones por pasajero-km es la motocicleta seguida por el vehículo privado. El transporte más eficiente es el autobús.

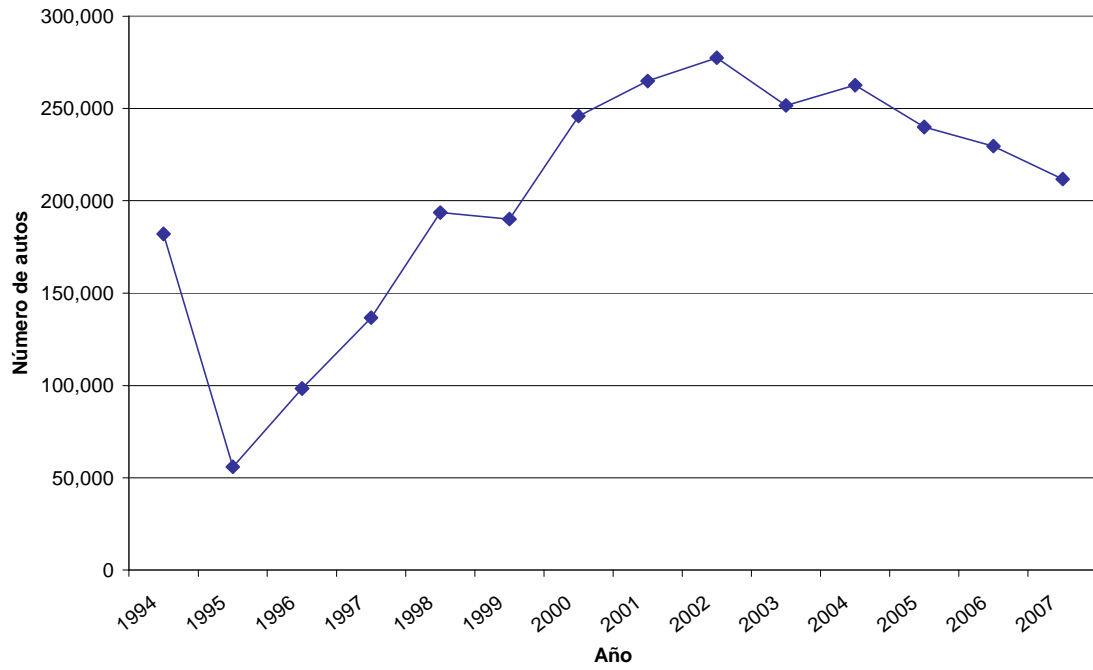
4.4 Ventas de vehículos en la ZMVM

Para construir los escenarios de emisión al año 2020; uno de los factores sustantivos es el crecimiento de la flota vehicular. Para ello, es importante conocer la tendencia de las ventas de vehículos nuevos en la ZMVM, así como el desecho del parque vehicular. En el primer caso, la información de las ventas por estado, por tipo de vehículo, se encuentran disponibles en la publicación de la industria automotriz del INEGI (1994 a 2009). Se estima que las ventas en la ZMVM representan el total del DF y el 63% del Estado de México. Esta estimación está basada en el hecho de que el número de vehículos privados registrados en los municipios del Estado de México pertenecientes a la ZMVM, representaron en 2006, el 63% del total del Estado (Peña Nieto, 2008; SMA, 2008). Se asume entonces, que las ventas se comportan de forma similar que el total del parque.

La Tabla 4.15 muestra las ventas por tipo de vehículo desde 1994 y hasta 2007. Como puede apreciarse, en 1995 las ventas decrecen significativamente respecto a 1994 (Figura 4.8), producto de la crisis económica y recuperan su valor entre 1997 y 1998.

| Año | Sub-compactos | Compactos | Lujo | Deportivos | Total |
|---------------|---------------|-----------|-------|------------|--------|
| 1994 | 89656 | 70951 | 9012 | 12466 | 182085 |
| 1995 | 20314 | 27064 | 5014 | 3579 | 55971 |
| 1996 | 36572 | 42667 | 8316 | 10754 | 98309 |
| 1997 | 61501 | 64291 | 8061 | 2854 | 136707 |
| 1998 | 97855 | 78133 | 14725 | 2952 | 193665 |
| 1999 | 94224 | 79198 | 14691 | 1968 | 190081 |
| 2000 | 119496 | 103299 | 19834 | 3282 | 245911 |
| 2001 | 139991 | 103751 | 18523 | 2589 | 264854 |
| 2002 | 163966 | 87779 | 20343 | 5411 | 277499 |
| 2003 | 160126 | 71674 | 15714 | 4168 | 251682 |
| 2004 | 172189 | 71609 | 15767 | 3028 | 262593 |
| 2005 | 148919 | 72378 | 15647 | 3006 | 239950 |
| 2006 | 123966 | 85050 | 17389 | 3181 | 229586 |
| 2007 | 106116 | 86691 | 16352 | 2626 | 211785 |
| TCA 1994-2007 | 1.30% | 1.55% | 4.69% | -11.29% | 2.56% |
| TCA 1998-2006 | 3.00% | 1.07% | 2.10% | 0.94% | 4.03% |

Figura 4.7 Ventas de vehículos en la ZMVM



Fuente: Elaboración propia con datos INEGI (2006)

4.5 Planes de desarrollo de movilidad, infraestructura y vialidad en la ZMVM

Existen diversos proyectos en transporte y vialidad, a demás, compromisos de gobiernos, entre los que destacan los siguientes:

Hoy no circula sabatino

Se creó en la ZMVM e implica que los vehículos con holograma 1 o 2 no circulan un sábado al mes, esto a partir del 5 de julio de 2008.

Modernización del sistema de transporte público

Incluye el Programa Integral para el Servicio de Transporte Individual de Pasajeros (Taxi), el Tranvía para la Ciudad de México: Centro Histórico-Buenavista; el Programa de Sustitución de Microbuses por Autobuses Nuevos; los Corredores Estratégicos de Transporte Colectivo y la Modernización de los Centros de Transferencia Modal.

Ampliación de las líneas de Metrobús y Metro

Se planea la construcción de 11 líneas del Metrobús. La línea 12 del metro Tláhuac-Mixcoac tendrá 24.5 kilómetros de recorrido subterráneos, con la que se beneficiará a los habitantes de las delegaciones: Tláhuac, Iztapalapa, Coyoacan, Benito Juárez, Xochimilco (desde tulyehualco), Milpa Alta y Álvaro Obregón. Reduciendo el tiempo de traslado de 2 horas a 45 minutos¹ y disminuyendo el costo del traslado de dichos habitantes.

Modernización del Circuito interior

En la Ciudad de México se realiza el proyecto de modernización de aproximadamente 2 millones de m² del Circuito Interior sustituyendo a la carpeta asfáltica por pavimento hidráulico, en los 38 kilómetros aproximadamente de longitud del circuito.

¹ De acuerdo con el STCM

Con esto pretende el Gobierno de la Capital aumentar la velocidad promedio (53 km/hr) de los autos que transitan diariamente por esta vialidad, aproximadamente 195 mil vehículos de los cuales el 95.4% son vehículos ligeros, 0.9% autobuses y el restante 3.7% son vehículos pesados².

A demás de la construcción de los siguientes puentes vehiculares:

México Coyoacán,

Ermita Iztapalapa-Las Torres,

Revolución-Molinos,

Trabajadoras Sociales (Eje 6 Sur) y Purísima (Eje 5 Sur).

Tren Suburbano

En la Zona Metropolitana del Valle de México se creó un proyecto para la construcción de tres sistemas de Tren suburbano, las cuales en conjunto tendrán una longitud de 91.4 kilómetros de sistema ferroviario y dará servicio a los siguientes municipios: Tlalnepantla de Baz, Tultitlán, Cuautitlán, Cuautitlán Izcalli, Ecatepec, Chalco, La Paz, Chimalhuacán y Nezahualcóyotl, a demás, a las delegaciones Cuauhtémoc y Azcapotzalco.

El sistema 1 Cuautitlán-Buena Vista, es el primero en brindar servicio con una longitud de recorrido de 27 kilómetros a partir de junio de 2008, atendiendo los municipios de Tlalnepantla de Baz, Tultitlán, Cuautitlán y Cuautitlán Izcalli, y las delegaciones Cuauhtémoc y Azcapotzalco de la Zona Metropolitana del Valle de México.

² De acuerdo a mediciones de campo realizadas por el GDF en el 2008.

CAPITULO 5

ESCENARIOS

El presente capítulo muestra los resultados obtenidos con los diferentes escenarios planteados, para mitigar las emisiones de CO₂ eq, tales como; el crecimiento de la flota vehicular y el consumo de energía y las emisiones de gases de efecto invernadero.

5.1 Escenarios de emisión al 2020

De acuerdo con los planes y acciones para el mejoramiento de la infraestructura y vialidad en la ZMVM, se tomaran para el análisis los siguientes escenarios:

Escenario base

Para este escenario se realizan los cálculos de emisiones de acuerdo a las consideraciones mencionadas en el capítulo 3, para autos privados y para el transporte público de pasajeros.

Los resultados del escenario base del parque vehicular para el año 2020 se muestran en la Tabla 5.1. La tabla muestra que para el 2020 el número de vehículos circulando por la ZMVM sería de casi 8 millones, 106% mayor que en el 2006. Se puede observar que el auto particular seguirá siendo el de mayor representación, 89% del total de la flota vehicular.

De seguir las tendencias actuales del crecimiento del auto particular, para el 2020 el número de autos de lujo y camionetas serian casi 4 veces mayor que en la actualidad, como se muestra en la Tabla 5.2. Mientras que los autos compactos y subcompactos serían 1.5 veces mayor que en el 2006 (Figura 5.1). Esto tendrá implicaciones graves en el consumo de energía y de emisiones de CO₂.

| 5.1 Flota vehicular de la ZMVM para escenario base | | | | |
|--|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Año | 2006 | 2010 | 2015 | 2020 |
| Auto particular | 3,395,800 | 4,020,616 | 5,132,988 | 7,141,790 |
| Taxi | 155,126 | 158,075 | 162,067 | 166,159 |
| Combis | 39,743 | 44,827 | 51,967 | 60,244 |
| Microbuses | 36,056 | 35,056 | 35,056 | 35,056 |
| Autobús urbano | 15,620 | 17,803 | 20,639 | 23,926 |
| Autobús interurbano | 28,164 | 28,164 | 28,164 | 28,164 |
| Autobús escolar | 194 | 1,294 | 1,294 | 1,294 |
| Motocicleta | 180,701 | 243,335 | 351,733 | 504,003 |
| Total | 3,851,404 | 4,549,170 | 5,783,908 | 7,960,636 |

Fuente: Elaboración propia

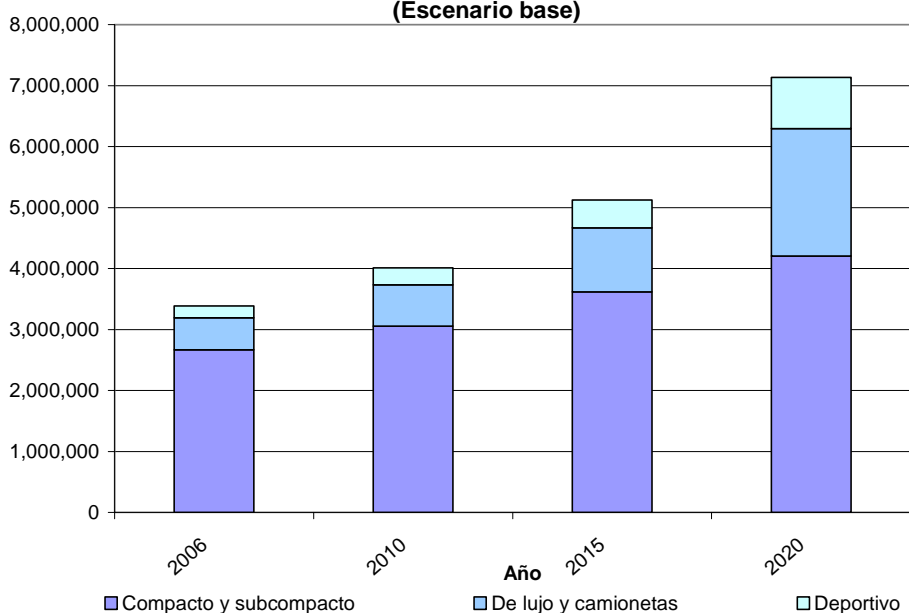
| 5.2 Autos particulares de la ZMVM para escenario base | | | | |
|---|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Año | 2006 | 2010 | 2015 | 2020 |
| Compacto y subcompacto | 2,672,506 | 3,063,351 | 3,625,054 | 4,215,108 |
| De lujo y camionetas | 529,740 | 677,164 | 1,050,844 | 2,088,025 |
| Deportivo | 193,554 | 280,101 | 457,090 | 838,657 |
| Total | 3,395,800 | 4,020,616 | 5,132,988 | 7,141,790 |

Fuente: Elaboración propia

| Tabla 5.2a Estructura del Parque vehicular de autos particulares por rendimiento, ZMVM (Escenario base) | | | | |
|---|---------|---------|---------|---------|
| Año | 2006 | 2010 | 2015 | 2020 |
| Compacto y subcompacto | 78.70% | 76.19% | 70.63% | 59.02% |
| De lujo y camionetas | 15.60% | 16.84% | 20.47% | 29.23% |
| Deportivo | 5.70% | 6.97% | 8.90% | 11.74% |
| Total | 100.00% | 100.00% | 100.00% | 100.00% |

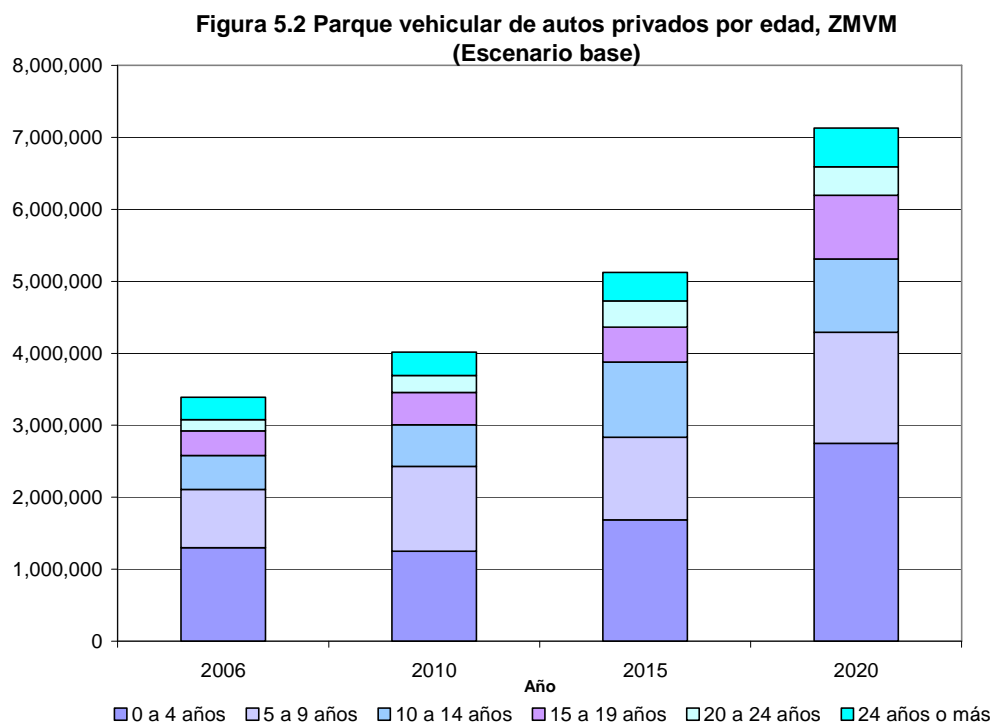
Fuente: Elaboración propia

Figura 5.1 Autos particulares por rendimiento, ZMVM (Escenario base)



Fuente: Elaboración propia

La edad del parque vehicular del automóvil privado, para el escenario base, se mantiene similar a las proporciones actuales, debido las hipótesis planteadas de antigüedad de los autos, como se puede apreciar en la siguiente figura (Figura 5.2).



Fuente: Elaboración propia

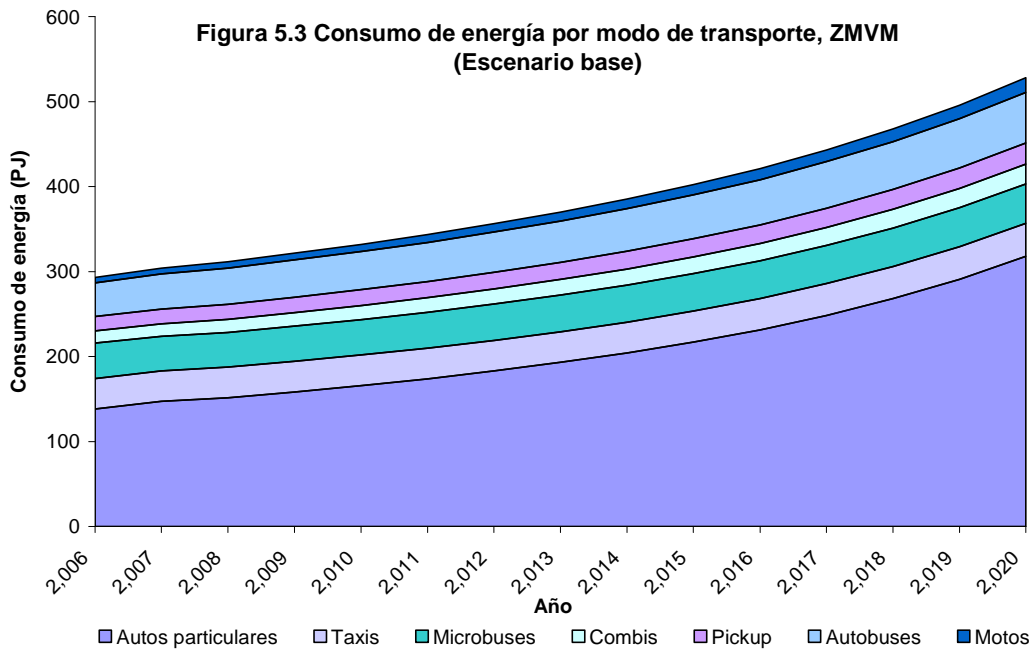
El consumo de energía en el año 2020 será de acuerdo al escenario base de 503 PJ, como se muestra en la Tabla 5.3, 82% mayor que en el 2006. El auto privado consumirá el 74% de gasolina en ese año, los autobuses el 99% del diesel.

Tabla 5.3 Consumo de energía por modo y tipo de combustible para el año 2020, ZMVM (Escenario base)

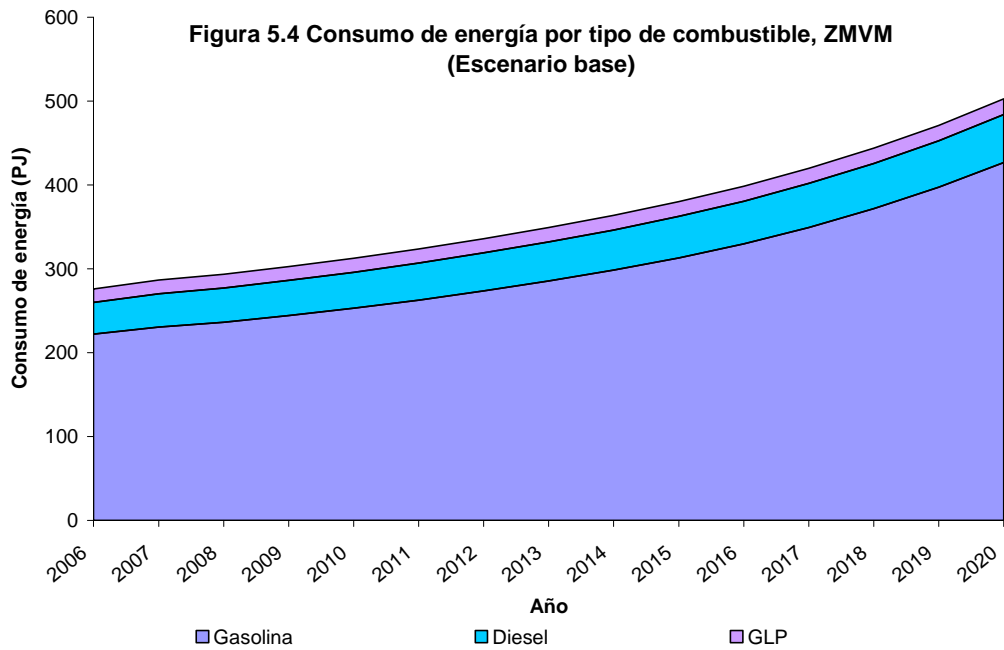
| Tipo de combustible | Auto particular | Taxi | Microbús | Combis | Autobús | Motos | Total |
|---------------------|-----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|
| Gasolina | 317.37 | 39.16 | 27.57 | 23.42 | 2.69 | 16.99 | 427.21 |
| Diesel | 0.20 | 0 | 0.18 | 0.09 | 56.58 | 0 | 57.05 |
| GLP | 0.17 | 0 | 17.91 | 0.25 | 0.24 | 0 | 18.57 |
| GNC | 0.0006 | 0 | 0.59 | 0.009 | 0 | 0 | 0.60 |
| Total | 317.74 | 39.16 | 46.25 | 23.77 | 59.51 | 16.99 | 503.43 |

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 5.3 y 5.4 se muestra el crecimiento por modo de transporte y por tipo de combustible, respectivamente.



Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia, el consumo de GNC es n.r.

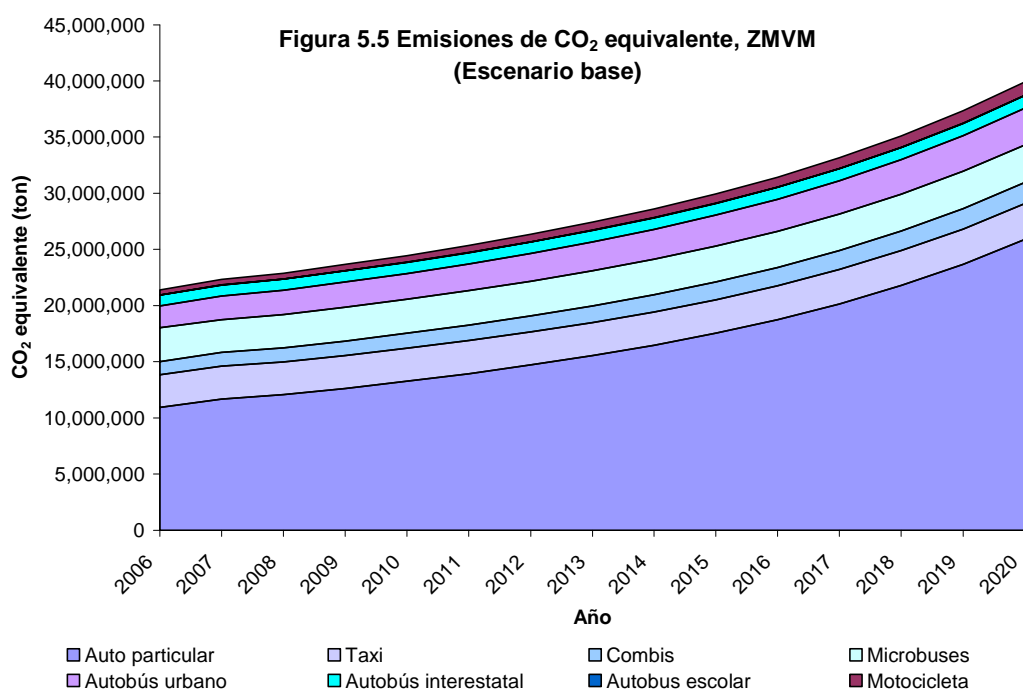
Se estima que las emisiones de CO₂ equivalente en el escenario base para el año 2020 serán de 40 millones de toneladas de CO₂ equivalente, 86% más que las emitidas en el año 2006. Este incremento es ligeramente mayor que el del consumo de energía, debido al incremento en las emisiones de N₂O que son 220% mayores que las del 2006, como se muestra en las Tablas 5.4 y 5.5.

| Tabla 5.4 Emisiones de gases de efecto invernadero (1x10³ ton), ZMVM (Escenario base) | | | |
|---|-------------|-------------|------------|
| Modo de transporte | 2006 | 2020 | TCA |
| CO₂ | | | |
| Auto privado | 9,490 | 21,832 | 4.04% |
| Taxi | 2,448 | 2,687 | 0.64% |
| Combis | 982 | 1,607 | 2.78% |
| Microbuses | 2,774 | 3,056 | 0.66% |
| Autobús | 2,886 | 4,348 | 2.40% |
| Motocicleta | 443 | 1,166 | 4.43% |
| Total | 19,022 | 34,696 | 3.23% |
| CH₄ | | | |
| Auto privado | 1.41 | 2.56 | 3.22% |
| Taxi | 0.29 | 0.31 | 0.47% |
| Combis | 0.14 | 0.16 | 0.94% |
| Microbuses | 0.32 | 0.33 | 0.13% |
| Autobús | 0.15 | 0.21 | 2.12% |
| Motocicleta | 0.27 | 0.71 | 4.43% |
| Total | 2.58 | 4.29 | 2.84% |
| N₂O | | | |
| Auto privado | 4.60 | 13.04 | 4.62% |
| Taxi | 1.43 | 1.62 | 0.81% |
| Combis | 0.56 | 0.87 | 2.58% |
| Microbuses | 0.76 | 0.91 | 1.24% |
| Autobús | 0.13 | 0.20 | 2.57% |
| Motocicleta | 0.01 | 0.02 | 4.43% |
| Total | 7.48 | 16.66 | 3.94% |
| TOTAL | 19,033 | 34,716 | 3.23% |

Fuente: Elaboración propia, TCA: Tasa de crecimiento anual.

| Tabla 5.5 Emisiones de CO ₂ eq. (1x10 ³ ton), ZMVM (Escenario base) | | | |
|--|---------------|---------------|--------------|
| Modo de transporte | 2006 | 2020 | TCA |
| Auto privado | 10,945 | 25,927 | 4.13% |
| Taxi | 2,898 | 3,195 | 0.66% |
| Combis | 1,158 | 1,881 | 2.75% |
| Microbuses | 3,015 | 3,346 | 0.71% |
| Autobús | 2,929 | 4,414 | 2.40% |
| Motocicleta | 450 | 1,186 | 4.43% |
| Total | 21,395 | 39,949 | 3.32% |

Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

Escenario de mitigación al 2020

Para realizar una estimación de mitigación de gases de efecto invernadero para el año 2020, se consideran los siguientes escenarios:

- ***Escenario A-Hoy no circula sabatino***

En este escenario se estiman las emisiones para el actual programa “hoy no circula sabatino” en donde los autos particulares con holograma 1 o 2 no circulan un sábado al mes. Es decir, circulan 300 días al año.

- ***Escenario B-Aumento de la eficiencia vehicular de automóviles nuevos***

Este escenario implica aumento del rendimiento vehicular de los autos privados nuevos, de forma gradual del 2012 (1%) hasta el 2020 (10%). A demás, considerar los programas.

- ***Escenario C-Disminución del uso del auto particular***

En este escenario se considera que el parque vehicular se mantiene igual que en el escenario base, pero disminuyen su recorrido en un 80%, el 10% de la flota vehicular para el año 2020. Para ello se supone que se incorporan nuevas unidades de transporte colectivo o crecimiento de los ya existentes (STCM, Metrobús). A demás, se considera el programa de sustitución de microbuses por autobuses (BRT). De esta manera el crecimiento del transporte colectivo asumirá la demanda que se incrementará por la disminución del uso del auto particular.

- ***Escenario D-Aumento en la velocidad de circulación del automóvil privado***

Este escenario implica el aumento en la velocidad de recorrido de los automóviles particulares. Este objetivo puede lograrse con nuevas vías de comunicación o con mecanismos de control de la demanda como un día sin auto, u horarios de transporte de carga, u horarios de transporte. El escenario implica que el rendimiento vehicular de los autos privados aumenta en promedio en 10% si la velocidad se incrementa en promedio de 30 a 40 km/hr. De esta forma la eficiencia se va incrementando para toda la flota de vehículos privados de 1% a 10% entre 2010 y 2020.

5.2 Resultados de los escenarios de mitigación al 2020

Los resultados obtenidos para los diferentes escenarios al 2020, se muestran en la Tabla 5.6. La Figura 5.6 muestra la tendencia de los escenarios para todo el periodo de análisis, en la cual se puede observar que el escenario de disminución del uso del auto particular (escenario C), presenta la mayor reducción de emisiones de CO₂ equivalente a lo largo del periodo, 5.75% menor que el escenario base en el 2020.

| Tabla 5.6 Escenarios base y de mitigación para el año 2020, ZMVM (1x10 ³ ton) GEI | | | | | | |
|--|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Modo de transporte | 2006 | Escenario | | | | |
| | | Base | A | B | C | D |
| CO₂ | | | | | | |
| Auto privado | 9,490 | 21,799 | 21,409 | 20,816 | 20,462 | 20,600 |
| Taxi | 2,448 | 2,687 | 2,687 | 2,687 | 2,687 | 2,687 |
| Combis | 982 | 1,607 | 1,607 | 1,607 | 1,607 | 1,607 |
| Microbuses | 2,774 | 3,056 | 3,056 | 3,056 | 1,151 | 3,056 |
| Autobús | 2,886 | 4,348 | 4,348 | 4,348 | 5,894 | 4,348 |
| Motocicleta | 443 | 1,166 | 1,166 | 1,166 | 1,166 | 1,166 |
| Total | 19,022 | 34,663 | 34,272 | 33,680 | 32,967 | 33,464 |
| CH₄ | | | | | | |
| Auto privado | 1.41 | 2.56 | 2.51 | 2.45 | 2.39 | 2.40 |
| Taxi | 0.29 | 0.31 | 0.31 | 0.31 | 0.31 | 0.31 |
| Combis | 0.14 | 0.16 | 0.16 | 0.16 | 0.16 | 0.16 |
| Microbuses | 0.32 | 0.33 | 0.33 | 0.33 | | 0.33 |
| Autobús | 0.15 | 0.21 | 0.21 | 0.21 | | 0.21 |
| Motocicleta | 0.27 | 0.71 | 0.71 | 0.71 | 0.71 | 0.71 |
| Total | 2.58 | 4.28 | 4.23 | 4.18 | 3.58 | 4.12 |
| NO₂ | | | | | | |
| Auto privado | 4.60 | 13.02 | 12.80 | 12.40 | 12.25 | 12.37 |
| Taxi | 1.43 | 1.62 | 1.62 | 1.62 | 1.62 | 1.62 |
| Combis | 0.56 | 0.87 | 0.87 | 0.87 | 0.87 | 0.87 |
| Microbuses | 0.76 | 0.91 | 0.91 | 0.91 | | 0.91 |
| Autobús | 0.13 | 0.20 | 0.20 | 0.20 | | 0.20 |
| Motocicleta | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 |
| Total | 7.48 | 16.64 | 16.42 | 16.02 | 14.76 | 15.99 |
| | | | -1.15 | -2.95 | -5.75 | -3.51 |

Fuente: Elaboración propia

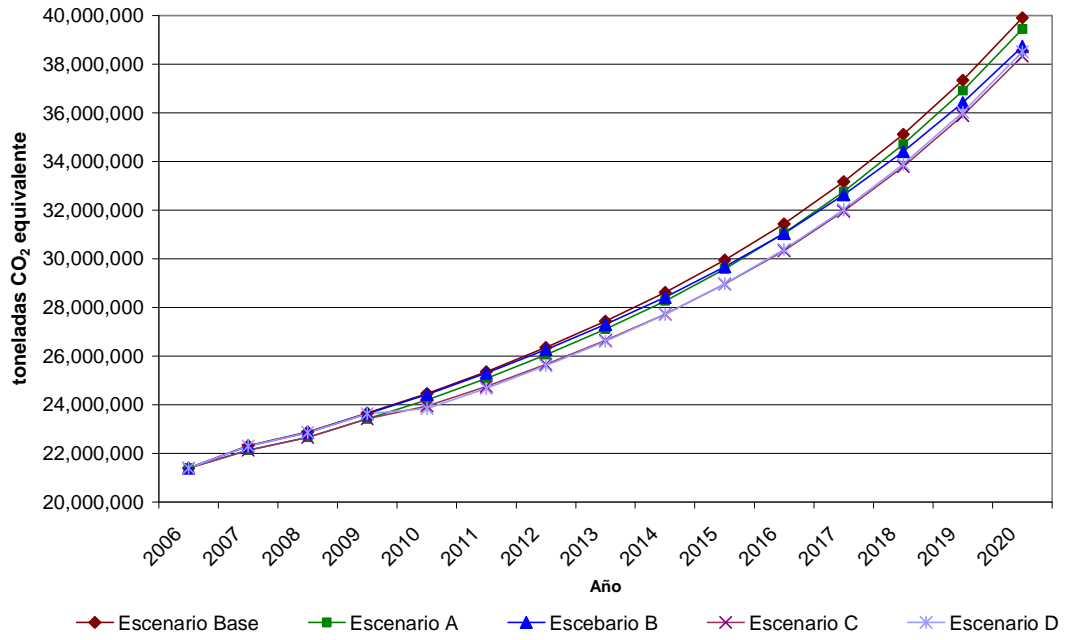
Con el escenario de “Hoy no circula sabatino” (Escenario A) se reducirían las emisiones de CO₂ equivalente en un 1.15% (459 mil toneladas) con respecto al escenario base en el 2020. Con el escenario de “Eficiencia vehicular” (Escenario B) se reducirían en 2.95% (1.17 millones toneladas), con el escenario “Disminución del uso del auto particular” (Escenario C) en 5.75% (2.3 millones toneladas) y finalmente con el escenario “Aumento en la velocidad de recorrido” (Escenario D) en 3.51% (1.5 millones de toneladas).

De llevarse a cabo en conjunto los diferentes escenarios, planteados en el presente trabajo, se podría tener una reducción de las emisiones de CO₂ equivalente para el 2020 en un 15% (6,000 millones de toneladas).

| Tabla 5.7 Escenarios base y de mitigación para el año 2020, ZMVM (1x10³ ton CO₂ equivalente) | | | | | | |
|---|-------------|-------------------------|----------|----------|----------|----------|
| Modo de transporte | 2006 | Escenario (2020) | | | | |
| | | Base | A | B | C | D |
| CO₂ equivalente | | | | | | |
| Auto privado | 10,945 | 25,888 | 25,429 | 24,712 | 24,309 | 24,487 |
| Taxi | 2,898 | 3,195 | 3,195 | 3,195 | 3,195 | 3,195 |
| Combis | 1,158 | 1,881 | 1,881 | 1,881 | 1,881 | 1,881 |
| Microbuses | 3,015 | 3,346 | 3,346 | 3,346 | 1,151 | 3,346 |
| Autobús | 2,929 | 4,414 | 4,414 | 4,414 | 5,894 | 4,414 |
| Motocicleta | 450 | 1,186 | 1,186 | 1,186 | 1,186 | 1,186 |
| Total | 21,395 | 39,911 | 39,451 | 38,734 | 37,617 | 38,509 |

Fuente: Elaboración propia

Figura 5.6 Escenario base y de de mitigación, ZMVM



Fuente: Elaboración propia

Conclusiones

La Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) está conformada por la Ciudad de México o Distrito Federal (DF), en la cual viven más de 8.72 millones de personas y se concentra el 22% del PIB nacional, de 59 municipios conurbados del Estado de México y 1 municipio del Estado de Hidalgo. En ella viven cerca de 20 millones de habitantes, que corresponden a poco más del 18% de la población total del país y representa alrededor del 35% de la generación de la riqueza nacional. La demanda en la infraestructura vial ha sido rebasada por el crecimiento excesivo de la ZMVM.

Además, a casi tres décadas de su construcción y de la falta de planeación para mejorarla, presenta serios problemas de congestión vehicular, largos tiempos de traslado y la contaminación atmosférica. A ello se suma el impacto que esto tiene en la emisión de gases de efecto invernadero.

En el año 2006, circulaban en la ZMVM, 3.4 millones de autos privados, 155 mil taxis, 39.7 mil combis, 36 mil microbuses, 1.35 miles de autobuses de la RTP, 143 autobuses de transporte escolar, 51 autobuses para personas con capacidades diferentes, 13.4 mil autobuses concesionados, 9.6 mil de turismo, 18.6 mil de transporte interurbano y 180.7 mil motocicletas, además del Sistema Colectivo Metro, el Sistema de Transportes Eléctricos y el Metrobús. Para 2008 se incorporó al transporte de la ZMVM el tren suburbano.

Para el año 2006, el consumo de combustibles destinado a transporte de pasajeros en la ZMVM alcanzó 218 PJ, que representó el 17% del consumo de combustibles para transporte en el país. Asimismo, las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) llegaron a 21 MT de CO₂eq., lo que significó el 13% de las emisiones de transporte a nivel nacional y 5.6% del total.

De acuerdo con los resultados obtenidos de los diferentes escenarios, escenario base y escenarios de mitigación, si se conservan las tendencias actuales de crecimiento y uso del auto particular y del transporte público, las emisiones de CO₂ equivalente al 2020 serían de 40 millones de toneladas, 86% más que en el 2006.

Considerando el crecimiento histórico de las ventas de vehículos y del parque vehicular se estima que para el año 2020, el parque vehicular habrá crecido a 7.96 millones de vehículos, de los cuales 7.1 millones serán vehículos privados, y representará un consumo de combustibles de 2.3 veces mayor que el de 2006 y una emisión de GEI de 40 Tg de CO₂eq., también 1.8 veces mayor que en 2006.

Con las medidas planteadas en los diferentes escenarios se podría tener una reducción de las emisiones de CO₂ equivalente para el 2020 en un 15% (6,000 millones de toneladas). Con el escenario de “Hoy no circula sabatino” (Escenario A) se reducirían las emisiones de CO₂ equivalente en un 1.15% (459 mil toneladas) con respecto al escenario base en el 2020. Con el escenario de “Eficiencia vehicular” (Escenario B) se reducirían en 2.95% (1.17 millones toneladas), con el escenario “Disminución del uso del auto particular” (Escenario C) en 5.75% (2.3 millones toneladas) y finalmente con el escenario “Aumento en la velocidad de recorrido” (Escenario D) en 3.51% (1.5 millones de toneladas).

De acuerdo con las cifras obtenidas en este trabajo se puede observar que existen alternativas para disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero en la ZMVM. Además de mejorar la vida de sus habitantes al contar con transporte público de calidad y ampliar la vial.

Este ejercicio muestra que la ZMVM tiene enormes alternativas para disminuir emisiones de GEI, que a su vez permitan disminuir otros impactos ambientales que orienten a una mejor calidad de vida de sus habitantes.

Bibliografía

Consejo Nacional de Población (ONAPO). 2008. *Proyecciones de la población de México de las entidades federativas, de los municipios y de las localidades 2005-2050*. Consejo Nacional de Población, México.

<http://www.conapo.gob.mx/00cifras/proy/Proy05-50.pdf>

Gobierno del Distrito Federal, 2008. *Segundo informe de Gobierno..*

http://www.comsoc.df.gob.mx/pdf/segundo_informe.pdf

Instituto Nacional de Ecología (INE). 2008. Resultados del estudio sobre emisiones y características vehiculares en la Zona Metropolitana de Monterrey. México DF.

http://www.ine.gob.mx/descargas/calaire/2008_inf_emis_act_vehicular_mat_rey_mty.pdf

Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). Banco de Información Económica. Estadísticas del sector comunicaciones y transportes.

<http://dgcnesyp.inegi.org.mx/cgi-win/bdieintsi.exe/NIVG10#ARBOL>

INEGI. 1990. *Censo Nacional de Población y Vivienda*. Consulta Interactiva de datos.

INEGI. 1995. *Conteo de Población y Vivienda*. Consulta interactiva de datos.

INEGI. 2000. *Censo Nacional de Población y Vivienda*. Consulta interactiva de datos.

INEGI. 2005 *Conteo de Población y Vivienda*. Consulta interactiva de datos.

www.inegi.org.mx/lib/olap/general_ver4/MDXQueryDatos.asp.

INEGI. 2005a. *II Conteo de Población y Vivienda 2005, Microdatos del Distrito Federal*.

INEGI. 2005b. *Cartografía Geoestadística Urbana 2005 (AGEB)*.

INEGI. 2005c. *Marco Geoestadístico Municipal 2005 (MGM2005)*. CD (Información para la República Mexicana). Aguascalientes, México.

<http://www.inegi.org.mx/inegi/default.aspx>

IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories”; Reporting Instructions (Volume 1).

IPCC. 1996. *Revised 1996b IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories”; Workbook (Volume 2).*

IPCC. 1996. *Revised 1996c IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories; Reference Manual (Volume 3).*

Lozano A., Antún J.P., Granados F. 2004a. *Resultados estadísticos del muestreo origen-destino de automóviles particulares 2002, en la Zona Metropolitana del Valle de México*. Informe para el Fideicomiso para el Mejoramiento de las Vías de Comunicación del Distrito Federal. Instituto de Ingeniería, UNAM., pp. 15.

Lozano A., Antún J.P., Granados F. 2004b. *Resultados estadísticos del muestreo origen-destino de automóviles particulares 2004, en la Zona Metropolitana del Valle de México*. Informe para el Fideicomiso para el Mejoramiento de las Vías de Comunicación del Distrito Federal. Instituto de Ingeniería, UNAM., pp-16.

Lozano A., F. Granados, L. Álvarez-Icaza, V. Torres, J.P. Antún, R. Magallanes, 2005. Fase D: Recomendaciones. In: *Bases para el Plan Rector de Vialidad del Distrito Federal*, Vol 4, pp. 1-31, Universidad Nacional Autónoma de México y Fideicomiso para el Mejoramiento de las Vías de Comunicación del Distrito Federal. Instituto de Ingeniería, UNAM.

Lozano A., Antún JP., Granados F., Torres V., 2007. *Assessment of traffic and emissions impacts, for determining future infrastructure in a metropolitan street network: An application in Mexico City*. Proceedings of the Sixth Triennial

Gobierno del Estado de México, 2008. *Tercer Informe de Gobierno*.

<http://igecem.edomex.gob.mx/dwlGECCEM/media/documentos/3Tomo1.pdf>

<http://igecem.edomex.gob.mx/dwlGECCEM/media/documentos/3Tomo2.pdf>

Secretaría de Energía (SE), 1997. *Balance Nacional de Energía 1996*. México D.F.

Secretaría de Energía (SE), 2008. *Balance Nacional de Energía 2007*. México D.F.

www.sener.gob.mx/webSener/res/PE_y_DT/pub/Balance_2007.pdf

SCT, DGST, 2008. *Libro de Datos Viales 2008*. Dirección General de Servicios Técnicos, Subsecretaría de Infraestructura, Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), México.

Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal (SMA). 2008. *Inventario de emisiones criterio, 2006*.

http://www.sma.df.gob.mx/sma/links/download/archivos/ie06_criterio_pw23oct08.pdf

http://www.sma.df.gob.mx/simat/programas_ambientales/anexo/elementos_hnc.pdf

Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal (SMA). 2008. *Inventario de emisiones de gases de efecto invernadero, 2006*.

http://www.sma.df.gob.mx/sma/links/download/archivos/IEgei06_pw23oct08.pdf

Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal (SMA). Base de datos de inventarios de emisiones 1990-2006. Documento interno.

SEDESOL, CONAPO e INEGI, 2007. *Delimitación de las zonas metropolitanas de México 2005*. Secretaría de Desarrollo Social, Consejo Nacional de Población, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. México.
www.inegi.org.mx/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/geografia/publicaciones/delimex05/DZMM_2005_0.pdf

Sheinbaum Claudia, 2008. *Problemática Ambiental de la Ciudad de México*. Limusa, México DF.

Sheinbaum C., Masera O., 2000. Mitigating Carbon Emissions while Advancing National Development Priorities: The Case of Mexico. *Journal of Climatic Change* 47(3): 259-282;