



Certificación ISO 9001:2000 ‡

Propuesta metodológica para la estimación de emisiones vehiculares en ciudades de la República Mexicana

Cindy Lara Gómez
Juan Fernando Mendoza Sánchez
María Guadalupe López Domínguez
Rodolfo Téllez Gutiérrez
Wilfrido Martínez Molina
Elia Mercedes Alonso Guzmán

**Publicación Técnica No. 322
Sanfandila, Qro, 2009**

SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE

**Propuesta metodológica para la estimación de
emisiones vehiculares en ciudades de la República
Mexicana**

Publicación Técnica No. 322
Sanfandila, Qro, 2009

Esta investigación fue realizada en el Área de Medio Ambiente, de la Coordinación Infraestructura del Instituto Mexicano del Transporte, por la tesista de la Maestría en infraestructura del Transporte en la rama de las Vías Terrestres, Ing Cindy Lara Gómez; el MC Juan Fernando Mendoza Sánchez; la MC María Guadalupe López Domínguez; el MC Rodolfo Téllez Gutiérrez; y los investigadores de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, MA Wilfrido Martínez Molina y la Dra Elia Mercedes Alonso Guzmán.

Se agradece la colaboración en la capacitación del modelo MOBILE6 de Andrés Aguilar Gómez, investigador del Instituto Nacional de Ecología, así como todo el apoyo que se recibió de dicha dependencia.

Índice

Resumen		v
Abstract		vii
Resumen ejecutivo		ix
Capítulo 1.	Introducción	1
Capítulo 2.	Impacto ambiental generado por la operación vehicular	3
Capítulo 3.	Análisis de modelos para la estimación de emisiones vehiculares	19
Capítulo 4.	Metodología para la estimación de emisiones vehiculares	37
Capítulo 5.	Estudio de caso	47
Capítulo 6.	Conclusiones	85
Bibliografía		89
Anexo 1	Tablas de factores de emisión para cada año, modelo, clase vehicular y tipo de contaminante	91

Resumen

El presente trabajo plantea una propuesta metodológica para estimar las emisiones generadas por el consumo de combustibles fósiles durante los viajes urbanos en fuentes móviles, específicamente los vehículos. La operación del transporte automotor es en las ciudades de la República Mexicana, la causa principal de contaminación atmosférica.

La propuesta se basa en los trabajos realizados en México acerca de inventarios de emisiones para algunas ciudades de la República, utilizando como herramienta el modelo MOBILE6, desarrollado por la EPA. Para la utilización del software fue necesario obtener una serie de datos de entrada basados en encuestas aplicadas a conductores en la Ciudad de Uruapan, obteniendo información del tipo de combustible, el uso de aire acondicionado, el monto de consumo de combustible, el kilometraje acumulado, etc.

La metodología incluye principalmente tres aspectos considerados como necesarios: 1. Condiciones locales (altitud, temperatura, humedad relativa, y características de los combustibles); 2. Caracterización de la flota vehicular total (edad, tipo de combustible y clasificación vehicular); 3. Datos de la operación vehicular (obtenidos del análisis de las encuestas).

Con la información recopilada se alimentó el modelo MOBILE6 para la obtención de factores de emisión en ocho clases de vehículos, tales como: motocicletas, automóvil, camionetas pick up, vehículos ligeros, autobuses y vehículos pesados.

Los resultados muestran la cantidad de emisiones generadas por la operación vehicular en la ciudad de Uruapan, de hidrocarburos, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, compuestos orgánicos totales, material particulado, dióxido de azufre, dióxido de carbono, así como seis contaminantes tóxicos adicionales (HAP's).

Se estima que con los resultados del inventario de emisiones, permita a las autoridades ambientales municipales la toma de medidas, para mitigar el impacto ambiental que estos contaminantes atmosféricos generan para la ciudad, y que repercuten en la salud humana.

La metodología propuesta resultó muy útil para conocer de manera macroscópica el nivel de emisiones vehiculares que se generan en ciudades, tales como la del caso de estudio.

Abstract

The main purpose of this paper was to develop a methodology in order to estimate the total emissions generated by motorized traffic and fuel consumption during urban trips. Motorized traffic is the most relevant cause of air pollution in various cities of the country.

The methodology is based on some studies developed in Mexico to integrate emissions inventories for some cities, using the MOBILE6 modeling approach, developed by EPA. The proposed methodology was applied to the city of Uruapan, located in the State of Michoacán. Input data came from data base transport authorities, driver's surveys and include fuel type, use of air conditioning, fuel consumption, mileage, etc.

The methodology includes basically three aspects: 1. Local conditions (altitude, temperature, relative humidity and fuel characteristics); 2. Traffic characteristics (vehicle age, fuel type and traffic classification); 3. Traffic operations (based on surveys).

The information gathered was used as input to the MOBILE software thus obtaining emissions factors for 8 vehicle types (motorcycles, light vehicles, trucks, freight vehicles, buses, etc.)

The results shown the inventory of emissions generated by motorized traffic operations. This inventory includes the following: hydrocarbon, carbon monoxide, nitrogen monoxide, carbon dioxide, sulfur dioxide, particulate matter, total components organics, and other 6 additional (HAP's) .

The emissions inventory results can help environmental authorities to make appropriate decisions for protecting the environment and human health and for developing policies to mitigate air pollution.

At the same time, the developed methodology is a useful tool for estimating macro vehicle emissions scenarios in cities.

Resumen ejecutivo

Esta investigación plantea que el transporte es una de las causas principales de los impactos negativos al medio ambiente, debido a las repercusiones ambientales en las zonas urbanas en aspectos nocivos para la flora y fauna; pero el más importante son las afectaciones a la salud humana, derivadas de la necesidad de movilidad a través de medios automotores, cuyos efectos van relacionados con las emisiones contaminantes y el ruido, generados por la operación vehicular.

El aumento constante en las ciudades, de la población y sus necesidades de transporte, traen consigo el crecimiento de la motorización; esto conlleva a que las emisiones de las fuentes móviles sean consideradas como parte de la problemática ambiental, y por tanto, requieren ser incluidas en las estrategias para el mejoramiento de la calidad de aire urbano.

Las emisiones que se originan en la operación de un vehículo se deben a un conjunto de elementos conformado por el motor, el combustible y el modo de uso; es decir, que las emisiones emitidas a la atmósfera resultan de la interacción de estos tres factores y no de alguno en particular. Por lo que para evaluar los impactos ambientales y sugerir alternativas efectivas de mejora ambiental se requieren considerar los tres aspectos; por lo que no podemos considerar un cambio de combustibles solamente, sin pensar qué tecnología de motor es la que se está usando o se va usar en el país.

La metodología propuesta para la estimación de ciudades utiliza el software MOBILE 6, debido principalmente a la experiencia del uso en México, y por contar con adaptaciones previas sobre las características de la flota vehicular mexicana.

Para ello fue necesario definir los elementos básicos para alimentar el modelo y puntualizar los estudios requeridos para completar la metodología en la estimación de emisiones urbanas.

Primeramente, se deben definir las condiciones particulares de la ciudad, tales como: las condiciones ambientales, de temperatura, altitud, etc.; la caracterización de la flota vehicular de la ciudad de estudio; es decir, modelos de vehículos, edad de la flota, la categoría; otros elementos son la actividad vehicular, como el kilometraje, el consumo de combustible, velocidad de operación. Dependiendo de la precisión de estudio se puede precisar también la red vial, y utilizar modelos de transporte para estimar longitudes de viajes urbanos.

Con esta información se puede alimentar el MOBILE 6, y con ello obtener los factores de emisión por tipo de vehículo, según la precisión que se desee.

Con dichos factores y la cantidad de kilómetros que recorre un vehículo de acuerdo con su actividad, se estima la cantidad de emisiones vehiculares generadas en las ciudades, conforme a los diferentes tipos de vehículos y los diversos contaminantes atmosféricos.

La estimación de emisiones bajo este esquema permite tener un conocimiento macro del escenario que se puede presentar en las ciudades, en cuanto a la contribución que realiza la operación vehicular, y los resultados pueden motivar para llegar a implementar metodologías con un nivel más detallado.

Los resultados muestran que el CO representa en promedio el 84% del total de las emisiones generadas, principalmente por los vehículos que emplean gasolina como combustible. El contaminante NOx representa el 11%; HC el 4%; y las PM10 sólo el 1% del total de emisiones.

En los dos escenarios evaluados, el primero para velocidades de 36 km/h, y el segundo para 56 km/h; no se aprecia una diferencia significativa en cuanto al porcentaje de aportación de cada contaminante. Debido al cambio de velocidad, las emisiones de CO y NOx aumentan si la velocidad del vehículo es mayor; pero en el caso del HC disminuye; para las PM10, se mantiene porque el modelo para este contaminante no es sensible al cambio de velocidad.

Cabe mencionar que las camionetas pick up y los automóviles representan el 80% de la flota, y en específico son la principal fuente de contaminación de CO en la ciudad de estudio.

Los vehículos pesados, los autobuses y camiones urbanos que emplean diesel representan sólo el 3% de la flota vehicular, y son la categoría de fuente más significativa en cuanto a emisiones de NOx con una aportación del 79%; y PM10 con 74%. Ello se debe a que los factores de emisión de estos contaminantes para vehículos pesados que se alimentan con diesel son considerablemente mayores que los correspondientes a vehículos a gasolina.

El 97% de la flota vehicular de la ciudad utiliza gasolina como combustible; de la cual, el 92% utiliza gasolina magna, y sólo el 3% son unidades a diesel.

La aplicación de la metodología propuesta permite obtener información del comportamiento ambiental en cuanto a la generación de emisiones contaminantes, con requerimientos relativamente bajos de datos de entrada. Esta metodología puede coadyuvar a otras ciudades de la República Mexicana para conocer el estado actual de la calidad del aire en cuanto a la generación de emisiones atmosféricas provenientes de la operación vehicular.

Los resultados obtenidos podrán servir a las autoridades ambientales de la ciudad de Uruapan para la toma de decisiones que coadyuven a la mejora de las condiciones del aire de la misma. Algunas ideas generadas y susceptibles a implementar se describen en los siguientes párrafos.

Una estrategia que se considera útil para disminuir la generación de emisiones emitidas a la atmosfera por la operación vehicular es la implementación de un programa de verificación vehicular en la ciudad, aplicado de manera estratificada en el tiempo; comenzando de manera obligada con las camionetas pick up por el alto porcentaje que representa del total de la flota vehicular y de emisiones de CO generadas; además de contener la invasión de automotores usados en malas condiciones, procedentes de Estados Unidos. En una segunda etapa, el resto de los vehículos ligeros; finalizando con una tercera etapa, con el resto de la flota vehicular.

El mantenimiento vehicular es una obligación ciudadana para hacer un uso eficiente del transporte, ya que el descuido de algunas personas, en cuanto al mantenimiento y cuidado de las partes mecánicas de los motores de sus automóviles, hace que el rendimiento del combustible en este no sea aprovechado de manera óptima, haciendo que su quema sea ineficiente, y con ello aumente las emisiones de sustancias contaminantes a la atmosfera.

Finalmente, se considera prioritario que en México se establezcan políticas que sancionen o estimulen las decisiones ambientales en las ciudades; así como realizar esfuerzos de concientización y educación ambiental que ayuden a modificar los malos patrones de vida actuales, en modelos de vida más sustentables.

1 Introducción

La operación del transporte terrestre es precisamente una de las principales causas de los impactos negativos que se producen al medio ambiente; tales efectos son las emisiones contaminantes, el ruido, la basura, y los accidentes de tránsito, entre otros.

El presente trabajo plantea una propuesta metodológica para estimar emisiones en ciudades de la República, derivado de la necesidad de tener un análisis más fino de las cantidades y tipos de contaminantes emitidos a la atmósfera por la operación vehicular.

El capítulo 2 habla de la naturaleza de dichos impactos ambientales, precisando los tipos de emisiones vehiculares que se generan en México, tales como las emisiones evaporativas; las provenientes del escape; y las de desgaste de neumáticos y frenos. Algunos de los gases contaminantes son los hidrocarburos, el monóxido de carbono, el óxido de nitrógeno, y el material particulado.

También se aborda la contaminación ambiental debido al ruido; línea de investigación que se ha abordado con más detalle en otras publicaciones del Instituto Mexicano del Transporte.

El consumo energético de los países está ligado directamente a la generación de emisiones, por lo que se detalla en el capítulo 2 información relacionada con el consumo mundial y nacional de energéticos, desagregando el consumo por sector, siendo el transporte uno de los consumidores más grandes de combustibles.

El capítulo 3 describe algunos de los modelos empleados a nivel mundial para la estimación de emisiones, tales como el MOBILE que fue desarrollado por la Agencia para la Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos (EPA, por sus siglas en inglés), y que ha sido adaptado a condiciones particulares de México. Otro modelo ampliamente usado en la Unión Europea es el COPERT; el cual fue desarrollado por la Agencia Europea del Ambiente.

Ambos modelos son utilizados para el cálculo de emisiones generados por la operación vehicular generalmente aplicados a ciudades, apoyados en factores de emisión para cada tipo de contaminante, incluyendo variables, tales como: edad y modelo del vehículo, kilometraje acumulado, consumo energético, etc.

La metodología para la estimación de emisiones que se propone se describe en el capítulo 4, que en términos generales incluye las condiciones particulares de la ciudad, tales como las condiciones ambientales, de temperatura, altitud, etc.; la caracterización de la flota vehicular de la ciudad de estudio; es decir, modelos de vehículos, edad de la flota, la categoría; otros elementos son la actividad vehicular, el kilometraje acumulado, el consumo de combustible, y la velocidad de operación.

Con esta información se puede alimentar el MOBILE 6 y obtener los factores de emisión por tipo de vehículo, según la precisión que se desee.

Con dichos factores y la cantidad de kilómetros que recorre un vehículo de acuerdo con su actividad, se estima la cantidad de emisiones vehiculares generadas en las ciudades, compatible a los diferentes tipos de vehículos y los diversos contaminantes atmosféricos.

Para el caso de estudio del capítulo 5, se definieron dos escenarios para la estimación de emisiones en función a las velocidades medidas en las arterias que conforman la zona centro y las arterias denominadas vías rápidas en la ciudad de Uruapan.

En ambos escenarios se obtuvo la estimación de emisiones vehiculares por año, tipo de vehículo, y tipo de contaminante.

Las conclusiones del trabajo contemplan aspectos sobre la naturaleza de las emisiones y de los resultados obtenidos, donde se puede conocer el comportamiento ambiental de la ciudad en cuanto a la generación de emisiones.

Se detallan algunas recomendaciones como estrategias para la disminución de emisiones vehiculares, y la necesidad de implementar políticas ambientales para el control de las emisiones, así como fortalecer la educación ambiental como mecanismo para modificar patrones de vida actuales, en modelos de vida más sustentables.

2 Impacto ambiental generado por la operación vehicular

El transporte es una de las causas principales de los impactos negativos al medio ambiente, debido a las repercusiones ambientales en las zonas urbanas, en aspectos nocivos para la flora y fauna; pero el más importante son las afectaciones a la salud humana, derivadas de la necesidad de movilidad a través de medios automotores, cuyos efectos están relacionados con las emisiones contaminantes y el ruido, generados por la operación vehicular.

2.1 Emisiones

El aumento constante de la población urbana y sus necesidades de transporte, traen consigo el crecimiento de la motorización, esto conlleva a que las emisiones de las fuentes móviles sean consideradas como parte de la problemática ambiental, y por tanto, requieren ser incluidas dentro de las estrategias para el mejoramiento de la calidad de aire urbano.

Uno de los primeros requisitos para mitigar el efecto al medio ambiente implementado en ciudades, es el control de emisiones vehiculares, el cual ha contribuido a una considerable reducción de contaminantes del aire, a través de programas de verificación vehicular. Además, la normativa que regula la calidad de los combustibles para los vehículos también ha contribuido a una mayor eficiencia de ellos, y a menores emisiones. Sin embargo, las políticas implementadas no siempre son suficientes, ya que la actividad vehicular sigue siendo la principal fuente móvil de contaminación del aire.

Además de los impactos ambientales directos causados por las fuentes móviles durante su operación, existen impactos indirectos, tales como los derivados de las grasas y aceites usados, el polvo; así como los impactos ambientales por metales y materiales usados en el ensamblaje de los vehículos, los desechos de llantas, etc.

Las emisiones que resultan de la operación de un vehículo se deben a un conjunto de elementos conformado por el motor, el combustible, y el modo de uso; es decir, que las emisiones emitidas a la atmósfera se deben a la interacción de estos tres factores y no de alguno en particular. Por lo que para evaluar los impactos ambientales y sugerir alternativas efectivas de mejora ambiental, se requiere considerar los tres aspectos, por lo que no podemos pensar en un cambio de combustibles solamente, sin pensar qué tecnología de motor es la que se está usando, o se va usar en el país.

Por esto, las decisiones que se tomen deberán ser sobre la base de las relaciones costo beneficio, de las inversiones asociadas a las distintas alternativas relacionadas con los tres aspectos mencionados.

También pudiera resultar importante establecer para cada ciudad, cuál es su situación actual en cuanto a niveles de contaminación, y cuánto representan las emisiones de vehículos en este contexto; y de ser posible, cuál es el contaminante con niveles que excedan los límites máximos aceptados por los estándares normativos. Con estos elementos se podrá plantear una estrategia más eficiente para cada ciudad.

2.2 Emisiones vehiculares

Las emisiones vehiculares son una gama de contaminantes que afectan al medio ambiente. Los debidos al tráfico se pueden clasificar en dos grupos, contaminantes primarios, y los secundarios.

Los contaminantes primarios son aquellos que se emiten directamente a la atmósfera como resultado de un proceso de combustión, estos son el dióxido de azufre (SO₂), monóxido de carbono (CO), vapores de combustibles y solventes, plomo (Pb) y partículas suspendidas.

Los contaminantes secundarios se forman como consecuencia de las reacciones y transformaciones que experimentan los contaminantes primarios una vez que se encuentran en el aire como el ozono (O₃), el dióxido de nitrógeno (NO₂) y algunos tipos de partículas.

2.2.1 Tipos de emisiones vehiculares

Las emisiones de vehículos automotores están integradas por un gran número de contaminantes que provienen de muchos procesos diferentes (figura 1). Las más comúnmente consideradas son las provenientes del escape, que resultan de la combustión del combustible y que son liberadas por el escape del vehículo. Los contaminantes de interés clave en este tipo de emisiones incluyen NO_x (óxidos de nitrógeno); SO_x (óxidos de azufre); Compuestos Orgánicos Volátiles (COV); CO (monóxido de carbono); y las partículas PM (partículas en suspensión). También incluye los gases efecto invernadero, que aunque no afectan a la salud influye en el clima, como es el CO₂.

Además de las emisiones de COV por combustión, hay un porcentaje significativo de emisiones de COV desde otros dispositivos con especial importancia para los automotores de gasolina. A esta clase se le conoce como emisiones evaporativas. Algunas de ellas son las siguientes.

- Emisiones evaporativas del motor caliente: son aquellas que se presentan debido a la volatilización del combustible en el sistema de alimentación, después de que el motor se ha apagado. El calor residual del motor volatiliza el combustible.
- Emisiones evaporativas de operación: son las emisiones ocasionadas por las fugas de combustible, como líquido o vapor, que se presentan mientras el motor está en funcionamiento.
- Emisiones evaporativas durante la recarga de combustible: son las emisiones evaporativas desplazadas del tanque de combustible del vehículo durante la recarga. Pueden ocurrir mientras el vehículo está en reposo y en puntos conocidos, como las gasolineras. La recarga de combustible se maneja típicamente como fuente de área. Los factores de emisión para la carga de combustible también pueden estimarse a través del modelo MOBILE.
- Emisiones diurnas: son las emisiones del tanque de combustible del vehículo debidas a una mayor temperatura del combustible y a la presión de vapor del mismo. Se deben al incremento de la temperatura ambiente ocasionado por el sistema de escape del vehículo, o por el calor reflejado en la superficie del camino.
- Emisiones evaporativas en reposo: son emisiones evaporativas diferentes a las anteriores, que se presentan cuando el motor no está en funcionamiento. Las pérdidas en reposo se deben principalmente a fugas de combustible y de la permeabilidad, o fugas de los conductos de combustible.

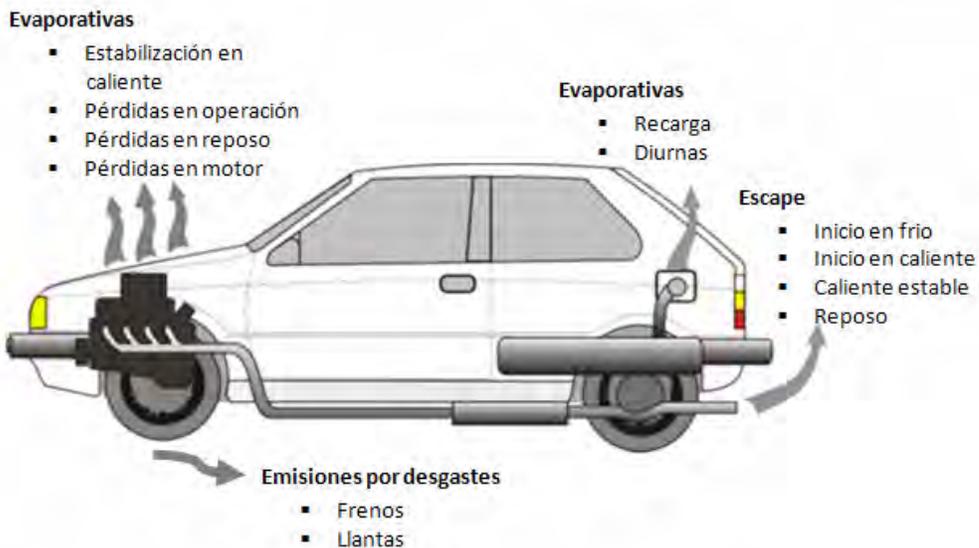


Figura. 1 Proceso de emisión de en vehículos automotores

La composición del combustible y las características en la combustión dependen en gran parte de la emisión de contaminantes.

Los combustibles fósiles están formados por una mezcla de diferentes hidrocarburos; luego del proceso de combustión completa generan principalmente monóxido de carbono (CO) y vapor de agua; sin embargo, el funcionamiento de los motores es complejo debido a varios factores; la combustión no se desarrolla en su totalidad. Entre las causas más importantes se destaca la potencial falta de oxígeno y la variabilidad de la mezcla oxígeno/combustible; la baja temperatura, cuando los motores inician su funcionamiento, etc., y como consecuencia se producen emisiones de CO; además de hidrocarburos sin oxidar o parcialmente oxidados [Moreno Racero, et al].

Una combustión incompleta contamina el aire, y libera menos energía de la que teóricamente puede obtenerse, ocasionando así una pérdida económica que puede llegar a ser importante para las diversas posibilidades de combinación entre el carbono y el oxígeno.

Adicionalmente, y debido a las altas temperaturas en la cámara de combustión, (estabilidad térmica del motor), se produce la combinación de N₂ (dinitrógeno) y O₂ (dioxígeno), formando NO_x [USEPA].

El azufre forma parte de las impurezas que contienen los combustibles fósiles. Su oxidación produce la formación y emisión de SO₂ (dióxido de azufre). Interfiere directamente en la eficiencia de los catalizadores, cuyo uso sólo es viable con combustible con muy bajo contenido de azufre.

Las emisiones de partículas se producen por la combustión, el desgaste de los neumáticos, recubrimiento de frenos y superficies de rodadura, o por la suspensión de polvo (levantamiento de polvo del camino, polvo recogido por las llantas del vehículo y suspendido en el aire por la turbulencia ocasionada por el movimiento). Las partículas que dan un color blanco al humo del escape se asocian a condiciones frías de los motores; en tanto que humos de color azulado y negro, se asocian a la combustión incompleta de mezclas que pueden contener lubricantes. La gran mayoría de las partículas finas (PM_{2.5}) se producen debido a la combustión; por lo que cuando se comparan con las del desgaste de las llantas y frenos, son poco significativas; por ello en algunas ocasiones son omitidas de los inventarios de emisiones. Los vehículos diesel producen de 10 – 100 veces más partículas de combustión que los de gasolina.

2.2.2 Efectos en la salud

La contaminación del aire puede afectar adversamente la salud humana por la inhalación directa o por la exposición a la contaminación, así como por la ingesta de agua y alimentos, y también por la transferencia a través de la piel. La información acerca de los efectos en la salud humana proviene de estudios y valoraciones en animales, estudios de exposición humana y epidemiológica.

Los contaminantes criterios son los que se han identificado como comunes y perjudiciales para la salud y el bienestar de los seres humanos. Se les llamó contaminantes criterio, porque fueron objeto de estudios publicados en documentos de calidad del aire. En México se tiene el ozono (O₃), bióxido de azufre (SO₂), óxidos de nitrógeno (NO₂), monóxido de carbono (CO), material particulado suspendido (PST) y plomo.

Para esta investigación se hace un inventario de contaminantes criterio, en el cual se incluyen hidrocarburos (HC), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO_x), y además partículas con diámetro aerodinámico menor a 2.5 micras (PM_{2.5}).

2.2.3 Gases contaminantes

Para fines del presente trabajo se hablará de los siguientes gases:

2.2.3.1 Hidrocarburos (HC)

Conjunto de sustancias químicas orgánicas compuestas únicamente de hidrógeno y carbono; las emisiones de hidrocarburos se presentan cuando no se queman completamente las moléculas del combustible en el motor, o sólo se queman parcialmente.

Los hidrocarburos reaccionan en presencia de los óxidos de nitrógeno, y la luz solar para formar ozono a nivel del suelo, que es uno de los componentes principales del smog.

El ozono irrita los ojos, perjudica los pulmones, y agrava los problemas respiratorios. Éste representa nuestro problema urbano más extendido e intratable del aire. También ciertos hidrocarburos del tubo de escape son tóxicos, y son causa potencial para producir cáncer.

2.2.3.2 Compuestos orgánicos volátiles (COV)

Incluyen una amplia gama de compuestos químicos. Son generados por la combustión incompleta. Afectan directamente a la salud; y reaccionan en la atmósfera con la luz solar generando ozono a nivel del suelo. El efecto tóxico del ozono se debe a su capacidad para liberar radicales libres, los cuales producen la oxidación de ácidos grasos no saturados en células pulmonares.

2.2.3.3 Monóxido de carbono (CO)

Es un gas incoloro e inodoro que se produce por la incompleta combustión del carbón contenido en el combustible. Afecta la salud cuando se unen irreversiblemente a la hemoglobina, disminuyendo así su capacidad para transportar oxígeno a los tejidos. Afecta la capacidad de trabajo físico e intelectual, ocasionando alteraciones en los sistemas nerviosos y cardiovasculares. Inhibe el sistema enzimático que metaboliza fármacos. De cada 1000 litros de gasolina quemada por los automóviles, resultan casi 375 kg de monóxido de carbono emanados a la atmósfera.

2.2.3.4 Óxido de nitrógeno (NOx)

Es un concepto amplio que incluye al monóxido de nitrógeno (NO), al dióxido de nitrógeno (NO₂) y a otros óxidos de nitrógeno menos comunes. Se forman en condiciones de alta temperatura y presión con exceso de aire. Provocan daño a la salud; además de ser un precursor del ozono, el NOx contribuye a otros efectos, nocivos como el daño pulmonar, disminuyendo los mecanismos pulmonares de defensa; incrementa la permeabilidad del epitelio bronquial, y de la membrana de los alvéolos pulmonares.

2.2.3.5 Material particulado (PM)

Corresponden a las llamadas partículas cuyo tamaño aproximado es de 1,3 micrones de diámetro promedio, y está compuesto de hollín, hidrocarburos condensados y compuestos de azufre. La exposición prolongada puede causar cáncer, irritación en las vías respiratorias por la presencia de SO₂, así como lluvia ácida.

En los últimos años ha crecido el interés de la comunidad científica en conocer los efectos de la presencia del material particulado, o de las partículas suspendidas. Se tiene evidencia de que niveles altos de partículas inhalables (PM₁₀) en el medio ambiente, tienen relación directa con la mortalidad en la población por diferentes tipos de problemas en las vías respiratorias.

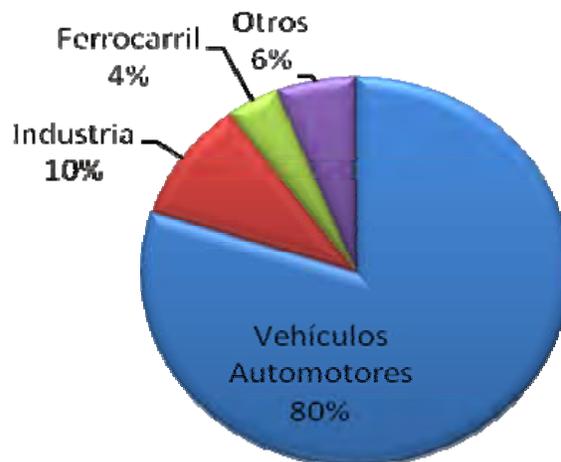
Gustafsson et al (2005), reportan que contrario a lo que se pensaba, una parte importante de las PM10 no se originan a partir de las emisiones del vehículo, sino que provienen del desgaste y suspensión de partículas del pavimento, las llantas y los frenos.

2.3 Ruido

El ruido es otro contaminante ambiental que se genera por la operación vehicular, y puede definirse como cualquier sonido que sea desagradable; sin embargo, el nivel en que un ruido pueda ser molesto no sólo depende de la calidad del sonido, sino también de nuestra actitud hacia él.

El ruido es un subproducto no deseado del modo de vida moderno; es una sensación auditiva molesta, y una de las perturbaciones ambientales que de manera muy importante afectan al humano (directamente a la calidad de vida); aunque éste en muchas ocasiones no es predecible en sus efectos, pues no suelen manifestarse de forma inmediata; lo hacen a largo plazo, y no se aprecia con claridad la relación causa – efecto.

El ruido tiene diversos orígenes. Según el Instituto del Ruido, de Londres, los automotores, con sus mecanismos, motores y roce de los neumáticos con el pavimento, son los máximos responsables del ruido total, cuya globalidad tiene su origen en la energía acústica producida por los siguientes sectores, y en los porcentajes de la gráfica 1.



Gráfica 1. Fuentes generadoras de ruido

Desde el punto de vista del medio ambiente, el estudio y control del ruido tienen sentido en cuanto a su utilidad para alcanzar cierta protección de la calidad del ambiente sonoro. Los sonidos son analizados para determinar los niveles en que se introduce en determinadas áreas y situaciones, y conocer el grado de molestia sobre la población.

Existen situaciones en que las molestias son evidentes, ya que la exposición al ruido puede provocar daños físicos evaluables; sin embargo, en gran parte de los casos, el riesgo para la salud no es tan fácil de cuantificar, interviniendo factores psicológicos y sociales que suelen ser analizados desde un punto de vista estadístico.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) reconoce que el ruido debe ser tratado como una amenaza al bienestar humano.

El ruido originado por los transportes en operación sobre una infraestructura, es cada vez más elevado. Las molestias debidas al ruido dependen de numerosos factores. El índice que se seleccione debe ser capaz de contemplar las variaciones o diferentes situaciones de al menos los siguientes aspectos:

- a) Energía sonora. Las molestias que produce un sonido están directamente relacionadas con la energía del mismo; a más energía mayor molestia.
- b) Tiempo de exposición. Para un mismo nivel de ruido, la molestia depende del tiempo de exposición; en general, un mayor tiempo de exposición supone un mayor grado de molestia.
- c) Características del sonido. Para un mismo nivel de ruido y un mismo tiempo de exposición, la molestia depende de las características del sonido: espectro de frecuencias, ritmo, etc.
- d) Receptor. No todas las personas consideran el mismo grado de molestia para el ruido; depende de factores físicos, sensibilidades auditivas, y en mayor medida de factores culturales.
- e) Actividad del receptor. Para un mismo sonido, dependiendo de la actividad del receptor, éste puede ser considerado como un ruido o no. Algunas actividades o estados requieren ambientes sonoros más silenciosos (lectura, enfermedades, conversaciones, etc.), percibiéndose como ruido cualquier sonido que no esté relacionado con la actividad.
- f) Expectativas y calidad de vida. En este punto se engloban aquellos aspectos subjetivos, difíciles de evaluar, que están relacionados con la calidad de vida de las personas; para ciertos grupos las exigencias de calidad ambiental para el tiempo y los espacios dedicados al ocio, son muy superiores a las de otras situaciones.

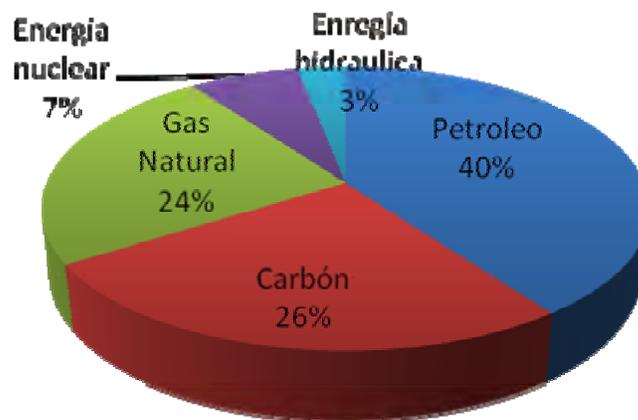
Para el caso de México se han realizado en el Instituto Mexicano del Transporte una serie de estudios de medición del ruido carretero en diversos estados de la república y el detalle puede ser estudiado en los documentos técnicos que se enmarcan en las referencias bibliográficas.

2.4 Energía

Las fuerzas que propician la contaminación del aire están ligadas no sólo con el crecimiento económico, sino también con la estructura del mercado y consumo de energía. Las emisiones van en función de la disponibilidad de fuentes primarias de energía, producción de combustibles, e infraestructura de distribución; así como del estado de la tecnología de combustión entre los consumidores y su patrón de uso.

Todas las naciones dependen de la energía para su desarrollo, y el suministro energético para un país dado, es el resultado del balance de su producción doméstica, exportaciones e importaciones. En la mayoría de los casos, el petróleo y los productos derivados, constituyen las principales fuentes de energía sobre las cuales descansa la confiabilidad del suministro energético.

El 90% de la energía que el planeta consume es fósil. Dentro del consumo energético mundial, el petróleo representa un 40 % aproximadamente; el carbón un 26 %; y el gas natural un 24 %. La energía nuclear representa el 7 %, y la hidráulica el 3 % (gráfica 2).



Gráfica 2. Consumo energético mundial

Fuente: Revista de Estadística y Sociedad (Índice), No. 18, Noviembre 2004, Petróleo y consumo energético mundial: varias posturas ante una misma realidad

2.4.1 Panorama mundial

El consumo mundial de petróleo se acerca a los 80 millones de barriles diarios, y en EEUU se prevé un aumento del consumo del petróleo del 50% en 20 años. Si consideramos el ritmo de crecimiento económico y de la población mundial, el mundo necesitaría aumentar su consumo de crudo en un 2,1% al año. Cerca de la cuarta parte del suministro mundial en 2003 provino de los Emiratos Árabes Unidos, Irán, Irak, Kuwait y Arabia Saudí. Si consideramos que según el Oil & Gas Journal, una de las principales fuentes de información pública sobre petróleo, su producción hasta hoy ha sido de unos 238 mil millones de barriles, cerca de un cuarto del total mundial, estos países tienen un claro papel principal.

El consumo global de energía y las emisiones mundiales asociadas de CO₂ han registrado una tendencia ascendente desde 1971 según el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [IPCC 2001]. Los combustibles fósiles son la fuente dominante de energía, y su uso es responsable de la generación de más de dos tercios de las emisiones de gases de efecto. Las emisiones provenientes del sector transporte, y particularmente aquellas de los vehículos que se desplazan por carretera, aumentan considerablemente los niveles de gases de efecto invernadero en la atmósfera.

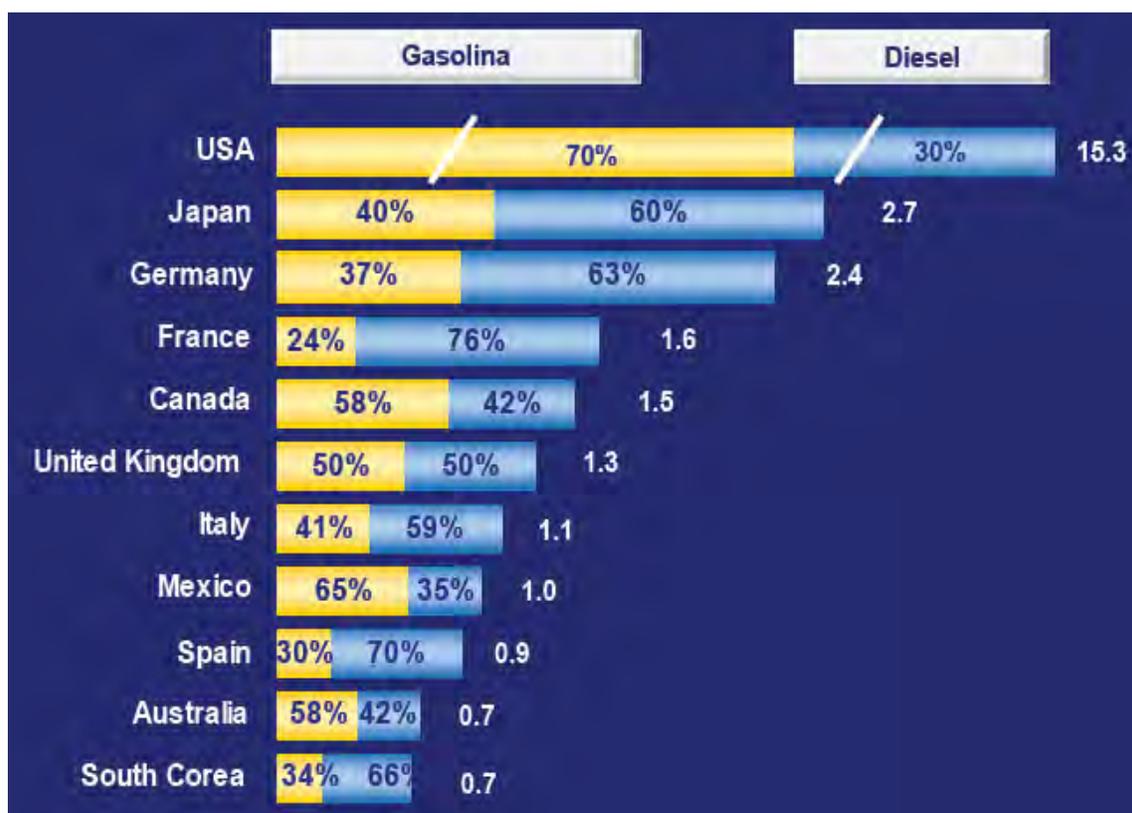
En los países miembros de la Organización para la Cooperación Económica y el Desarrollo (OCDE, por sus siglas en inglés), el sector transporte conformado por los vehículos que se desplazan por carretera, los ferrocarriles, los barcos y los aviones, contribuyen con aproximadamente el 27% de las emisiones de CO₂; el subsector del transporte por carretera aporta de 55 a 99% de las emisiones de gases de efecto invernadero del sector; dos tercios de los cuales se asignan a los automóviles, fundamentalmente en la forma de emisiones de CO₂. En 1995, el sector aportó 22% de las emisiones globales de CO₂. Estas emisiones han registrado un rápido crecimiento a una tasa aproximada de 2.5% anual, siendo en los países en desarrollo donde se observa el mayor aumento desde 1990 (7.3% anual en la región Asia – Pacífico); en contraste, en las economías en transición se registra una tasa de reducción anual del 5.0% en las emisiones.

En la mayoría de los países miembros de la Agencia Internacional de Energía (IEA, por sus siglas en inglés), el transporte es el sector dominante en lo que se refiere al consumo de energéticos derivados del petróleo. En los últimos 30 años se ha registrado un incremento uniforme en su uso, de tal suerte que hoy en día representa casi dos tercios del consumo total de petrolíferos en esos países [IEA 2000].

Las emisiones de CO₂ asignadas al transporte por carretera, durante el periodo comprendido entre 1990 y 1999, han registrado un incremento mayor comparadas con las producidas por cualquier otro sector, debido a que en todos los países hubo un incremento en las distancias recorridas por los vehículos motorizados particularmente por los automóviles y los vehículos ligeros de pasajeros.

Por otra parte, a pesar de los beneficios alcanzados en los últimos 20 años sobre la eficiencia técnica de los vehículos de servicio ligero, las preferencias por modelos más potentes, más pesados y más grandes, han anulado gran parte de los beneficios conseguidos en eficiencia, dando como resultado un cambio mínimo en la economía del combustible de la flota vehicular promedio. Debido a que se espera en el futuro, un aumento mayor en las distancias recorridas por las distintas categorías de vehículos, uno de los retos más grandes en lo referente a la reducción del consumo de energéticos derivados del petróleo y a sus emisiones asociadas de CO₂, lo representa la clase de vehículos de servicio ligero.

La Agencia Internacional de Energía estima que en ausencia de nuevas iniciativas reguladoras, el consumo de combustibles y las emisiones asociadas de CO₂, para los vehículos de servicio ligeros, se incrementarán en 30% para el año 2010, respecto al nivel que se tenía en 1990 en los países miembros de esta organización. En la gráfica 3 se observa la relación de consumo de combustible entre 11 países.



Gráfica 3. Relación de consumo de combustible aparente

Fuente: Oil and Energy Trends, diciembre 2000

2.4.2 Panorama nacional

En la década de los ochenta y parte de los noventa, el principal producto de exportación del país fue el petróleo (cerca de dos terceras partes de las ventas del país); y aún en la actualidad, su participación es importante (en el año 2000 las exportaciones petroleras representaron 10.92% del total de exportaciones del país). De acuerdo con cifras de la Agencia Internacional de Energía, la producción mundial de crudo fue de 83,640 millones de barriles diarios en abril de 2009, de los cuales México aportó el 3.6%.

El sistema energético mexicano depende en 86.42% de energéticos fósiles (el petróleo y sus derivados). El consumo de éstos se localiza mayoritariamente en el propio sector petrolero, en el sector eléctrico, y en las grandes concentraciones urbanas; en particular en el transporte y la industria, con impactos ambientales considerables. Por otra parte, existe una amplia legislación ambiental cuya observancia requiere de cambios estructurales en la oferta y uso final de los energéticos, así como cuidados en la producción y distribución de los mismos, y en la disposición de los desechos generados. Así mismo, es necesario prever la demanda, monto y estructura de productos petrolíferos que requerirá el desarrollo económico del país en los próximos años, sujetos a las condiciones ambientales presentes y futuras que la legislación y la sociedad misma están imponiendo ahora, e impondrán en el futuro.

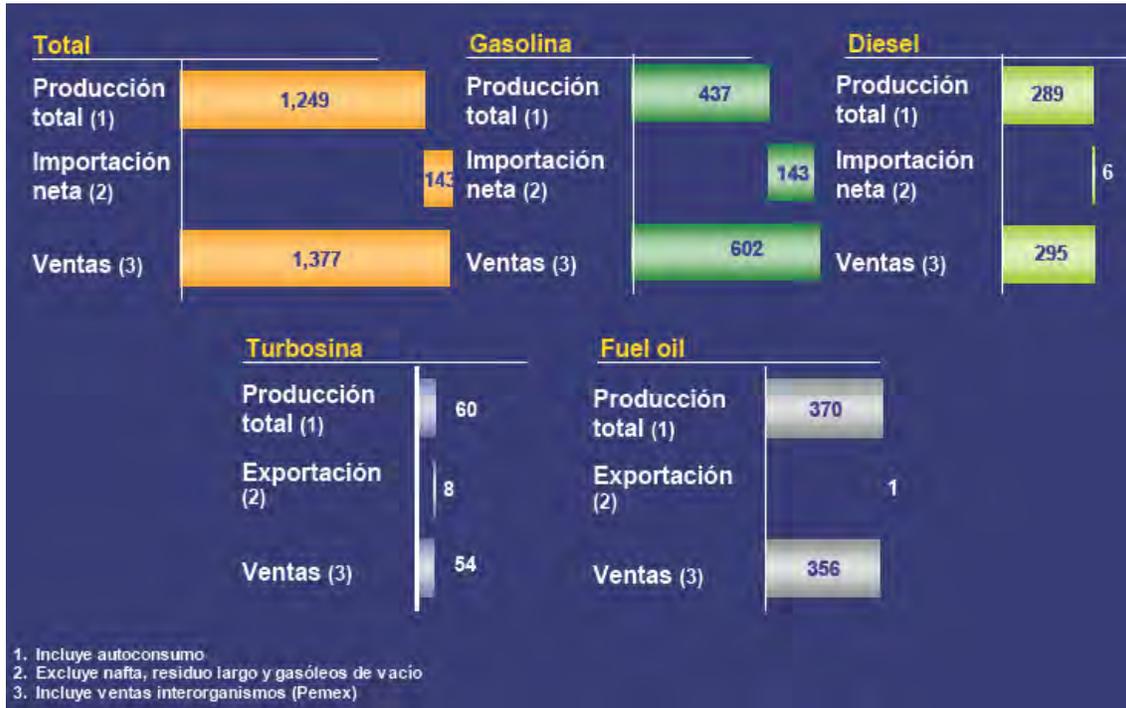
Adicionalmente, las consideraciones en el ámbito nacional e internacional relacionadas con el posible cambio climático global habrán de manifestarse en presiones, internas y externas sobre el país. El propósito central será el de analizar los impactos del desarrollo económico y social del país sobre la demanda de energía, así como el comportamiento de las emisiones de bióxido de carbono (CO₂), óxido nitroso (N₂O) y metano (CH₄), con la finalidad de presentar elementos de análisis para la toma de decisiones en el ámbito energético-ambiental, en las esferas nacional e internacional.

Desde 1986, Pemex ha puesto en práctica una serie de medidas para mejorar el volumen y la calidad del abastecimiento de combustibles en México. Las mejoras se enfocaron sobre todo a la reducción del impacto ambiental de los combustibles (plomo, azufre, aromáticos y con contenido de olefinas), aumentando el índice de octanos y centanos de la gasolina y el diesel, y cubriendo los recientes requerimientos de energía (Gráfica 4).

2.4.2.1 Consumo de energía

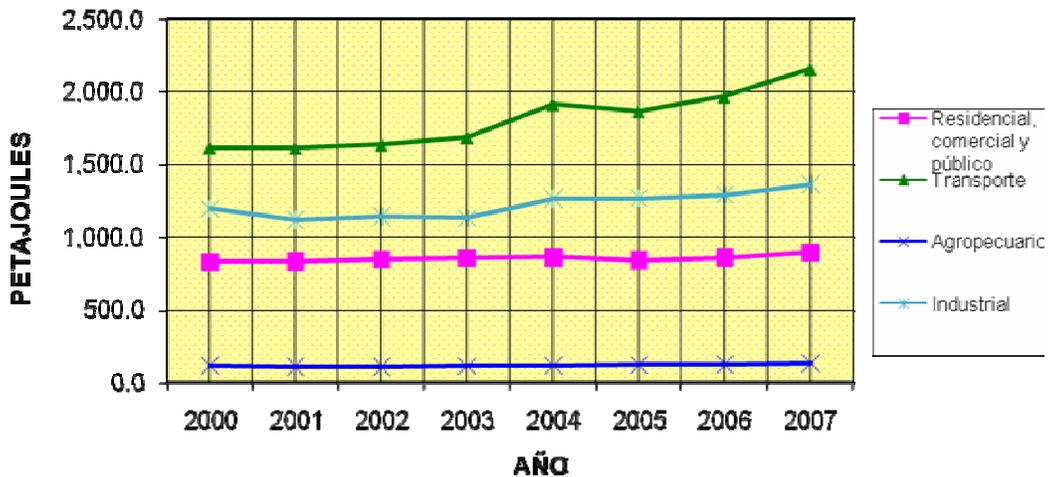
El consumo energético en el sector transporte es el de mayor dinamismo, ya que creció 9.7% en 2007 respecto a 2006; este sector incrementó su contribución final total de 43.4% en 2006, a 44.8 % en 2007; en la gráfica 5 se muestra el consumo total de energía por sector del 2000 a 2007, y en la Gráfica 6 se muestra la

evolución registrada del consumo de energéticos por los modos de transporte en la República Mexicana de 2000 a 2005 (SENER 2007).



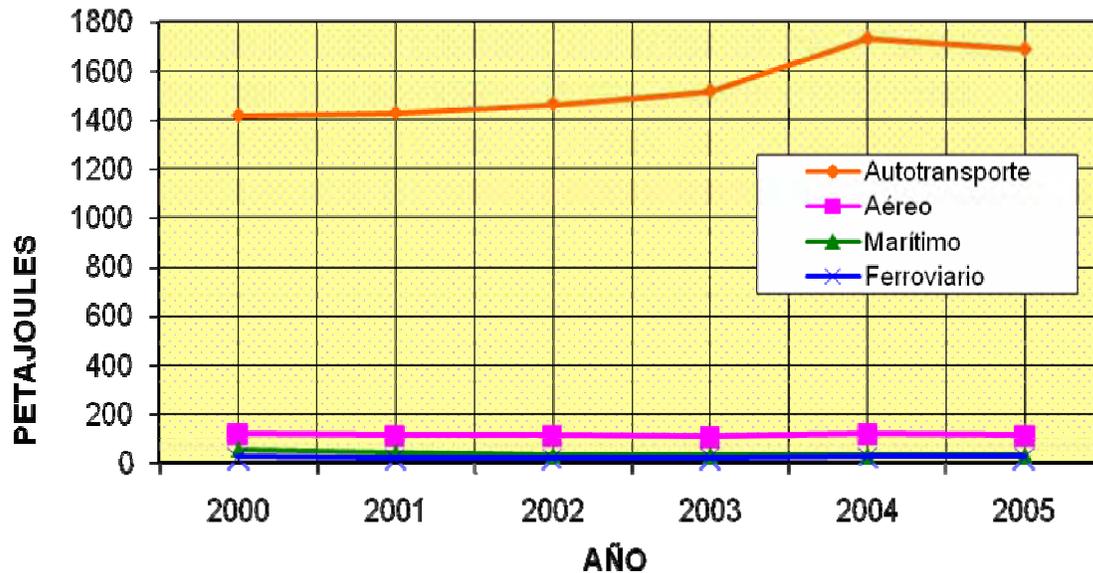
Gráfica 4. Balance de los principales productos petrolíferos (MBD)

Fuente: Pemex, Refinación



Gráfica 5. Consumo total de energía por Sector, en México

Fuente: Elaboración propia con datos de la Secretaría de Planeación Energética y Desarrollo Tecnológico, Balance General de Energía 2007.



Gráfica 6. Demanda de Energía en los Diferentes Modos de Transporte en la República Mexicana

Fuente: Elaboración propia con datos de la Secretaría de Planeación Energética y Desarrollo Tecnológico, Balance General de Energía, 2007.

La tendencia al alza del consumo total de combustibles es semejante a la tendencia exhibida por el modo de transporte por carretera. En 1998, el consumo total de combustibles en el sector ascendió a 1,527.26 PJ, que representa 39.95% del consumo total de energéticos en todo el país; en 1999, la demanda de combustibles por este sector se incrementó en 1.36%, alcanzando los 1,548.04 PJ, lo que equivale a 41.70% del consumo total de energéticos del país. Finalmente, en el año 2000, la demanda de combustibles por el sector del transporte alcanzó 1,614.23 PJ, equivalentes a 42.04% del consumo total de energéticos.

El transporte de carga y el de pasajeros por carretera fueron los consumidores mayoritarios de energéticos, alcanzando en 1999 la cifra de 1357.20 PJ, lo que representó 87.67% del consumo total del sector. Este modo de transporte incrementó su consumo de energéticos durante el 2000 en 4.31% respecto al del año anterior.

En 1999, el transporte aéreo se ubicó como el segundo gran consumidor en importancia con 115.33 PJ, equivalentes a 7.45%; le siguieron el transporte marítimo, ferroviario y el eléctrico con 3.23, 1.41 y 0.24%, respectivamente. Para el año 2000, los consumos de energéticos fueron: 115.94 PJ, 56.31PJ, 22.39 PJ y 3.86 PJ, en el mismo orden.

El dinamismo de la demanda de combustibles para el transporte de personas y mercancías, obedece al aumento en las ventas de vehículos automotores, y en los ingresos per cápita.

3 Análisis de modelos para la estimación de emisiones vehiculares

Para desarrollar una metodología que permitiera estimar emisiones provenientes de la operación vehicular, fue necesario conocer las herramientas y los antecedentes históricos de algunos modelos que se utilizan en México y otros países, tales como el MOBILE y PART5 ampliamente usados en Estados Unidos de América (EEUU), así como la experiencia del uso de ambos modelos en México. Mientras que en Europa es utilizado el COPERT, el cual fue desarrollado por la agencia europea de medio ambiente, y es utilizado ampliamente para la estimación de emisiones y la integración de inventarios.

3.1 Modelo de factor de emisión PART5

El modelo de factor de emisión PART5 de los EEUU, desarrollado por la Agencia para la protección Ambiental (EPA, por sus siglas en inglés), utiliza rutinas codificadas en lenguaje FORTRAN similares a las de MOBILE para estimar los factores de emisión de partículas (PM) y óxidos de azufre (SO_x) de vehículos automotores. Sin embargo, se recomienda que los factores de emisión de SO_x en México no sean estimados con el modelo PART5 por diversas razones, entre las que se incluye la incapacidad del modelo para ajustar el contenido de azufre, de manera tal que refleje las condiciones locales. En su lugar, las emisiones de SO_x deben estimarse mediante balances de combustible.

La última versión del modelo PART5 fue emitida en febrero de 1995. Si bien el modelo PART5 se asemeja al MOBILE en varios aspectos, el primero se encuentra en una etapa de desarrollo más temprana debido a que se han recopilado menos datos sobre la emisión de PM. Esto es, en gran medida, el resultado de que en EEUU los precursores de ozono (GOT, CO y NO_x) han recibido una mayor prioridad que las PM. En consecuencia, algunos de los parámetros que afectan las emisiones de partículas en los vehículos automotores (ejemplo: temperatura, programas de inspección y mantenimiento [I/M], etc.), aún no hayan sido modelados en el PART5. Por otro lado, varios supuestos en este modelo (ejemplo: ciclos de manejo, especificaciones de combustible, sistemas de control de emisiones, tasas de deterioro de los sistemas del motor, etc.), son válidos sólo para EEUU. A menos que las condiciones en México sean similares a estos supuestos, los factores de emisión resultantes no representarán de manera precisa las emisiones de PM de los vehículos mexicanos.

Actualmente, el modelo PART5 no se ha modificado para ser utilizado fuera de EEUU. Se espera que el nivel de esfuerzo necesario para su adaptación para México, sea similar al aplicado en la modificación del MOBILE para las ciudades de México y Monterrey. Se recomienda que el modelo PART5 se emplee sólo hasta que haya sido adaptado al caso de México. Esta no es una solución ideal; sin embargo, el modelo PART5 de EEUU servirá como metodología provisional hasta que se genere la versión específica o adaptada para México.

3.2 Modelo de factor de emisión MOBILE 6

3.2.1 Antecedentes históricos

El modelo MOBILE está formado por un conjunto de rutinas codificadas en lenguaje FORTRAN que generan factores de emisión de hidrocarburos (HC), monóxido de carbono (CO) y óxidos de nitrógeno (NOx), para vehículos alimentados con gasolina y diesel que circulan por carreteras. Los factores de emisión para hidrocarburos pueden ser expresados como hidrocarburos totales (HCT), hidrocarburos no metánicos (HCNM), compuestos orgánicos volátiles (COV), gases orgánicos totales (GOT), o gases orgánicos no metánicos (GONM). Estas categorías se definen en la Tabla 3.1

Tabla 3.1 Definición de hidrocarburos

	Compuestos Incluidos en los Factores de Emisión de Hidrocarburos			
	Hidrocarburos DIF ^a	Metano	Etano	Aldehídos
Hidrocarburos Totales (HCT)	✓	✓	✓	
Hidrocarburos No Metánicos (HCNM)	✓		✓	
Compuestos Orgánicos Volátiles (COV)	✓			✓
Gases Orgánicos Totales (GOT)	✓	✓	✓	✓
Gases Orgánicos No Metánicos (GONM)	✓		✓	✓

^a Los Hidrocarburos FID se refieren a las emisiones de hidrocarburos como son medidas en el detector de ionización de flama (DIF) utilizado en las pruebas de vehículos automotores.

La primera generación del modelo MOBILE fue creada a mediados de los años setentas y, desde entonces, ha tenido numerosas actualizaciones y revisiones para incorporar los cambios de la legislación ambiental y los avances tecnológicos. Estas versiones actualizadas incluyen grandes cantidades de datos de emisiones recientemente recopilados, como parte de un esfuerzo para estimar las emisiones de los vehículos automotores, con mayor precisión.

La versión más reciente del modelo MOBILE (MOBILE6) se emitió a finales del año 2000. El modelo MOBILE y otra información relacionada con los inventarios de emisiones puede obtenerse en la página electrónica de la Agencia para la Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos de América (US EPA por sus siglas en inglés), en Internet, Office of Mobile Sources - OMS (Oficina de Fuentes Móviles): <http://www.epa.gov/oms/models.htm>.

Debido a que el modelo MOBILE se basa en pruebas de emisión realizadas a vehículos estadounidenses, es probable que su uso directo en regiones fuera de Estados Unidos (EEUU), genere resultados inciertos. Con objeto de tomar en cuenta las posibles diferencias en el parque vehicular y los hábitos para conducir en México, el modelo MOBILE ha sido modificado para las áreas metropolitanas de las ciudades de México, Monterrey, y Ciudad Juárez.

Los modelos modificados para la Ciudad de México (MOBILE-MCMA) y Monterrey (MOBILE-MMAp) emplean una matriz de equivalencia para la tecnología de control que identifica los factores de emisión básicos de MOBILE para los vehículos del parque vehicular mexicano con base en la edad del vehículo y sus controles de emisión. La matriz de equivalencia de tecnología para los factores de emisión del escape y evaporativos, donde puede observarse que un vehículo mexicano ligero a gasolina (LDGV) de 1994, sería equivalente a un LDGV estadounidense de 1988.

En algunos casos, un determinado modelo y año mexicano podría ser equivalente a un modelo y año estadounidense para la tecnología de control del escape, y otro para la tecnología de control de evaporaciones. Por ejemplo, un LDGV mexicano de 1990 sería equivalente a un LDGV estadounidense de 1980 para las emisiones del escape, y a uno de 1977 para las evaporativas (Tabla 3.2)

3.2.2 Descripción del modelo

En el modelo MOBILE, la meta final consiste en calcular un factor de emisión promedio para cada tipo de vehículo, estimando al mismo tiempos los factores de emisión para hidrocarburos, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, compuestos orgánicos totales, material particulado y SO₂, seis contaminantes tóxicos (HAP's), y dióxido de carbono (CO₂); todo esto para 28 categorías vehiculares (Tabla 3.3).

La descripción teórica del MOBILE6 en esta sección se obtuvo de las memorias del curso "Uso del MOBILE6_México", y del Manual de programa de inventarios de emisiones de México, Vol. VI - Desarrollo de inventarios de misiones de vehículos automotores, elaborado por Radian International para el Instituto Nacional de Ecología (INE).

Tabla 3.2 Matriz de equivalencia de la tecnología de control de emisiones típica

Año Modelo Mexi- cano	Modelo Año Equivalente Estadounidense (Escape)								Modelo Año Equivalente Estadounidense (Evaporativo)							
	LDGV	LDGT1	LDGT2	HDCV	LDDV	LDDT	HDDV	MC	LDGV	LDGT1	LDGT2	HDCV	LDDV	LDDT	HDDV	MC
1971	1968	1968	1968	1968	1968	1968	1968	1971	1968	1968	1968	1968	1968	1968	1968	1968
1972	1968	1968	1968	1968	1968	1968	1968	1972	1968	1968	1968	1968	1968	1968	1968	1968
1973	1971	1971	1971	1971	1971	1971	1971	1971	1971	1971	1971	1971	1971	1971	1971	1971
1974	1971	1971	1971	1971	1971	1971	1971	1971	1971	1971	1971	1971	1971	1971	1971	1971
1975	1971	1971	1971	1971	1971	1971	1971	1971	1971	1971	1971	1971	1971	1971	1971	1971
1976	1971	1971	1971	1971	1971	1971	1971	1971	1971	1971	1971	1971	1971	1971	1971	1971
1977	1971	1971	1971	1971	1971	1971	1971	1971	1971	1971	1971	1971	1971	1971	1971	1971
1978	1971	1971	1971	1971	1971	1971	1971	1971	1971	1971	1971	1971	1971	1971	1971	1971
1979	1971	1971	1971	1971	1971	1971	1971	1971	1971	1971	1971	1971	1971	1971	1971	1971
1980	1971	1971	1971	1971	1971	1971	1971	1971	1972	1972	1972	1972	1972	1972	1972	1972
1981	1972	1972	1972	1972	1972	1972	1972	1972	1972	1972	1972	1972	1972	1972	1972	1972
1982	1972	1972	1972	1972	1972	1972	1972	1972	1972	1972	1972	1972	1972	1972	1972	1972
1983	1972	1972	1972	1972	1972	1972	1972	1972	1972	1972	1972	1972	1972	1972	1972	1972
1984	1972	1972	1972	1972	1972	1972	1972	1972	1972	1972	1972	1972	1972	1972	1972	1972
1985	1972	1972	1972	1972	1972	1972	1972	1972	1972	1972	1972	1972	1972	1972	1972	1972
1986	1972	1972	1972	1972	1972	1972	1972	1972	1972	1972	1972	1972	1972	1972	1972	1972
1987	1972	1972	1972	1972	1972	1972	1972	1972	1972	1972	1972	1972	1972	1972	1972	1972
1988	1975	1974	1974	1974	1974	1974	1974	1974	1975	1975	1975	1975	1975	1975	1975	1975
1989	1975	1974	1974	1974	1974	1974	1974	1974	1975	1975	1975	1975	1975	1975	1975	1975
1990	1980	1974	1974	1974	1974	1974	1974	1974	1977	1977	1977	1977	1977	1977	1977	1977
1991	1980	1974	1974	1974	1974	1974	1974	1974	1977	1977	1977	1977	1977	1977	1977	1977
1992	1981	1974	1974	1974	1974	1974	1974	1974	1980	1980	1980	1980	1980	1980	1980	1980
1993	1988	1977	1977	1977	1977	1977	1977	1977	1981	1981	1981	1981	1981	1981	1981	1981
1994	1988	1981	1981	1981	1981	1981	1981	1981	1988	1988	1988	1988	1988	1988	1988	1988
1995	1989	1981	1981	1981	1981	1981	1981	1981	1988	1988	1988	1988	1988	1988	1988	1988
1996	1990	1981	1981	1981	1981	1981	1981	1981	1988	1988	1988	1988	1988	1988	1988	1988
1997	1990	1981	1981	1981	1981	1981	1981	1981	1990	1990	1990	1990	1990	1990	1990	1990
1998	1994	1985	1985	1985	1985	1985	1985	1985	1990	1990	1990	1990	1990	1990	1990	1990
1999	1995	1985	1985	1985	1985	1985	1985	1985	1990	1990	1990	1990	1990	1990	1990	1990
2000	1996	1985	1985	1985	1985	1985	1985	1985	1990	1990	1990	1990	1990	1990	1990	1990
2001	1997	1993	1993	1990	1993	1993	1990	1993	1990	1990	1990	1990	1990	1990	1990	1990

LDGV = vehículo ligero a gasolina
 LDGT1 = camión ligero a gasolina (<2,727 kg)
 LDGT2 = camión ligero a gasolina (2,727 - 3,857 kg)
 HDCV = Camión pesado a gasolina (>3,857 kg)
 LDDV = Vehículo ligero a diesel
 LDDT = Camión ligero a diesel (<3,857 kg)
 HDDV = Vehículo pesado a diesel (>3,857 kg)
 MC = Motocicleta

Fuente: Radian International, 1997, "Manuales del programa de inventarios de emisiones de México, Cap. IV, Desarrollo de inventarios de emisiones de vehículos automotores", INE

La clasificación de la Tabla 3.3 proporciona información considerablemente detallada sobre el registro de las emisiones para las 28 clases vehiculares, pero esto puede representar grandes retos para el manejo de datos. Por tanto, el INE decidió agregar los resultados de las emisiones de vehículos en las siguientes siete clases que se esquematizan en la Figura 2.

Tabla 3.3 Categorías del MOBILE6

No.	Abreviación	Descripción
1	LDGV	Vehículos ligeros a gasolina (autos de pasajeros)
2	LDGT1	Camiones ligeros a gasolina 1 (PBV de 0 a 2,722 kg; PP de 0 a 1,701 kg)
3	LDGT2	Camiones ligeros a gasolina 2 (PBV de 0 a 2,722 kg; PP > 1,701 a 2,608 kg)
4	LDGT3	Camiones ligeros a gasolina 3 (PBV > 2,722 a 3,856 kg; PPA de 0 a 2,608 kg)
5	LDGT4	Camiones ligeros a gasolina 4 (PBV > 2,722 a 3,856 kg; PPA de 2,609 kg y mayores)
6	HDGV2B	Vehículos pesados a gasolina clase 2b (PBV > 3,856 a 4,536 kg)
7	HDGV3	Vehículos pesados a gasolina clase 3 (PBV > 4,536 a 6,350 kg)
8	HDGV4	Vehículos pesados a gasolina clase 4 (PBV > 6,350 a 7,258 kg)
9	HDGV5	Vehículos pesados a gasolina clase 5 (PBV > 7,258 a 8,845 kg)
10	HDGV6	Vehículos pesados a gasolina clase 6 (PBV > 8,845 a 11,794 kg)
11	HDGV7	Vehículos pesados a gasolina clase 7 (PBV > 11,794 a 14,969 kg)
12	HdV8A	Vehículos pesados a gasolina clase 8a (PBV > 14,969 a 27,216 kg)
13	HdV8B	Vehículos pesados a gasolina clase 8b (PBV > 27,216 kg)
14	LDDV	Vehículos ligeros diesel (autos de pasajeros)
15	LDDT12	Camiones ligeros a diesel 1 y 2 (PBV de 0 a 2,722 kg)
16	HDDV2B	Vehículos pesados a diesel clase 2b (PBV de 3,856 a 4,536 kg)
17	HDDV3	Vehículos pesados a diesel clase 3 (PBV > 4,536 a 6,350 kg)
18	HDDV4	Vehículos pesados a diesel clase 4 (PBV > 6,350 a 7,258 kg)
19	HDDV5	Vehículos pesados a diesel clase 5 (PBV > 7,258 a 8,845 kg)
20	HDDV6	Vehículos pesados a diesel clase 6 (PBV > 8,845 a 11,794 kg)
21	HDDV7	Vehículos pesados a diesel clase 7 (PBV > 11,794 a 14,969 kg)
22	HDDV8A	Vehículos pesados a diesel clase 8a (PBV > 14,969 a 27,216 kg)
23	HDDV8B	Vehículos pesados a diesel clase 8b (PBV > 27,216 kg)
24	MC	Motocicletas (a gasolina)
25	HDGB	Autobuses a gasolina (escolar y transporte urbano e inter urbano)
26	HDDBT	Autobuses de transporte urbano e inter-urbano a diesel
27	HDDBS	Autobuses escolares a diesel
28	LDDT34	Camiones ligeros a diesel 3 y 4 (PBV > 2,722 a 3856 kg)

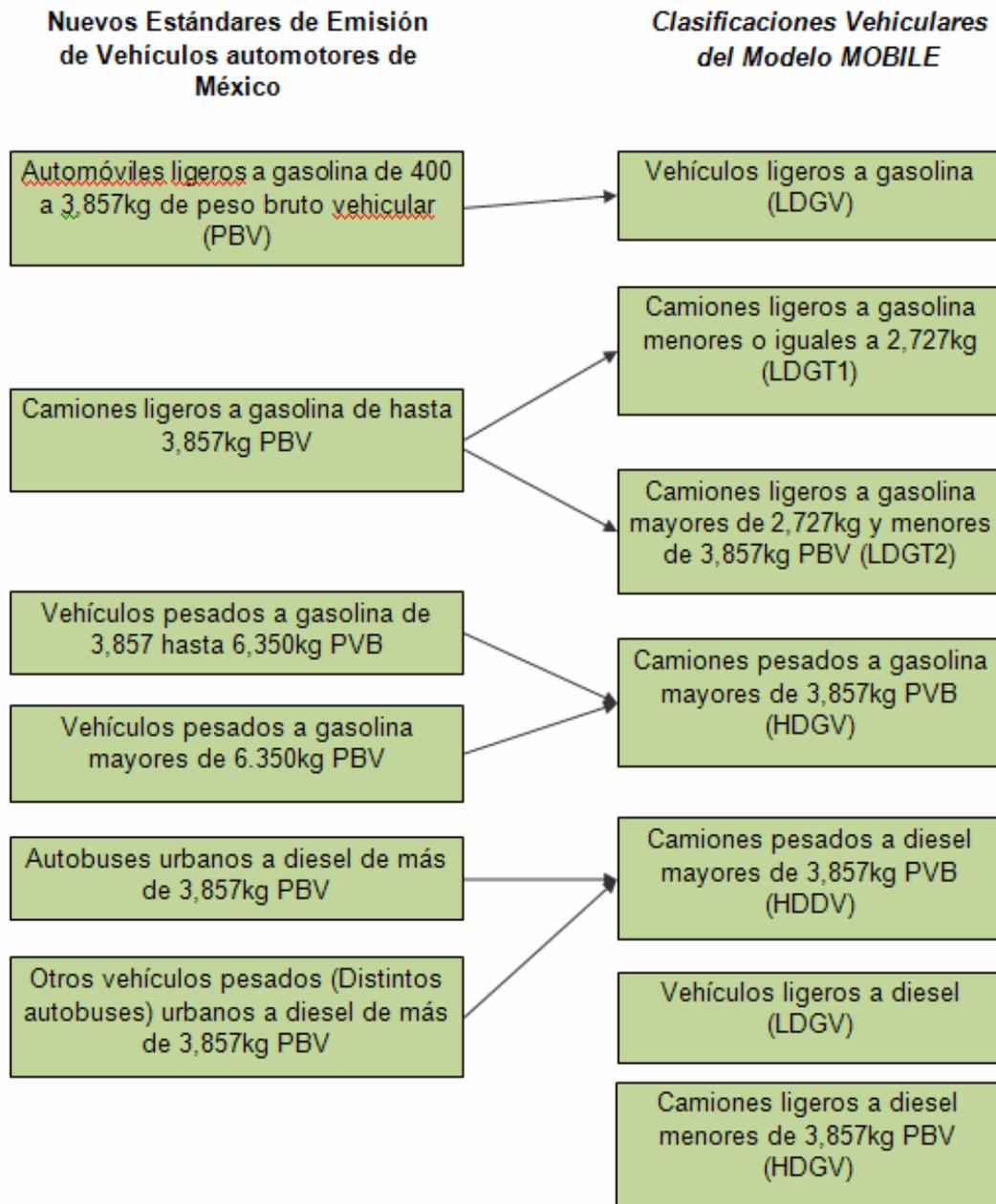


Figura. 2 Correspondencia de los nuevos estándares de emisión de México con las clases vehiculares del modelo MOBILE

Fuente: Radian International, 1997, "Manuales del programa de inventarios de emisiones de México, Cap. IV, Desarrollo de inventarios de emisiones de vehículos automotores", INE

El modelo genera dos tipos de factores de emisión:

- a) Factor de emisión desagregado por año modelo y categoría de vehículo. Se calculan factores de emisión para cada año modelo vehículos de pasajeros desde 2005, 2004, 2003, etc.; para camiones ligeros clase 1, desde el año 2005, 2004, 2003, etc.
- b) Factor de emisión global, el cual incluye todos los años modelo de cada categoría vehicular. Los factores de emisión se presentan por categoría vehicular, sin desagregarlos por año-modelo; para ello el modelo hace una ponderación que toma en cuenta la combinación de la distribución vehicular por año modelo, y el kilometraje acumulado para cada año-modelo

3.2.2.1 Ajuste de las emisiones base

El MOBILE estima primeramente las ecuaciones de tasas básicas de emisión promedio (TBEs) para cada tipo de vehículo, modelo y año; es el primer paso para estimar los factores de emisión de vehículos automotores; estas ecuaciones teóricas básicas utilizadas no son visibles para el usuario real del modelo de factores de emisión; sin embargo, tanto éstas como los factores de emisión resultantes serán influenciados por los diversos parámetros de entrada del modelo.

El fundamento principal de las TBE's es que son datos sobre las emisiones de vehículos en uso, obtenidos en condiciones de prueba normalizadas (ejemplo: temperatura, características del combustible y ciclos de manejo normalizados). Ahora bien, las emisiones varían con la edad del vehículo, de manera que es posible aplicar regresiones lineales que relacionan los datos de las emisiones con las lecturas del odómetro. Estas regresiones dan como resultado ecuaciones TBE's que incorporan una tasa de emisión de cero millas (la intersección "Y" de la regresión), y una tasa de deterioro (pendiente). La primera representa las emisiones de un vehículo nuevo; mientras que la segunda describe la manera en que las emisiones se incrementan con el kilometraje (millaje) del vehículo (Figura 3).

A cada tipo de vehículo se le ha asignado una TBE por cada 25 años de antigüedad, con base en la acumulación de kilometraje (millaje) para cada modelo y año vehicular.

Las tasas básicas de emisión no corresponden exactamente con las emisiones reales de un vehículo; dado que más bien representan las emisiones medidas en condiciones de prueba sumamente controladas. Para reconciliar las diferencias que existen entre las emisiones de prueba y las reales, se deben aplicar diversos factores de ajuste a las emisiones reales.

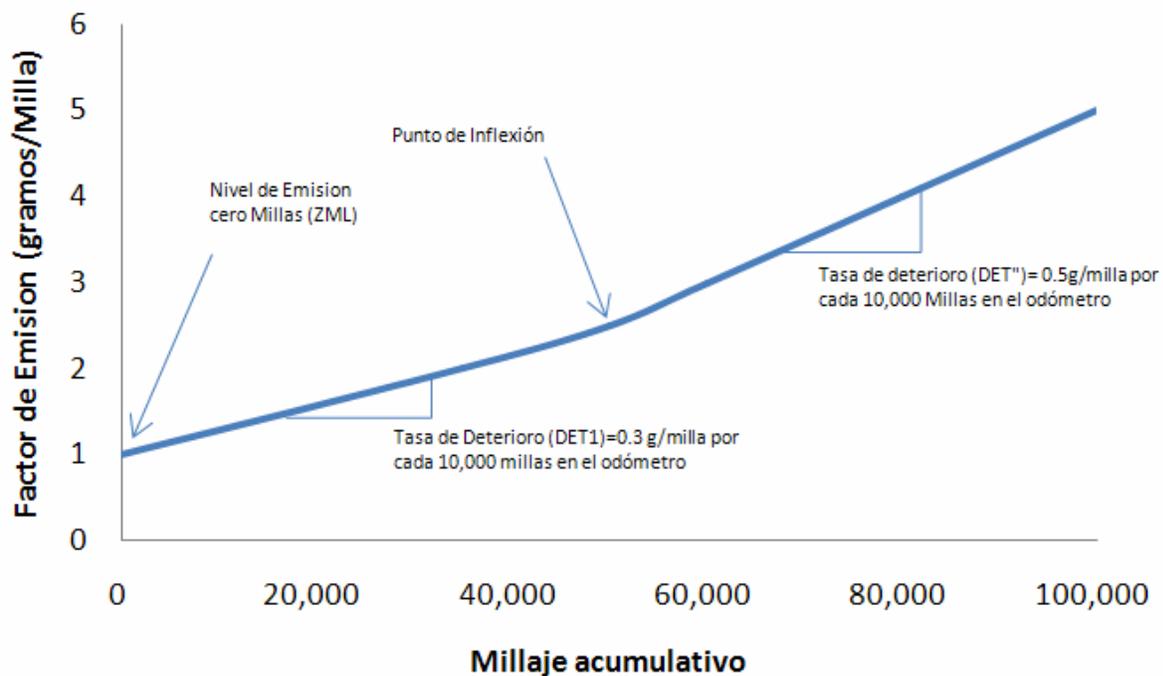


Figura. 3 Tasas de emisión básicas hipotéticas (BERs)

Fuente: Radian International, 1997, "Manuales del programa de inventarios de emisiones de México, Cap. IV, Desarrollo de inventarios de emisiones de vehículos automotores", INE

El MOBILE 6 cuenta con datos de emisiones base obtenidos a partir de pruebas controladas (temperatura, humedad, combustible) FTP 75; el modelo asume factores de deterioro con respecto al tiempo. El Mobile 6 realiza diversos ajustes a las emisiones base con respecto a condiciones propias de una localidad en específico; los factores de corrección, se basan en los siguientes aspectos:

- Velocidad promedio, por tipo de vialidad
- Temperatura
- Aire acondicionado
- Humedad
- Características de la gasolina (volatilidad, contenido de oxigenantes, detergentes, azufre, etc.)
- Emisiones de CO en frío
- Ciclo de prueba federal complementario

- Alteraciones en los sistemas de control de emisiones
- Vehículos altamente contaminantes
- Programas de inspección y mantenimiento
- Programas anti-alteraciones
- Programas de recuperación de vapores (fase 2)
- Sistemas de diagnóstico a bordo

3.2.2.2 Datos de entrada

Los datos requeridos por el modelo se agrupan en dos bloques:

- 1) Condiciones locales: altitud, humedad, temperatura, estación del año, características de los combustibles, programas de inspección y mantenimiento, y año en que se realiza la modelación.
- 2) Flota vehicular, año-modelo, categoría vehicular, tipo de combustible utilizado por categoría vehicular, actividad vehicular (kilometraje anual acumulado por categoría, y año modelo del vehículo desagregado por tipo de vialidad, tiempos de reposo, etc.), y tipo de tecnología vehicular (referido a los estándares de emisión).

MOBILE 6 incluye valores por defecto; sin embargo, éstos pueden ser sustituidos por información más específica que refleje las condiciones del sitio en estudio.

Dentro de las condiciones locales se tienen las siguientes:

Año calendario

Este parámetro indica el año para el cual se obtendrán los factores de emisión. MOBILE 6 calcula factores de emisión para los años calendario 1950 a 2050, con una antigüedad de hasta 24 años, siendo compatible con los inventarios de emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México.

Temperatura

El modelo requiere de los datos de temperatura mínima y máxima para realizar el cálculo de los factores de emisión. Estas temperaturas son ingresadas en grados Fahrenheit en un rango de 0 a 100 °F (-18 a 38 °C) para la temperatura mínima; y de 10 a 120 °F (-12 a 49) para la máxima. Con estos valores, MOBILE 6 crea un patrón típico diurno de temperatura, donde la temperatura mínima ocurre a las 6 am, y la máxima a las 3 pm.

De manera adicional se pueden ingresar los datos de temperatura horaria.

Altitud (media o baja)

Esta variable le indica al modelo si calculará factores de emisión para una región de alta o baja altitud. Los factores de emisión para altitudes bajas se basan en condiciones que son representativas de una altura media sobre el nivel del mar de aproximadamente 500 pies (152 m); en tanto que, los factores para altitudes altas se basan en condiciones que son representativas de un altura promedio sobre el nivel del mar de aproximadamente 5,500 pies (1676 m).

Tecnologías vehiculares

A través de la modificación del archivo P94imp.d se definen los años de entrada de los diferentes estándares tecnológicos mexicanos aplicables para vehículos nuevos, mismos que tienen cierta compatibilidad con los estadounidenses (tier 0, tier 1, y tier 2).

3.2.2.3 Ingreso de datos al modelo

Los datos de entrada o insumos se introducen en el modelo a partir de un archivo de texto, el cual se genera a través del block de notas de Windows, o bien a través de un procesador de texto. El nombre del archivo debe contar con un máximo de ocho caracteres, y una terminación .IN, para que el programa pueda reconocerlo.

El archivo de entrada está compuesto por tres secciones (Figura 4):

HEADER

En ella se definen el tipo de factores de emisión a modelar; el formato de salida de la información generada; y los tipos de vehículos del que se obtendrán los factores de emisión.

RUN DATA

En esta sección se indican los archivos particulares para cada localidad en específico; por ejemplo, los archivos sobre los años en que ingresan los estándares vehiculares, flota vehicular (distribución de los kilómetros acumulados), temperaturas, programas de bajas emisiones, etc.

SCENARIO RECORD

En esta sección se define el año a modelar, el contenido de azufre en los combustibles, velocidades promedio por tipo de vialidad, y estación del año, entre otros.

```

MOBILE6 INPUT FILE :

> Header section

*          1          2          3          4          5          6          7          8
*234567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890123456789
* Up to 150 columns can be included

POLLUTANTS      : HC CO NOx
AIR TOXICS      : BENZ ACET
*PARTICULATES   : GASPM
REPORT FILE     : C:\m6_mex\corridas\esc04c.TXT
DATABASE OUTPUT :
WITH FIELDNAMES :
DATABASE EMISSIONS : 2111 1111
DAILY OUTPUT    :
*                12345 67890123 4 567 89012345 678
DATABASE VEHICLES : 21111 11111111 1 111 11111111 111

RUN DATA

> Run section

*NO TIER2       :
*1981-93 LDG EFS : Mex_8193_EFS.dat
94+ LDG IMP     : P94imp.d
*T2 EXH PHASE-IN : t2exht.d
EXPRESS HC AS THC :
MIN/MAX TEMP    : 52. 81.
FUEL RVP        : 7.1
*REG DIST       : C:\mobile\files_m\FLOTA.D

SCENARIO RECORD : ONLY PASSENGERS VEHICLES

> Scenario section

CALENDAR YEAR   : 2004
*PARTICLE SIZE  : 10.0
ALTITUDE        : 2
*SULFUR CONTENT : 80
SEASON          : 1
AVERAGE SPEED  : 22.4 areawide 6.0 58.0 35.0 1.0
FUEL PROGRAM    : 4
300.0 300.0 300.0 300.0 300.0 300.0 300.0 300.0
300.0 300.0 300.0 300.0 300.0 300.0 300.0 300.0
500.0 500.0 500.0 500.0 500.0 500.0 500.0 500.0
500.0 500.0 500.0 500.0 500.0 500.0 500.0 500.0

END OF RUN

```

Figura. 4 Ejemplo de archivo de entrada al modelo

Existen algunas características que pueden ingresarse ya sea en la sección RUN DATA o SCENARIO RECORD; esto depende del diseño que se requiera para el modelado, ya que el archivo puede contener más de una sección SCENARIO, por ejemplo, es factible realizar el modelado con diferentes datos de velocidad.

El MOBILE cuenta con un programa ejecutable desde Windows; una vez que se ejecuta, aparece una ventana en MS-DOS, a la cual se le ingresa la dirección y nombre del archivo de entrada; el programa realiza su cálculo, y se genera una

base de datos en formato de texto delimitado por tabulaciones, misma que puede abrirse con Excel para su análisis.

3.2.2.4 Cálculo de factores de emisión

Para la generación de factores de emisión para el MOBILE se parte de dos archivos de entrada; la diferencia entre ellos radica principalmente en que uno de ellos aplica para vehículos de transporte público de pasajeros, y el otro para el resto de la flota; cabe señalar que estas diferencias obedecen a que los vehículos de transporte público de pasajeros tienen diferentes tipos de actividad; es decir, como ejemplo en los vehículos de pasajeros recorren en promedio 36 km al día; en tanto que los taxis recorren 200 km, repercutiendo de manera directa en el deterioro de los vehículos, los archivos que se ven afectados en el modelo, son los correspondientes a la acumulación de millas y distribución de la flota vehicular.

Si no se realizaran estas adecuaciones al modelo, se estarían subestimando las emisiones provenientes de taxis, ya que de acuerdo con su categoría, los factores a usar serían los de vehículos de pasajeros.

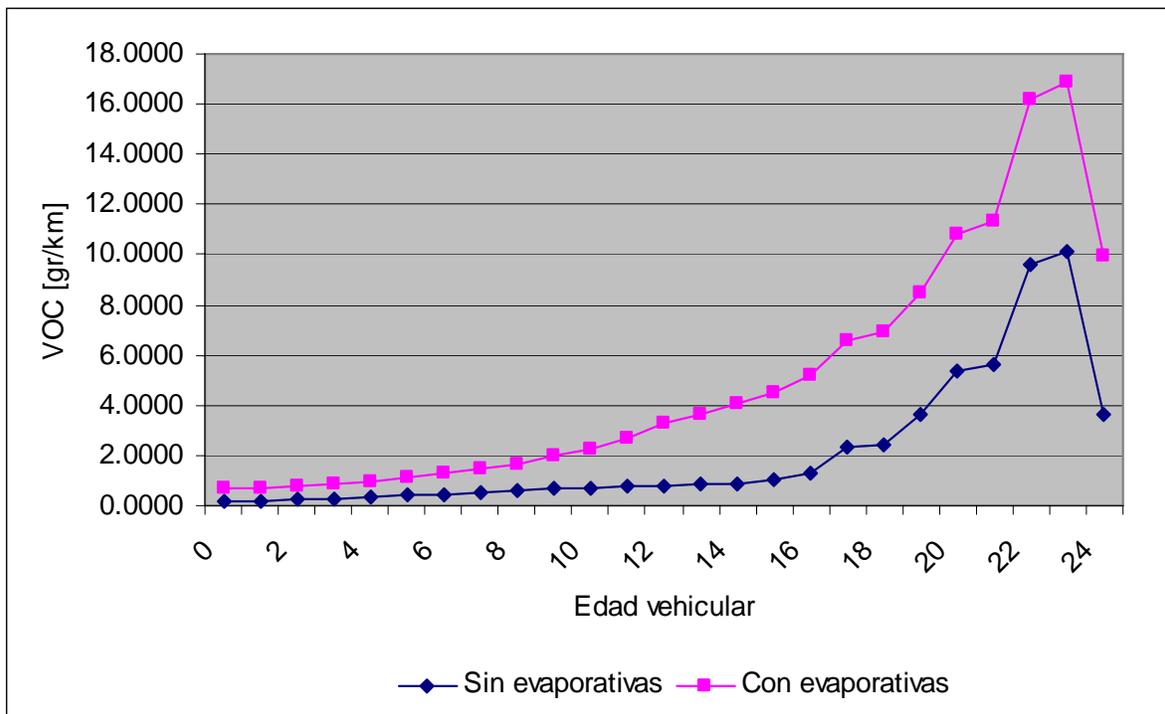
En los dos archivos de entrada se incluyen los aspectos relacionados con las emisiones evaporativas, derivadas de la propia actividad del vehículo; estos aspectos influyen de manera directa en la emisión de hidrocarburos, la Tabla 3.4 presenta los factores de emisión de los compuestos orgánicos volátiles sin considerar las emisiones evaporativas y considerándolas; el ejemplo corresponde de vehículos de pasajeros.

Tabla 3.4 Factores de emisión en g/km, en vehículos de pasajeros

Edad vehicular	Sin evaporativas	Con evaporativas
0	0.1634	0.6613
1	0.1931	0.7076
2	0.2268	0.7667
3	0.2628	0.8388
4	0.3326	0.9602
5	0.4007	1.0995
6	0.4691	1.2640
7	0.5334	1.4579
8	0.5938	1.6866
9	0.6548	1.9571
10	0.7094	2.2608
11	0.7651	2.6442
12	0.7981	3.2772
13	0.8298	3.6418
14	0.8676	4.0281
15	1.0158	4.5132
16	1.3362	5.1503
17	2.3378	6.5534

18	2.4295	6.9093
19	3.6165	8.4570
20	5.3740	10.8029
21	5.5895	11.3095
22	9.6044	16.1452
23	10.1629	16.9157
24	3.6316	9.9473

En la Gráfica 7 se aprecia el comportamiento de las emisiones evaporativas, ya que al no considerarlas se subestima la emisión de los hidrocarburos en los vehículos.

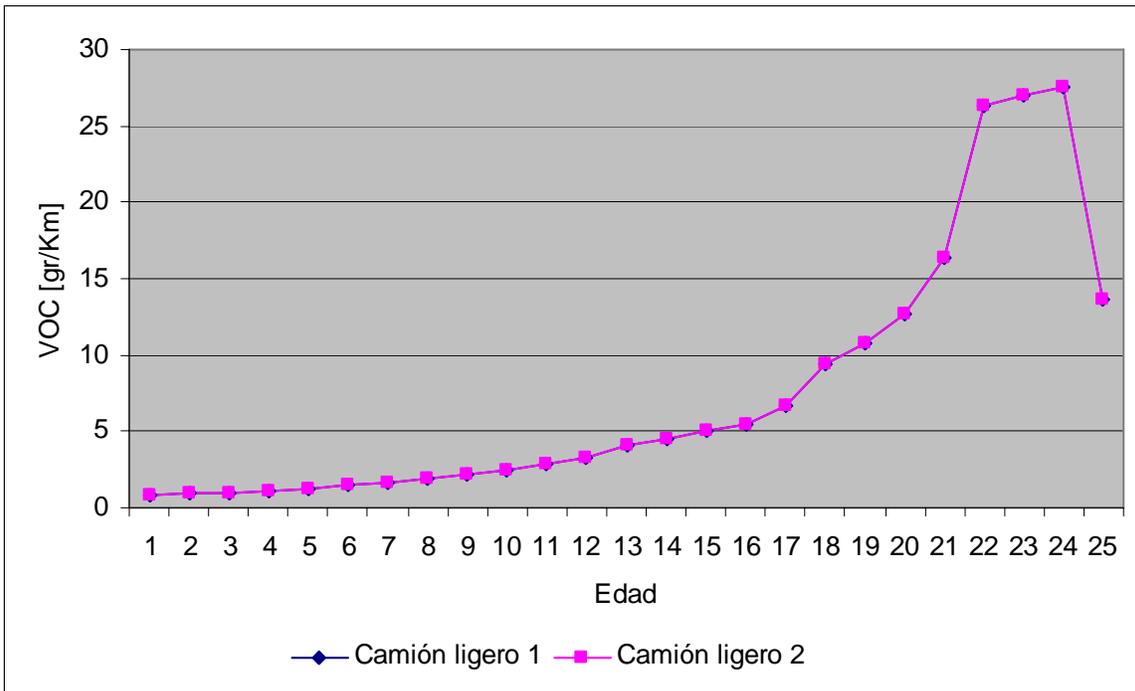


Gráfica 7. Comportamiento de las emisiones de los hidrocarburos sin considerar las emisiones evaporativas, y considerando evaporativas.

Fuente: Curso Uso del MOBILE6_México, impartido por J. Andrés Aguilar Gómez en el Instituto Nacional de Ecología (INE), el día 27 de febrero de 2009, México, DF

Algo que es relevante son los factores de emisión calculados para vehículos con una antigüedad de 24 años; es que estos tienden a ser menores; por ello se recomienda no utilizar estos datos, ya que conducen a una imprecisión en el cálculo de emisiones.

Otro aspecto importante y que resulta un tanto problemático de identificar en la caracterización de la flota vehicular, es el de las camionetas pick up, ya que en función de su peso bruto vehicular pueden clasificarse como camiones ligeros clase uno o dos; ahora bien, si no se dispone de la cantidad de cada una de estas categorías, en teoría se presentaría un problema en el modelado; no obstante al generar los factores de emisión para cada una de estas categorías, los valores obtenidos son exactamente los mismos (Gráfica 8), es decir, no hay un cambio sensible; por tanto, se pueden tomar indistintamente como camiones ligeros, clase uno o dos.



Gráfica 8. Modelado de los factores de emisión de camiones ligeros, clase uno y dos

Fuente: Curso Uso del MOBILE6_México, impartido por J. Andrés Aguilar Gómez en el Instituto Nacional de Ecología (INE), el día 27 de febrero de 2009, México, DF

Con relación a las categorías comercializadas en México se tienen las de los camiones ligeros clase 1, 2, 3 y 4; respecto a la categoría de vehículos pesados, únicamente se cuentan con las de los autobuses, no quedando definidas las de tractocamiones, camiones de rango medio, etc.

3.3 Modelo de emisiones del COPERT 4

COPERT 4 es una herramienta desarrollada para calcular emisiones al aire debidas al sector del transporte terrestre. La Agencia Europea del Ambiente (EEA, por sus siglas en inglés), como parte de las actividades del Centro Europeo de Temas sobre el Aire y el Cambio Climático, es la que desarrolla la tecnología que soporta a este programa. En un principio, el programa COPERT se creó con el fin de elaborar los Inventarios Nacionales para la estimación de las emisiones debidas al transporte, bajo el uso de expertos. Sin embargo, está libre y disponible para ser utilizado en cualquier otra área.

La versión de COPERT 4 tiene como antecesor la versión III; ambas contienen una interface con el usuario con la compilación de datos, como inventarios de emisiones anuales nacionales de varios años y países europeos. Lo nuevo en la versión 4, es la posibilidad de trabajar con más de un escenario en un mismo proyecto, además de poder adaptar las características del parque vehicular a tecnologías regionales o locales.

El uso de herramientas como el COPERT para el cálculo de emisiones en el transporte terrestre (específicamente por carretera), es aceptado y recomendado en convenios y protocolos internacionales, así como por la legislación de la Unión Europea.

Las emisiones que este programa puede estimar son monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NOx), compuestos orgánicos volátiles (COV), partículas suspendidas (PM, por sus siglas en inglés), óxido nitroso (N₂O), amoníaco (NH₃), dióxido de azufre (SO₂), y algunos compuestos específicos de orgánicos volátiles. También pueden calcularse consumos energéticos, como el gasto de combustible. Además, cuenta con nuevas opciones para la estimación de parámetros ambientales y características de los vehículos, como son las emisiones en caliente, y vehículos híbridos con mezcla de combustibles, entre otros.

3.3.1 Cálculo de emisiones

El programa maneja factores de cálculo para realizar las estimaciones de emisiones, entre los que se encuentran la degradación por recorrido (millaje), este es un factor dado, de acuerdo con la edad del vehículo (o millas recorridas).

Los factores de degradación se obtienen de la base de datos de EURO I y se aplica sólo en emisiones en caliente para vehículos de trabajo ligeros y de pasajeros. Este factor se selecciona de acuerdo con el contaminante, o por sectores en los listados correspondientes de la base de datos contenida en el programa.

También considera en el cálculo, los efectos del combustible; tiene tres tipos de mezclas de combustibles en la base de datos (base, estado 2000 y estado 2005); las mezclas están basadas al promedio de las mezclas en el mercado para Europa en el año de 1996, 2000 y 2005 respectivamente. La elección de una mezcla de combustible diferente a la convencional (base del 1996), se verá reflejada de una forma positiva en el desempeño y operación de los vehículos, independientemente de que se trate de modelos antes del 2000.

3.3.1.1 Emisiones en caliente

Genera factores de emisión en caliente en tres diferentes modos de tránsito: urbano, rural y en autopista. Los factores de emisión en caliente son las emisiones vehiculares que tienen el motor y sus componentes exhaustivos, cuando han alcanzado su temperatura nominal de operación. Hace una consideración del consumo del combustible utilizado estabilizar la temperatura del motor (FC).

3.3.1.2 Emisiones en frío

De igual manera, genera las emisiones en frío del motor son dependientes y por la tanto, estimadas con base en la estación del año. Estas emisiones se atribuyen únicamente al tránsito urbano, ya que se supone que estos recorridos que inician en las áreas urbanas son en donde se hace el encendido del motor en frío.

3.3.1.3 Factores de evaporación

Los factores por emisión de vapores por el motor estiman la cantidad de combustible evaporado por otras fuentes, que no son del escape; sólo se da en vehículos a gasolina, y dependen en gran medida de la tecnología del vehículo.

3.3.1.4 Emisiones totales

Además de los factores de emisión de frío, caliente, y evaporaciones; en las emisiones totales se incluye la emisión de partículas PM2.5 y PM10, así como las de los principales gases y contaminantes, teniendo en toneladas a los principales contaminantes gaseosos, y en kilogramos las concentraciones de metales pesados.

3.3.1.5 Balance de combustible

El control del consumo de combustible se puede llevar a cabo a través del balance de combustible. La desviación entre la comparación del consumo estático de combustible y del consumo total determinado, no debe exceder el porcentaje considerado como significativo. Ambos son estimados por el programa con base en las características de la tecnología determinada para los vehículos que conforman la flota.

3.3.1.6 COV no metano y metales pesados

Los compuestos orgánicos no volátiles que no son metano (NMVOC) son originados por las emisiones evaporativas y exhaustivas de los motores de los vehículos. Entre estos compuestos, podemos ubicar a los aromáticos, a los hidrocarburos ligeros y pesados, incluyendo furanos y dioxinas.

3.3.2 Información de entrada

El programa requiere de ciertos datos base para crear proyectos con diferentes escenarios que pueden ser planteados por el usuario, para tener las características de flota, combustible y condiciones ambientales más cercanas a las reales, o planteamientos para condiciones completamente distintas. Varios de estos datos se pueden encontrar en la base de datos integrada en el programa, y seleccionarse conforme a las especificaciones de escenario o proyecto que se desee plantear.

Los parámetros necesarios son las características del país con respecto a la composición del combustible, porcentajes de azufre, legislación (europea) a la que se sujeta, temperaturas promedio mensuales (mínimas y máximas.) para las estimaciones de evaporaciones en frío y caliente. Características del parque vehicular, el cual se puede definir por sectores en vehículos para pasajeros, en de trabajo ligero, camiones pesados, autobuses, motonetas y motocicletas; los cuales pueden a su vez clasificarse por año/flota; y seleccionar o dar especificaciones dentro de cada sector. Existen las variables de kilometraje, edad y desgaste para detallar los factores de emisión.

La selección del tipo de tránsito puede ser seleccionada conforme al trayecto de la flota, así como determinar la longitud de cada trayecto en los diferentes tránsitos. Se puede componer en porcentaje para rural, urbano o autopista, tomando valores base de velocidades, o especificando la velocidad promedio de tránsito entre cada trayecto.

3.3.3 Tipo de reportes

Los reportes generados para el proyecto o escenario, se muestran de acuerdo con las especificaciones y estimaciones planteadas por contaminante. Se puede hacer el replanteo de parámetros o especificaciones, sin iniciar un nuevo proyecto. La opción de recálculo está para cada uno de los factores en las modificaciones que se pudieran llevar a cabo.

Los resultados se obtienen para cada contaminante (CO, VOC, NMVOC, CH₄, NO_x, NO, NO₂, N₂O, NH₃, PM_{2.5}, PM₁₀, CO₂, SO₂, Pb, Cd, Cu, Cr, Ni, Se y Zn), por cada uno de los sectores (vehículo de pasajeros, camiones pesados, ligeros, motonetas, motocicletas), y para los modos de tránsito (rural, urbano o en autopista). De acuerdo con los parámetros establecidos para el o los proyectos, éstos reportes pueden ser generados para años en específico.

4 Metodología para estimación de emisiones vehiculares

La metodología propuesta para la estimación de ciudades utiliza el software MOBILE 6, debido principalmente a la experiencia del uso en México y por contar con adaptaciones previas sobre las características de la flota vehicular mexicana.

Para ello fue necesario definir los elementos necesarios para alimentar el modelo, y puntualizar los estudios necesarios para completar la metodología para la estimación de emisiones en ciudades.

Primeramente, se deben definir las condiciones particulares de la ciudad, tales como: las condiciones ambientales, de temperatura, altitud, etc.; la caracterización de la flota vehicular de la ciudad de estudio; es decir, modelos de vehículos, edad de la flota, la categoría; otros elementos son la actividad vehicular, como el kilometraje, el consumo de combustible, velocidad de operación. Dependiendo de la precisión del estudio se puede incluir también la red vial, y utilizar modelos de transporte para estimar longitudes de viajes urbanos.

Con esta información se puede alimentar el MOBILE 6, y con ello obtener los factores de emisión por tipo de vehículo, según la precisión que se desee.

Con dichos factores y la cantidad de kilómetros que recorre un vehículo de acuerdo con su actividad, se estima la cantidad de emisiones vehiculares generadas en las ciudades de acuerdo a los diferentes tipos de vehículos, y los diversos contaminantes atmosféricos.

La figura 5 muestra el esquema gráfico de la metodología a implementar para la estimación de emisiones vehiculares; cada una de las partes fue planteada en esta metodología a desarrollarse conforme a los elementos externos que rigen a las ciudades del país, ya que el primer obstáculo que se encuentra es la falta de información o la dificultad para conseguirla.

La estimación de emisiones bajo este esquema, permite tener un conocimiento macro del escenario que se puede presentar en las ciudades en cuanto a la contribución que realiza la operación vehicular. Los resultados pueden ayudar a motivar para implementar metodologías con un nivel mas detallado.

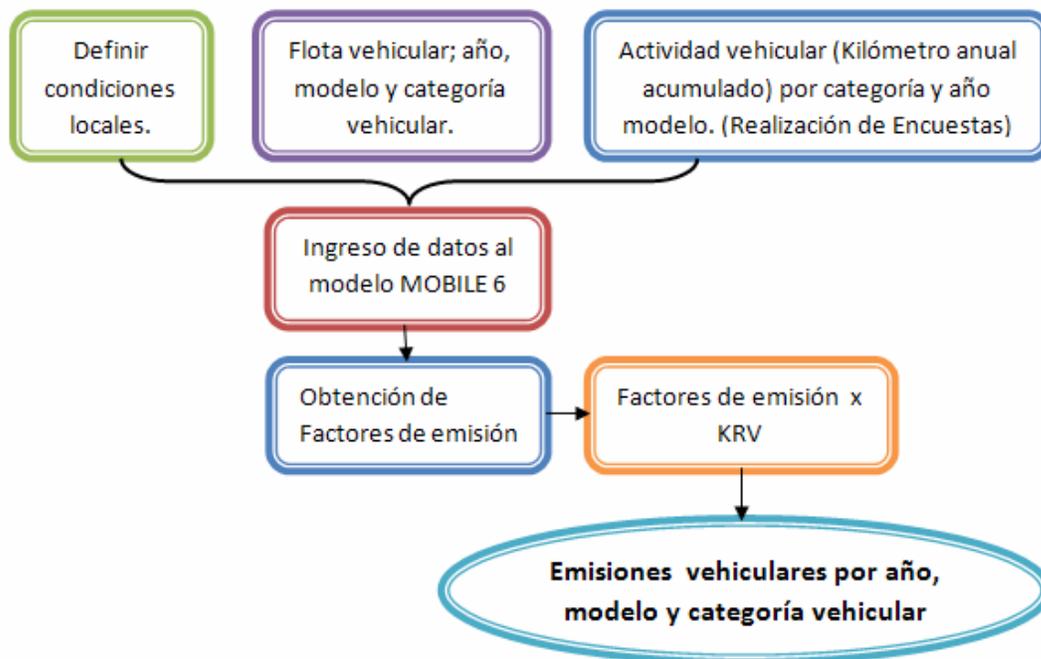


Figura. 5 Metodología para la estimación de emisiones

4.1 Condiciones locales

Dependiendo del año en que se realice la estimación, es necesario conocer las condiciones ambientales siguientes.

4.1.1 Altitud

La altitud es la distancia vertical a un origen determinado, considerado como nivel cero, para el que se suele tomar el nivel medio del mar.

Es importante considerar la altitud; debido al incremento de ésta, hay una menor cantidad de oxígeno. Esta disminución de oxígeno afecta la combustión, fenómeno que hace funcionar los motores, ocasionando una pérdida de potencia, torque, y un menor rendimiento de combustible (km/l). Teóricamente, por cada 100m sobre el nivel del mar, disminuye en 1% el rendimiento de estos.

Este dato se obtiene fácilmente de cartas geográficas del municipio.

4.1.2 Temperatura y humedad relativa

La temperatura es una magnitud referida a las nociones comunes de calor o frío. La humedad relativa es la humedad que contiene una masa de aire, en relación con la máxima humedad absoluta que podría admitir sin producirse condensación, conservando las mismas condiciones de temperatura y presión atmosférica.

Las emisiones de vehículos automotores (GOT, CO y NOx) tienen una gran dependencia de la temperatura del aire circundante. La temperatura de operación estándar utilizada en la determinación de las tasas básicas de emisión del MOBILE es de 24°C (75°F); por tanto, el modelado de emisiones a cualquier otra temperatura requiere el uso de factores de ajuste para este parámetro.

Esta información se obtiene principalmente del Servicio Meteorológico Nacional.

4.1.3 Características del combustible

Dado que las emisiones de los vehículos automotores son el resultado final de la combustión de la gasolina y el diesel, las características del combustible pueden afectar de manera significativa la cantidad de contaminantes emitidos.

Esta información se obtiene de los proveedores de gasolina para las estaciones de servicio en la ciudad, que en el caso de México es sólo PEMEX.

4.2 Características de la flota vehicular

Para poder caracterizar la flota vehicular de una población en particular, es necesario conocer la composición de la misma, tales como el tipo de vehículo y la edad promedio; así como la velocidad de operación de los vehículos.

4.2.1 Velocidad de operación vehicular

La velocidad promedio del vehículo es un elemento importante para determinar los factores de emisión apropiados para los inventarios de emisiones de vehículos automotores que circulan por carreteras.

En el modelo MOBILE, los factores de emisión representan el recorrido a una velocidad promedio. Los factores de emisión son desarrollados a partir de ciclos de prueba en los que la velocidad del vehículo no es constante, sino que varía alrededor de un promedio.

En consecuencia, la meta al desarrollar estimaciones de la velocidad consiste en determinar velocidades promedio del vehículo, basándose en velocidades instantáneas; un factor de ajuste de velocidad se aplica a los factores de emisión para tomar en cuenta la variabilidad de las emisiones a diferentes velocidades.

Para ello, la velocidad debe basarse en un estudio de la velocidad de punto, mediante la medición de la velocidad de operación vehicular en las principales arterias de la ciudad, en condiciones de tránsito y atmosféricas normales.

La hora para realizar el estudio de velocidad es fuera de las horas pico o de alta concentración de viajes, y que pudieran ser cualquiera de los periodos siguientes:

1. 10:00 a 12:00
2. 15:30 a 17:30
3. 20:00 a 22:00

El estudio se realiza mediante un método automático para la toma de la velocidad, en el cual se emplea un radar de pistola direccional (portátil). El radar se utiliza para medir la velocidad instantánea del vehículo. Las mediciones de velocidad con el radar se hacen con todo el equipo montado dentro de un vehículo estacionado a un lado de la corriente del tránsito para evitar causar cambios en la velocidad de los automovilistas.

El tamaño de la muestra adecuado se obtuvo bajo consideraciones estadísticas conservando una confiabilidad adecuada.

Con la siguiente ecuación se puede estimar el tamaño mínimo de la muestra:

$$n = \left[\frac{KS}{E} \right]^2$$

Donde:

n = tamaño mínimo de la muestra

K = número de desviaciones estándar referidas al nivel de confianza deseado, siendo 2.58 para un nivel de confiabilidad del 99%

E = error permitido en la estimación de la velocidad de punto (1.5 – 8.0 km/h)

La tabla 3.6 muestra ejemplos de los diferentes valores para la desviación estándar según tipo de tránsito y tipo de camino.

Tabla 4.1 Valores de desviación estándar

Tipo de tránsito	Tipo de camino	“S” estimado (km/h)
Rural	2 Carriles	8.5
Rural	4 Carriles	6.8
Intermedio	2 Carriles	8.5
Intermedio	4 Carriles	8.5
Urbano	2 Carriles	7.7
Urbano	4 Carriles	7.9

Fuente: Documentos técnicos de la Maestría de Ingeniería de Tránsito de la UANL.

Sustituyendo valores se tiene que;

$$n = \left[\frac{2.58(7.7)}{2} \right]^2 = 99; \text{ para tránsito urbano de 2 carriles}$$

$$n = \left[\frac{2.58(7.9)}{2} \right]^2 = 104; \text{ para tránsito urbano de 4 carriles}$$

Para el caso de estudio se considera el mismo tamaño de muestra para cada punto de estudio, proponiendo tomar 125 lecturas.

Con la información recabada de campo, se obtiene la media aritmética, la moda, la mediana y el 85 percentil de las velocidades.

4.2.2 Composición vehicular

La caracterización vehicular implica determinar el número de vehículos en circulación, la distribución por tipo de vehículo y por tipo de combustible, así como la estratificación de la flota por año (edad) – modelo. Existe cierto grado de incertidumbre debido a que la población vehicular la componen tanto vehículos registrados, como los no registrados; mientras que cualquier distribución del registro, por definición sólo incluirá a los registrados. De manera detallada, estos datos deben proporcionar el modelo y año de cada vehículo y que puede emplearse para estimar las distribuciones del registro.

El tamaño de la flota vehicular depende de la actividad económica de una ciudad, de su población, y de sus ingresos; así como la infraestructura urbana, los costos de los combustibles y la infraestructura servicio; e influye también la oferta y calidad del transporte público. La flota vehicular de servicio privado, federal y de transporte público se encuentra registrada en base de datos de las secretarías de finanzas o tesorerías de los estados.

Para el uso de la flota vehicular, según el MOBILE6, se clasificarán los vehículos conforme a la tabla 4.2.

Tabla 4.2 Matriz de correlación de la flota vehicular

Clasificación investigación	Correspondencia con el MOBILE6	Abreviación MOBILE6
Autos	Vehículos ligeros a gasolina (autos de pasajero)	LDGV
Taxi	Vehículos ligeros a gasolina (autos de pasajero)	LDGV
Pick up	Camiones ligeros a gasolina 2 (PVB de 0 a 2,722kg)	LDGT2
Vehículos ligeros	Camiones ligeros a gasolina 3 (PBV >2,722 a 3,856 kg)	LDGT3
Vehículos pesado	Vehículos pesados a diesel clase 3 (PBV > 4,536 kg)	HDDV3
Motocicletas	Motocicletas a gasolina	MC
Camión urbano	Autobuses de transporte urbano e inter-urbano a diesel	HDDBT
Autobuses	Vehículos pesados a diesel clase 8ª (PBV > 14,969 a 27,216)	HDDV8A

4.3 Actividad vehicular

Las estimaciones de los kilómetros recorridos por vehículo (KRV), se combinan con los factores de emisión para obtener las estimaciones de emisión.

En México existen dos métodos para realizar las estimaciones de KRV:

- Estimaciones de KRVs directas basadas en el tránsito
- Estadísticas del consumo de combustible.

En la presente metodología se sugiere que se determine a partir de los datos de uso consumo de combustible semanal, que se puede obtener de encuestas y combinando esta información con los rendimientos promedio de vehículos por tipo de vehículo, se obtienen los KRV.

Algunas de las causas que afectan el rendimiento de combustible de un automóvil son:

1. Hábitos de una conducción común. Una de las causas más importantes de un pobre rendimiento de combustible son los propios hábitos del automovilista; entre los más frecuentes se encuentran los mostrados en la tabla 4.3.

Tabla 4.3 Hábitos y efectos de la conducción común

Hábitos comunes	Efecto
Calentar el motor del automóvil por más de un minuto (funcionamiento en vacío)	Un automóvil consume 100 ml por cada 10 minutos funcionando en vacío.
Acelerar rápidamente desde un alto	Se consume hasta un 50% más de combustible en comparación con una aceleración gradual
Viajar a altas velocidades	Un automóvil que circula a 110 km/h consume alrededor de 20% más de combustible que si viajara a 90 km/h
Tránsito denso	Aumenta hasta en un 15% el consumo de combustible
Usar inmoderadamente el aire acondicionado	Consume 10% más de combustible
Cargar cosas inútiles en la cajuela	Por cada 50kg extras se incrementa en un 2% el consumo de combustible

Fuente: Portal de indicadores de eficiencia energética y emisiones vehiculares (<http://www.ecovehiculos.gob.mx/>).

2. Estado mecánico del automóvil. Otro aspecto fundamental que afecta sensiblemente el rendimiento son las condiciones mecánicas del automóvil, que ocasionan efectos, tales como los que se muestran en la tabla 4.4.

Tabla 4.4 Estado y efecto mecánico del automóvil

Estado	Efecto
Filtro de aire sucio	Puede aumentar hasta en un 10% el consumo de gasolina
Automóvil con mantenimiento deficiente	Puede aumentar en un 30% el consumo de combustible
Presión incorrecta de las llantas	Aumenta el consumo de combustible en un 5%, y reduce la vida y seguridad de las llantas

3. Periodo de ajuste de un motor nuevo En general, todos los motores de combustión interna requieren un periodo de asentamiento de las partes internas del motor; este ajuste suele darse entre los primeros 5.000 y los 8.000 km. Durante este periodo, el rendimiento de combustible será inferior al reportado por el fabricante.
4. Efecto de la altitud. Otro factor que incide en el rendimiento de combustible en un automóvil es la altura sobre el nivel del mar, puesto que a mayor altura, menor cantidad de oxígeno. En el caso de estudio, tiene una altura sobre el nivel del mar de 1.260m, la pérdida de rendimiento es de un 16%, según la Comisión Nacional para el uso eficiente de energía.

4.4 Factores de emisión

Para la generación de factores de emisión para MOBILE, se parte de dos archivos de entrada; la diferencia entre ellos radica principalmente en que uno aplica para vehículos de transporte público de pasajeros, y el otro para el resto de la flota.

Los detalles de la estimación de los factores de emisión se describieron en el punto 3.2.2.4.

4.5 Emisiones por vehículo

La ecuación básica para la estimación de las emisiones vehiculares requiere la multiplicación de los datos de actividad vehicular por un factor de emisión apropiado, como se muestra en la siguiente ecuación.

$$E_p = KRV \times FE_p$$

Donde:

E_p = emisiones totales del contaminante p

KRV = kilómetros recorridos por vehículo

FE_p = factor de emisión del contaminante p

Para los vehículos automotores, los datos de actividad se refieren a los kilómetros recorridos por vehículo (KRV); mientras que los factores de emisión, se expresan en unidades de gramo de contaminante por KRV. Los KRV representan la distancia total recorrida por una población de vehículos en un periodo de tiempo determinado.

Los factores de emisión de los vehículos automotores no son simples factores que pudieran encontrarse en una publicación; se derivan a partir de modelos. La razón de esto es que las emisiones provenientes de los vehículos son más complejas y dinámicas que la mayoría de los otros tipos de fuentes. Por ejemplo, los cambios en las características del combustible, las velocidades de operación, la tecnología para el control de emisiones, la temperatura ambiente y la altitud pueden afectar los factores de emisión. Con objeto de incorporar éstos y otros factores, generalmente se utiliza un modelo de factor de emisión que incluye los efectos de numerosos parámetros.

5 Estudio de caso

Para la aplicación del estudio de caso, se definió analizar la ciudad de Uruapan, ubicada en el estado de Michoacán.

Uruapan es la segunda ciudad más importante de Michoacán. Es famosa por su clima templado, exuberante vegetación, y por la gran producción anual de aguacate con calidad de exportación, razón por la cual se le conoce también como “la capital mundial del aguacate”.

5.1 Descripción socioeconómica

El municipio de Uruapan se localiza en la zona centro-occidente del estado; tiene una extensión territorial total de 954,17 km², que equivalen al 1,62% de la extensión total del estado.



Figura. 6 Ubicación del municipio de Uruapan en el estado de Michoacán

Los datos arrojados por el segundo conteo de población y vivienda de 2005, Uruapan cuenta con 279.229 habitantes; la estimación poblacional de CONAPO en 2009 es de 248.250 habitantes, con una tasa de crecimiento anual cercana al 1%. La densidad de población es de 336 hab/km².

En Uruapan existen cerca de 15 mil negocios establecidos, de los cuales el 82% se dedican a la actividad comercial y de servicios; y el 18% restante a la industria de transformación. Cabe destacar que hace aproximadamente 20 años, Uruapan se convirtió en la “capital mundial del aguacate”, por su excelente clima que favorece el cultivo de este fruto; actualmente se producen en Uruapan y su región cerca de 500.000Ton de aguacates anuales, de las cuales se exporta el 10% a Francia, Japón y Estados Unidos y Canadá, entre otros.

El municipio se ha caracterizado por años por ser el centro comercial regional de abasto de insumos, maquinaria y servicios relacionados con esta actividad; recientemente se han instalado en Uruapan centros comerciales de importantes cadenas transnacionales y de franquicias. Cuenta con 13.170 unidades productivas divididas en 478 giros diferentes, representando el 97% a la microempresa, y el 3% a la pequeña y mediana empresa.

La población económicamente activa en 2005 fue el 33,1% y el desempleo de 1,27%; la gente se ocupa mayoritariamente en el sector terciario (comercio y servicios), con 62,7% del total en 2005; seguido del sector secundario con el 24,56%. El ingreso promedio del municipio en salarios mínimos, es de 3,5.

La agricultura es la actividad económica de mayor importancia en el municipio, en particular, la producción de frutas como: aguacate, durazno, zarzamora, naranja y macadamia entre otras; representando el 20 % de la superficie total del municipio; destaca de manera importante el aguacate que ocupa 16.588 ha, generando 8.195 empleos directos, 12.106 empleos estacionales y 32.608 empleos indirectos permanentes; por lo anterior, constituye la base de la economía, ya que se ubican en este municipio 105 de los 152 empaques en el estado que embasan fruta para el mercado nacional e internacional.

Así mismo, 13 de los 17 empaques autorizados por la Administración de drogas y alimentos de los Estados Unidos (FDA, por sus siglas en inglés) para su comercialización en los Estados Unidos; en la temporada 2001-2002 se generó una derrama económica de 82.5 millones de dólares en fresco, y 56 millones de dólares de fruto procesado, exportándose a Estados Unidos, Canadá, Centroamérica, Unión Europea, Japón, China, norte de África, Marruecos y Sudamérica.

Uruapan cuenta con un gran potencial en la producción forestal, jugando los bosques un papel decisivo en la captación de aguas pluviales, en el clima y la calidad del aire que se respira. La producción de pino es de 56.306, Oyamel 1,.084 y Encino 8.473 siendo un total de 65,863 m³ en rollo, además de una producción de 4.122 resinas.

5.2 Condiciones locales

En Uruapan la altura sobre el nivel del mar se considera 1.634m, la cual para el programa MOBILE es considerada como alta, del tipo “No. 2”.

Los datos de temperatura y humedad relativa se muestran en la tabla 5.1.

Tabla 5.1 Temperatura y humedad relativa de la ciudad de Uruapan

Estación	máx/anual	mín/anual	Humedad relativa %
00016165 Uruapan (CFE)	27,0	7,7	78

Fuente: Servicio Meteorológico Nacional

5.3 Características del combustible

La tabla 5.2 muestra los valores de calidad de combustibles correspondientes a la ciudad de Uruapan.

Tabla 5.2 Calidad de la gasolina y el diesel de la ciudad de Uruapan

2007	MAGNA		PREMIUM			DIESEL
	Azufre (ppm)	PVR (psi)	Azufre (ppm)	PVR (psi)	Oxígeno (%P)	Azufre (ppm)
Enero	450	10.8	22	7.4	1.6	176
Febrero	435	11	23	7.7	2	198
Marzo	588	9.8	18	7.8	2	225
Abril	714	9.7	21	7.8	2.3	227
Mayo	550	9.8	16	7.7	2.2	235
Junio	594	8.8	27	7.7	2.3	238
Julio	636	9	31	7.8	2.3	248
Agosto	702	8.8	36	7.8	2.3	225
Septiembre	478	9.3	30	7.7	2.1	212
Octubre	805	9.6	59	7.6	2.5	201
Noviembre	582	10.7	77	7.8	1.2	264
Diciembre	676	10.5	40	7.7	2.4	229
Promedio	600,8	9,82	33,3	7,71		223,2

Fuente: PEMEX, Refinación

Debido a que el diésel tiene una volatilidad muy baja que resulta en emisiones evaporativas despreciables, el MOBILE no utiliza un valor PVR para este combustible, por lo que el valor que se utiliza únicamente es el de 223,2 ppm de azufre (valor promedio).

La tabla 5.3 muestra los valores de calidad de las gasolinas que se utilizaron en el presente trabajo.

Tabla 5.3 Valores de la calidad de las gasolinas

Gasolina	Azufre (ppm)	PVR (psi)	%
Magna	600,8	9,82	92
Premium	33,3	7,71	8
Promedio ponderado	555,4	9,65	

5.4 Características vehiculares

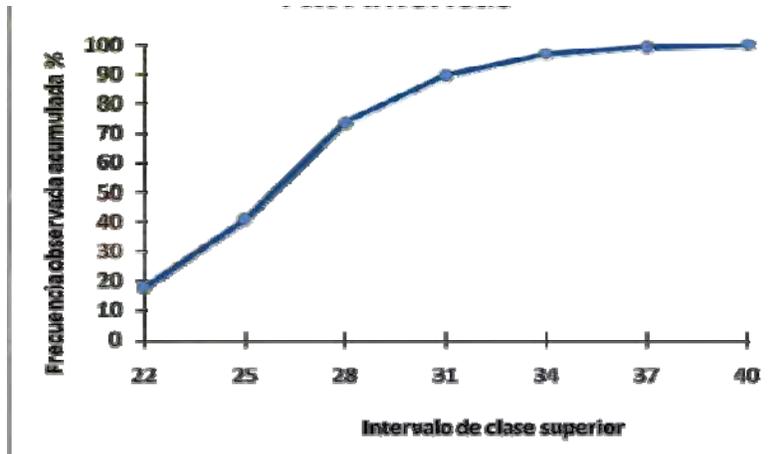
5.4.1 Velocidad vehicular

La velocidad de punto se obtuvo para las principales arterias de la ciudad; a continuación se describen los resultados que se obtuvieron en cada una de ellas.

Los datos a mostrar de cada estudio de velocidades son: media, error estándar, mediana, moda, desviación estándar, rango, y la velocidad percentil 85.

5.4.1.1 Avenida Américas

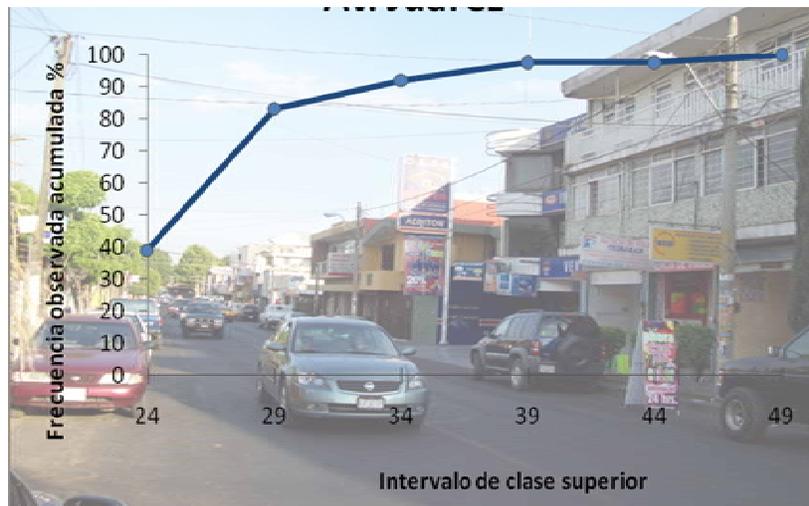
Media aritmética:	26.47
Error estándar de la media:	0.35
Mediana:	26
Moda:	25
Desviación estándar:	3.91
Rango:	18
P ₈₅ :	30



Gráfica 9. Velocidad en la Av. Américas

5.4.1.2 Avenida Juárez

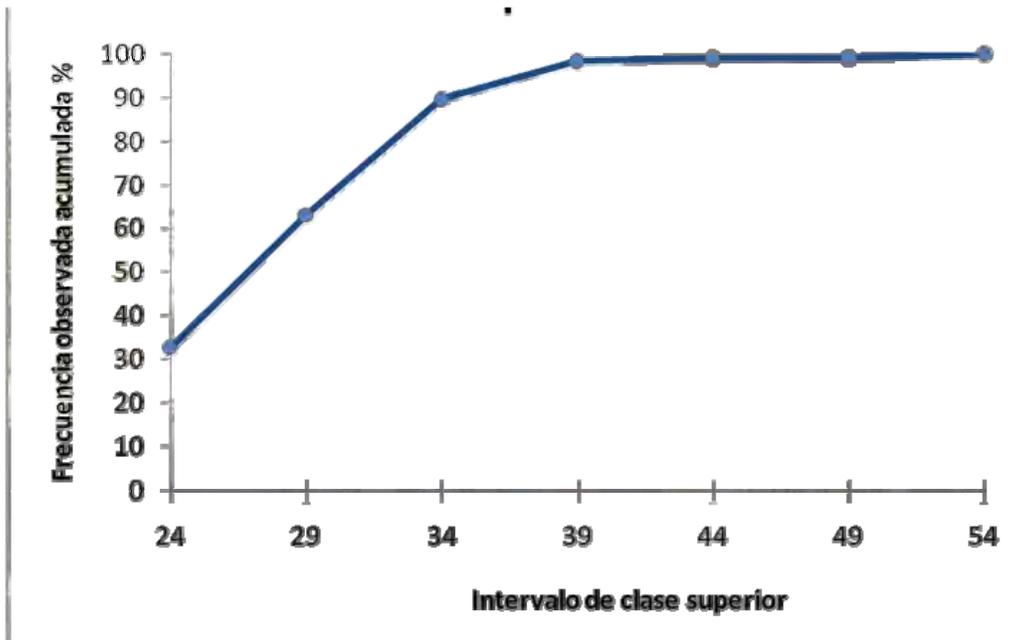
Media aritmética:	26.52
Error estándar de la media:	0.46
Mediana:	26.0
Moda:	22
Desviación estándar:	5.19
Rango:	29
P ₈₅ :	30



Gráfica 10. Velocidad en la Av. Juárez

5.4.1.3 Avenida Cupatitzio

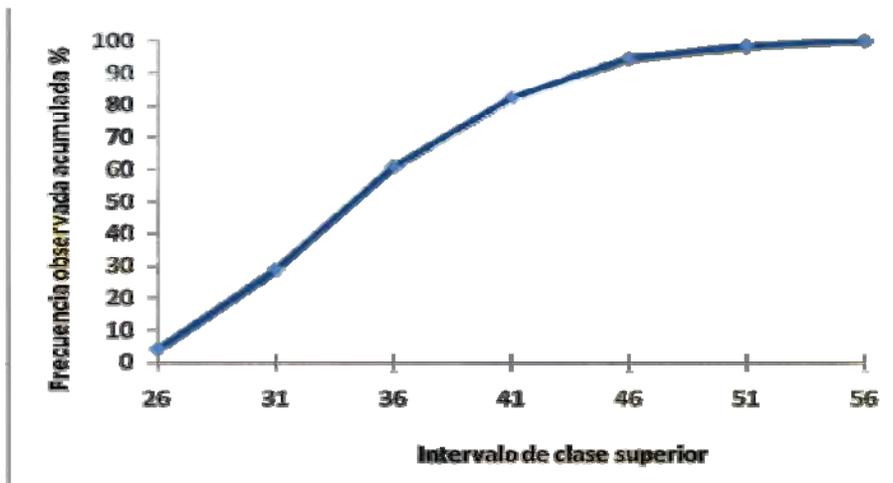
Media aritmética:	27.88
Error estándar de la media:	0.49
Mediana:	28
Moda:	28
Desviación estándar:	5.44
Rango:	32
P ₈₅ :	33



Gráfica 11. Velocidades en la Av. Cupatitzio

5.4.1.4 Calzada Benito Juárez

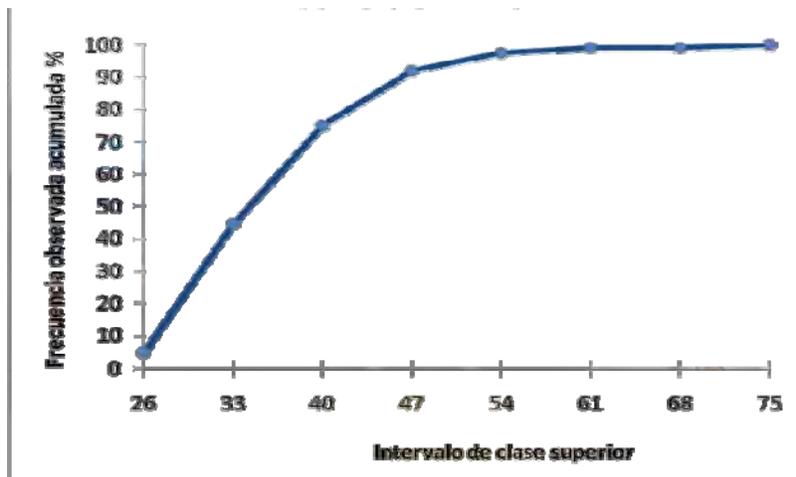
Media aritmética:	35.56
Error estándar de la media:	0.57
Mediana:	34.0
Moda:	33
Desviación estándar:	6.37
Rango:	33
P ₈₅ :	42



Gráfica 12. Velocidades en la Calzada Benito Juárez

5.4.1.5 Calle del Niño

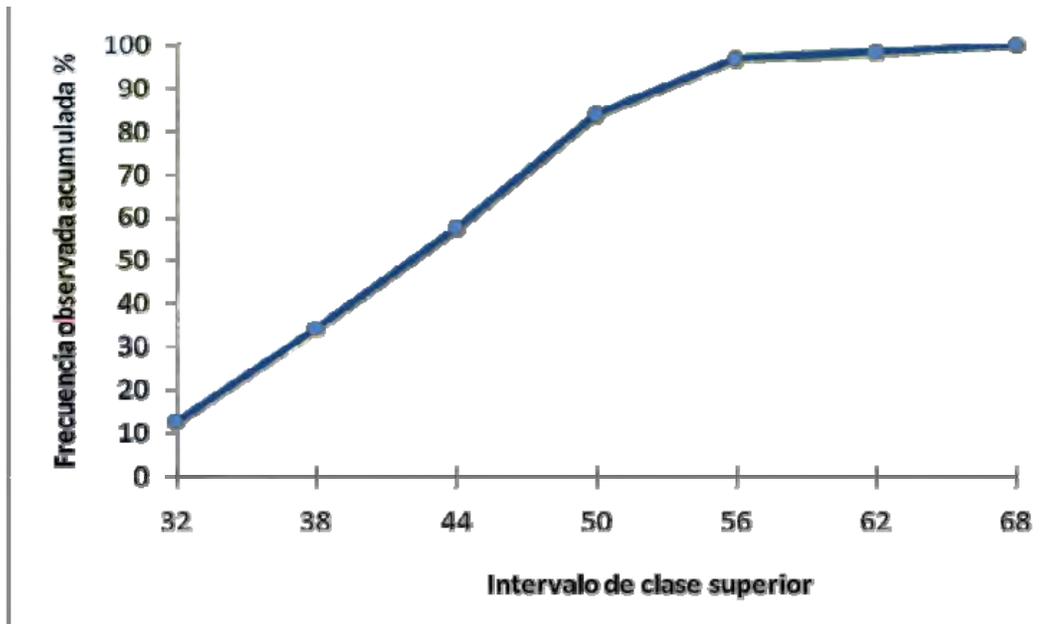
Media aritmética:	36.104
Error estándar de la media:	0.72
Mediana:	34.0
Moda:	30
Desviación estándar:	8.02
Rango:	50
P ₈₅ :	44



Gráfica 13. Velocidades en la calle del Niño

5.4.1.6 Paseo Lázaro Cárdenas

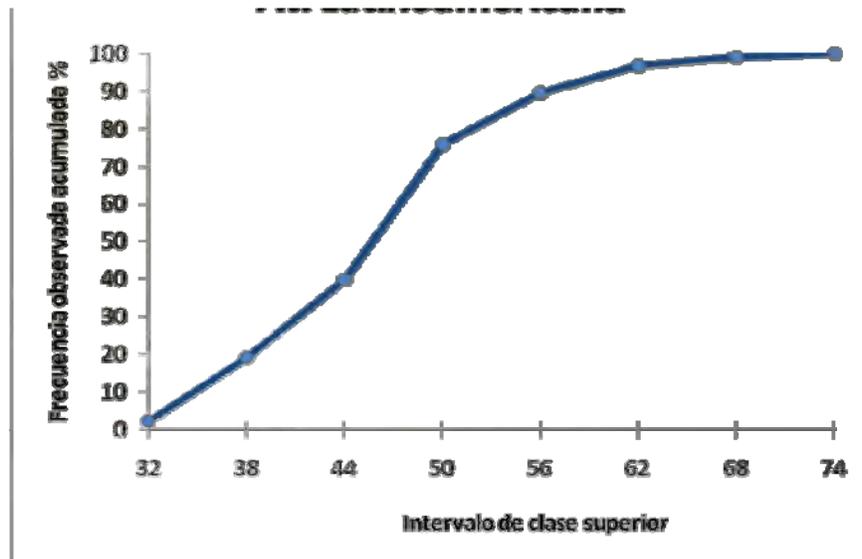
Media aritmética:	42.46
Error estándar de la media:	0.74
Mediana:	43.0
Moda:	38
Desviación estándar:	8.22
Rango:	5
P ₈₅ :	50



Gráfica 14. Velocidades en el Paseo Lázaro Cárdenas

5.4.1.7 Avenida Latinoamericana

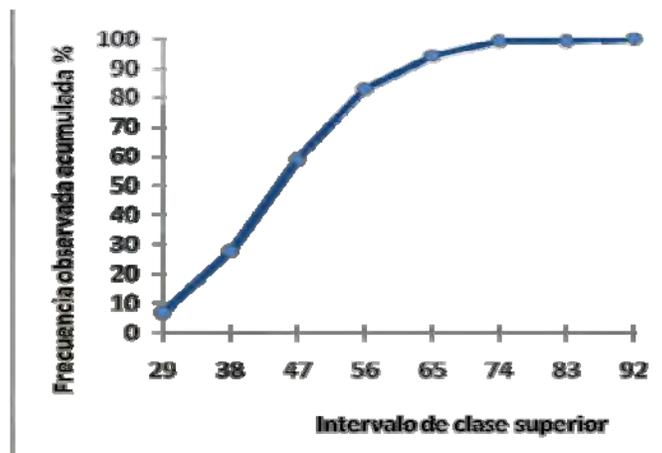
Media aritmética:	46.11
Error estándar de la media:	0.72
Mediana:	46.0
Moda:	45
Desviación estándar:	8.07
Rango:	42
P ₈₅ :	54



Gráfica 15. Velocidades en la Av. Latinoamericana

5.4.1.8 Avenida Paseo de la Revolución

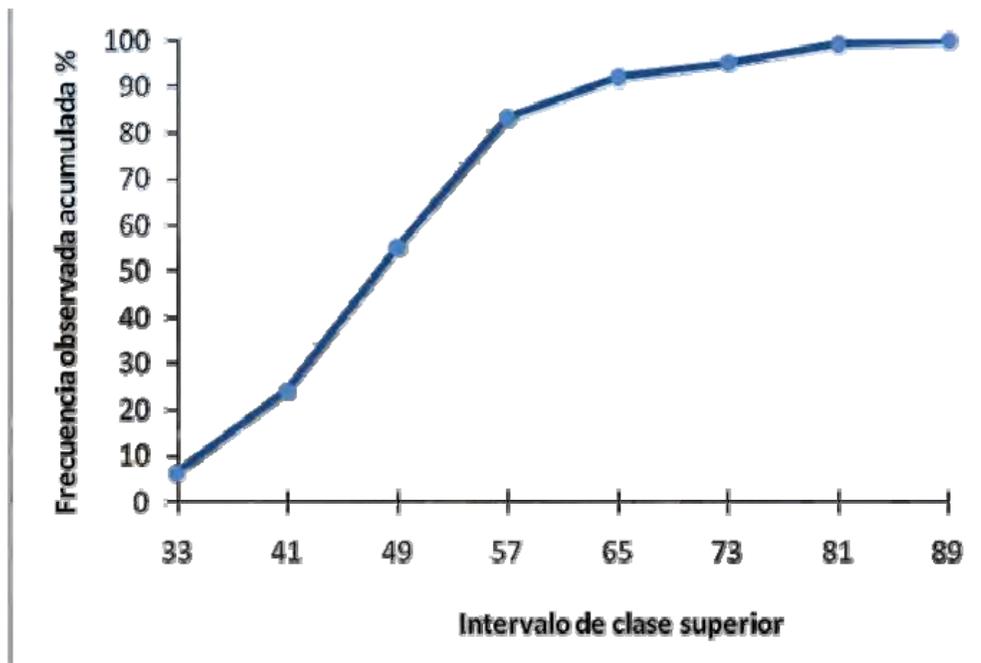
Media aritmética:	45.7
Error estándar de la media:	1.06
Mediana:	45.0
Moda:	39
Desviación estándar:	11.83
Rango:	66
P ₈₅ :	57



Gráfica 16. Velocidades en la Av. Paseo de la revolución

5.4.1.9 Avenida Lázaro Cárdenas (pista vieja)

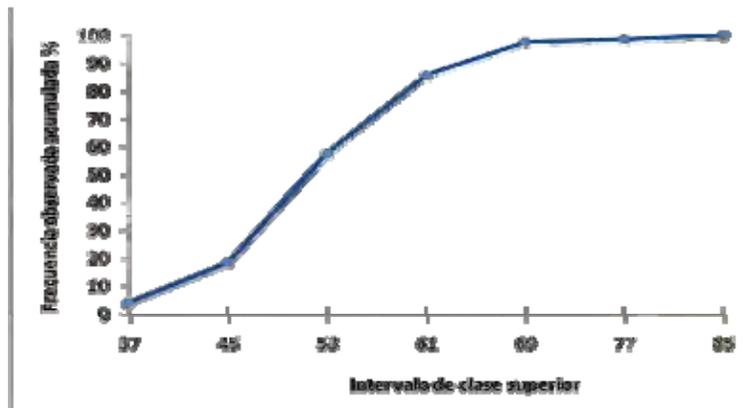
Media aritmética:	49.084
Error estándar de la media:	1.01
Mediana:	48.0
Moda:	50
Desviación estándar:	11.29
Rango:	56
P ₈₅ :	59



Gráfica 17. Av. Lázaro Cárdenas (pista vieja)

5.4.1.10 Boulevard Industrial

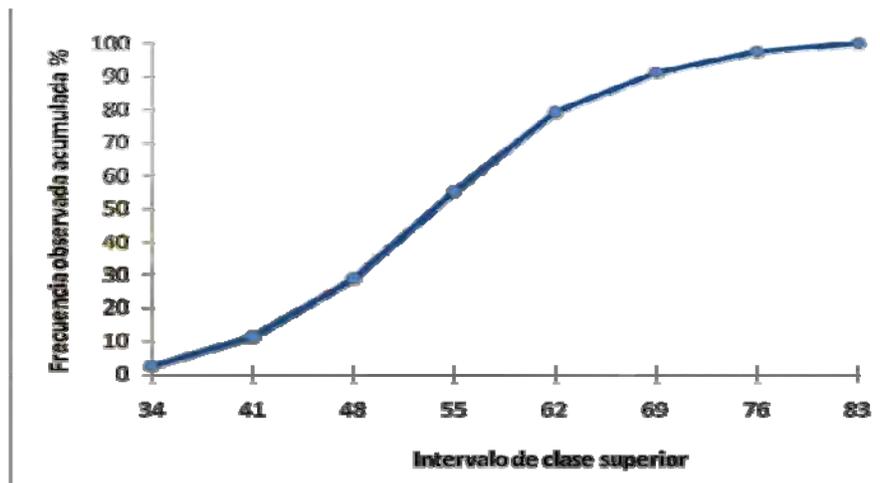
Media aritmética:	65.715
Error estándar de la media:	0.80
Mediana:	52.0
Moda:	52
Desviación estándar:	8.92
Rango:	55
P ₈₅ :	61



Gráfica 18. Velocidades en el Boulevard Industrial

5.4.1.11 Libramiento Oriente (a la altura de Lucio Cabañas)

Media aritmética:	68.01
Error estándar de la media:	0.95
Mediana:	53.0
Moda:	52
Desviación estándar:	10.63
Rango:	51
P ₈₅ :	65



Gráfica 19. Velocidades en el Libramiento Oriente

Con los resultados anteriores se realizó una clasificación de los estudios en dos; la primera corresponde a la zona centro; y la segunda a las arterias que son denominadas vías rápidas en la ciudad.

La tabla 5.4 muestra dicho proceso y la velocidad promedio para cada zona.

Tabla 5.4 Velocidad por zona

Clasificación	Avenida	Percentil 85 km/h	Promedio
ZONA CENTRO	Av. Américas	30	36 km/h
	Av. Juárez	30	
	Av. Cupatitzio	33	
	Calzada Benito Juárez	42	
	Calle del Niño	44	
AVENIDAS RÁPIDAS	Paseo Lázaro Cárdenas	50	56 km/h
	Av. Latinoamericana	54	
	Av. Paseo de la Revolución	57	
	Av. Lázaro Cárdenas (pista vieja)	59	
	Boulevard Industrial	61	
	Libramiento Oriente, entre la calle Lucio Cabañas en la Col. Magisterial	65	

Con esta información se definió realizar dos escenarios; uno para la velocidad de operación de 36km/k y otra para los 56 km/h.

Para completar la información mostrada en los puntos anteriores de los resultados de la medición de la velocidad, la Figura 7 muestra la ubicación de las estaciones de monitoreo de la velocidad dentro de un mapa catastral de la ciudad de Uruapan.

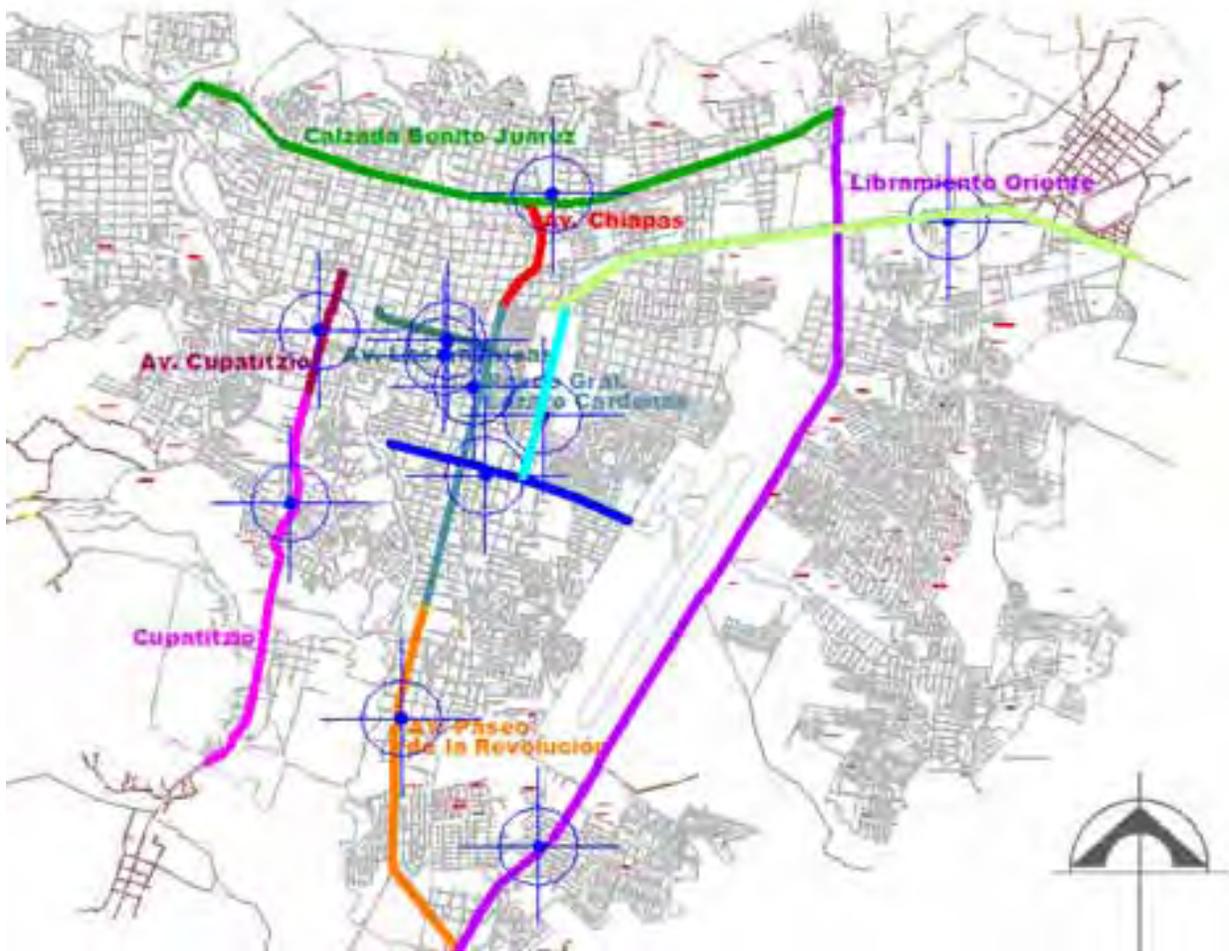


Figura. 7 Ubicación de las estaciones de monitoreo de la velocidad

5.4.2 Composición vehicular

La flota vehicular de servicio privado, federal y de transporte público se encuentra registrada en base de datos, que pueden ser obtenidas de la Dirección de Ingresos de la Secretaría de Finanzas y Administración en el Estado de Michoacán, la cual contiene parámetros tales como: año modelo, tipo de vehículo por marca o por uso, entre otros parámetros, que permiten caracterizar la flota vehicular.

Con base a los datos obtenidos se procedió a clasificarlos tomando en cuenta una vigencia de cinco años; esto significa que la base de datos obtenida en el 2008 no incluye vehículos que dejaron de pagar la tenencia en el 2004, principalmente a que de acuerdo con la Dirección de Ingresos después de 5 años es muy probable que ese vehículo no exista.

La tabla 5.5 muestra un ejemplo de la información por unidad registrada en la Secretaría de Finanzas y Administración del Estado de Michoacán, y las tablas 5.6 y 5.7 muestran la caracterización vehicular, tanto del servicio privado, como del público.

Tabla 5.5 Información de la base de datos

Placa	Municipio	Localidad	Marca	Línea	Tipo	Clase
PHH5839	Uruapan	Uruapan	Renault	Clío	Sedán	Automóvil

Modelo	Capacidad	Combustible	Servicio	Vigencia
2008	5	Gasolina	Publico	2008

Fuente: Secretaría de Finanzas y Administración del Estado de Michoacán

Tabla 5.6 Caracterización vehicular de la ciudad de Uruapan

Año	Motocicleta	Automóvil	Pick up	Vehículos ligeros	Autobús	Vehículos pesados
	Gasolina	Gasolina	Gasolina	Gasolina	Diesel	Diesel
2007	1782	2659	1119	48	30	87
2006	1752	1171	663	47	0	129
2005	1038	1701	579	97	0	51
2004	630	1314	474	81	0	0
2003	552	1241	328	45	0	71
2002	336	1326	430	68	6	4
2001	204	988	444	63	18	1
2000	468	614	279	82	0	13
1999	228	728	513	72	6	4
1998	138	1896	1050	96	48	9
1997	90	2110	1238	39	48	210
1996	36	2197	1037	28	6	24
1995	24	1831	1561	62	6	21
1994	24	1634	1615	85	42	33
1993	0	1510	1505	57	6	51
1992	60	1232	1239	65	6	50
1991	24	790	1504	109	24	21
1990	18	710	1224	104	6	7
1989	0	610	1136	108	0	7
1988	18	427	938	47	0	4
1987	6	416	797	24	0	3
1986	6	347	1135	40	0	6
1985	12	375	632	20	0	14
1984	0	621	599	20	0	29
1983 y Anteriores	72	4411	4202	367	12	662
Total	7518	32859	26241	1874	264	1511

Tabla 5.7 Caracterización vehicular del servicio público en Uruapan

Año	Taxi	Camión urbano
	Gasolina	Diesel
2007	173	25
2006	283	12
2005	286	17
2004	283	26
2003	226	25
2002	484	17
2001	434	26
2000	213	20
1999	252	31
1998	184	17
1997	106	24
1996	43	0
1995	63	3
1994	91	19
1993	92	3
1992	68	2
1991	10	2
1990	9	5
1989	10	0
1988	6	0
1987	1	0
1986	2	0
1985	0	1
1984	1	1
1983 y Anteriores	3	0
Total	3323	276

5.5 Actividad vehicular

Para conocer información de la actividad vehicular en la ciudad, se recurrió al uso de encuestas, aplicadas directamente a los conductores de la población de estudio.

El objetivo principal al aplicar la encuesta desarrollada, fue conocer el tipo de combustible que utilizan comúnmente los vehículos en la ciudad (Magna o Premium), y otros aspectos tales como: el uso de aire acondicionado, el gasto aproximado de combustible y la tasa de acumulación de kilometraje de los vehículos, así como conocer el modelo, año y categoría vehicular (ligero, pesado, autobús, entre otras).

La encuesta fue aplicada en cuatro estaciones localizadas en gasolineras, en diferentes sectores de la ciudad, tal y como se muestra en la figura 8. Esta estrategia de encuestar a los automovilistas mientras realizaban la carga de combustible, permitió contar con el tiempo suficiente para aplicar el cuestionario; además de que la gente recuerda mejor el importe del consumo de combustible. Las encuestas se realizaron en un periodo de cuatro días cubriendo cada día un periodo de ocho horas aproximadamente.

El tipo de muestreo fue aleatorio; esto permite que la probabilidad sea la misma para cada conductor de la población a ser elegidos; es uno de los muestreos más empleados y recomendado en las investigaciones sociales y educacionales, ya que facilita obtener conclusiones en la muestra, e inferir lo que pudiera ocurrir a partir de ésta, en la población, con un elevado grado de pertinencia. Estadísticamente permite inferir a la población los resultados obtenidos en la muestra.

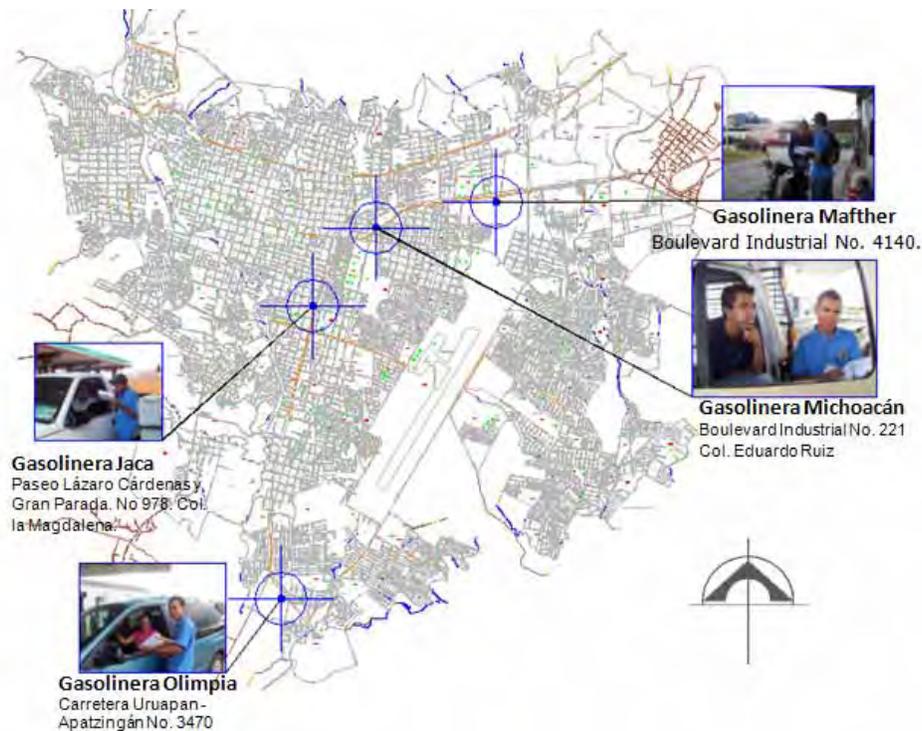


Figura. 8 Ubicación de las estaciones para la aplicación de encuestas

En la figura 9 se muestra el cuestionario de la encuesta aplicada.

 **Maestría en Infraestructura del Transporte en la rama de las Vías Terrestres**

Encuesta para realizar un estudio de Impacto Ambiental que Genera las Emisiones de Contaminantes en el sector de Autotransporte en la ciudad de Uruapan, Michoacán.

No. de Folio _____

Encuesta realizada en: _____

Encuestador: _____

Ocupación: Ama de casa () Empleado () Profesional () Empresaria () Otro ()

1. Características del vehículo

Auto ligero () Camiones para carga () Camioneta () Camioneta de carga ()
Motocicleta () Camiones de pasajeros () Taxi ()

Marca	Clase	Modelo (Año)
-------	-------	--------------

1. ¿Cuál es el kilometraje acumulado?
Exacta _____ Aproximadamente _____

2. Tipo de Servicio
Privado () Público federal () Público estatal ()

3. ¿Qué tipo de combustible utiliza?
Gasolina Magna () Gasolina Premium () Diesel () Gas () Otro ()

4. ¿Tiene aire acondicionado?
Sí () No ()

5. ¿Con que frecuencia hace uso del aire acondicionado?
Siempre () Regularmente () En ocasiones () Nunca ()

6. ¿Cuánto dinero gasta en combustible para su vehículo en la semana?
Semanal _____

No. de Placa: _____

Figura. 9 Encuesta aplicada en la ciudad de Uruapan

El tamaño de muestra requerido depende en parte, de la calidad estadística.

Para seleccionar la cantidad de camionetas ligeras, taxis, autos ligeros, motocicletas y camión urbano, a tomar como muestra representativa del total de vehículos de la ciudad, que integran la población objetivo; se obtuvo el tamaño de muestra por proporciones, que permite determinar el tamaño de la muestra a partir del universo de la población.

La fórmula para determinar el tamaño de la muestra en el caso de una proporción es:

$$n = p(1 - p) \frac{Z^2}{E^2}$$

Donde:

p, proporción estimada, basada en la experiencia o en un estudio piloto

Z, valor asociado con el nivel de confianza deseado

E, es el error máximo que se permitido.

Relacionamos la cantidad de estratos que tiene la población; en este caso son las categorías vehiculares en las que se va a seccionar los vehículos, de acuerdo con la información obtenida de la Dirección de Ingresos de la Secretaría de Finanzas y Administración del Estado de Michoacán, y la proporción correspondiente como se muestra en la tabla 5.8.

Tabla 5.8 Proporción de la muestra por tipo de vehículo

No	Categoría vehicular	No. de vehículos	Proporción (p)
1	Autos ligeros	32,859	0.46
2	Motocicletas	7,518	0.10
3	Camionetas ligeras	28,115	0.39
4	Taxis	3,323	0.05
5	Camiones urbanos	276	0.004
	Total	72053	1.00

Para calcular el tamaño de la muestra, se sustituyen los valores en la ecuación anterior para cada categoría vehicular.

Z = 1.96 para un nivel de confianza del 95%

E = 0.05

- Autos ligeros

$$n = 0.46(1 - 0.46) \left(\frac{1.96}{0.05} \right)^2 = 382$$

De las cuales se realizaron un total de 914 encuestas.

- Motocicletas

$$n = 0.10(1 - 0.10) \left(\frac{1.96}{0.05} \right)^2 = 138$$

Se realizaron 138 encuestas.

- Taxis

$$n = 0.05(1 - 0.05) \left(\frac{1.96}{0.05} \right)^2 = 73$$

Se realizaron 539 encuestas.

- Camiones urbanos

$$n = 0.004(1 - 0.004) \left(\frac{1.96}{0.004} \right)^2 = 1$$

Se realizaron 28 encuestas.

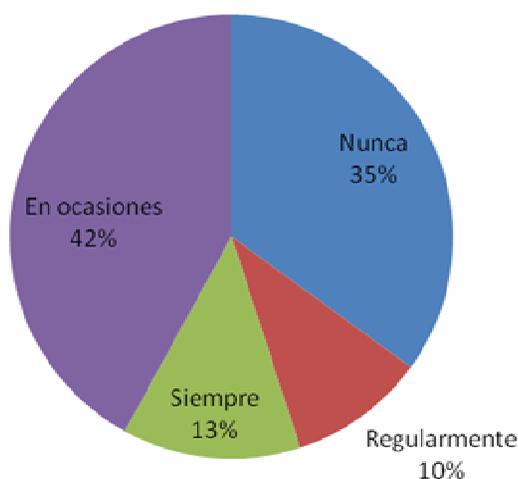
En este caso de estudio, la actividad vehicular se determinó a partir de los datos de uso y consumo de combustible semanal que se obtuvo de las encuestas; y combinando esta información con los rendimientos promedio de vehículos por caracterización vehicular, se obtiene los KRV.

Un dato que se consideró en la encuesta, es la acumulación de kilometraje en el odómetro, pero fue un dato muy disperso y con un margen de error muy grande; por lo que se tuvo que desechar la información.

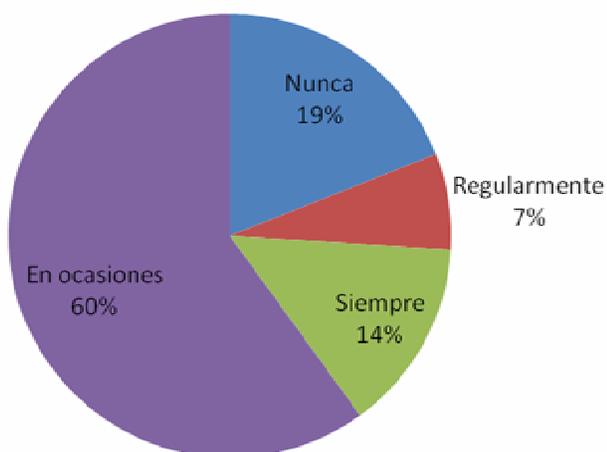
Los rendimientos promedio se obtuvieron del portal de indicadores de eficiencia energética y emisiones vehiculares (<http://www.ecovehiculos.gob.mx/>) para el caso de autos ligeros, camionetas ligeras, taxis y motocicletas.

Estos valores de rendimiento se obtuvieron en condiciones controladas de laboratorio, que bien pueden no ser reproducibles ni obtenerse en condiciones y hábitos de manejo convencional, debido a condiciones climatológicas, tipos de combustibles, condiciones topográficas, y otros factores.

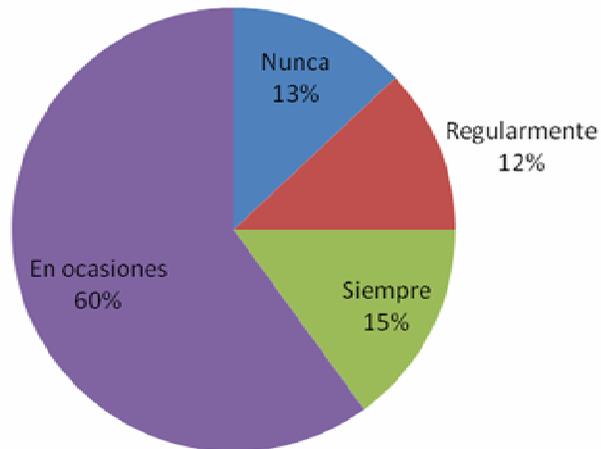
De datos arrojados por las encuestas, se tiene que el 71% de los autos tiene aire acondicionado; un 38% para los taxis y para las camionetas pick up coinciden con los autos con el 71%. En las graficas 20, 21 y 22 se muestra la frecuencia con la cual se utiliza el aire acondicionado para cada categoría vehicular en la ciudad.



Gráfica 20. Frecuencia del uso de aire acondicionado en autos



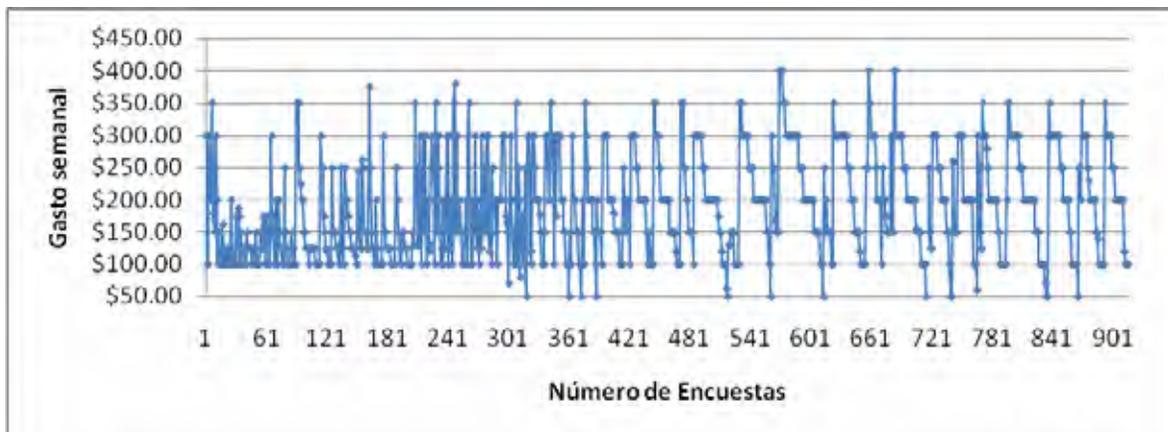
Gráfica 21. Frecuencia del uso de aire acondicionado en taxis



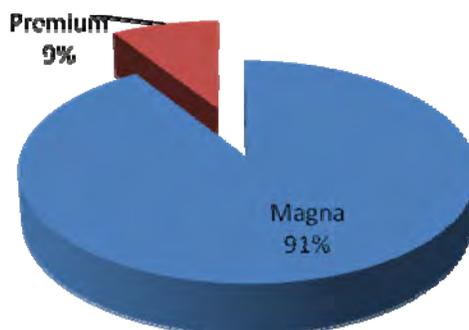
Gráfica 22. Frecuencia del uso de aire acondicionado para pick up

5.5.1 Uso de combustible para autos ligeros

De la información obtenida de las encuestas, las graficas 23 y 24 muestran el consumo de combustible por semana de autos ligeros.



Gráfica 23. Análisis de consumo de combustible por semana en autos ligeros



Gráfica 24. Análisis de uso de combustible Magna y Premium en autos ligeros

De los datos del uso de combustible en porcentajes (Magna y Premium) se obtiene el promedio ponderado del precio; las encuestas se aplicaron en el mes de junio del 2008; por lo que el precio del combustible en el momento de realizar las encuestas de acuerdo a PEMEX, se presentó como sigue:

- Gasolina Magna: \$6.94 por litro
- Gasolina Premium: \$8.52 por litro
- Diesel: \$5.87 por litro

Cálculo del promedio ponderado:

$$\text{Precio combustible} = \frac{6.94(\% \text{ Uso Comb. Premium}) + 8.52(\% \text{ Uso Comb. Magna})}{(\% \text{ Uso Comb. Premium}) + (\% \text{ Uso Comb. Magna})}$$

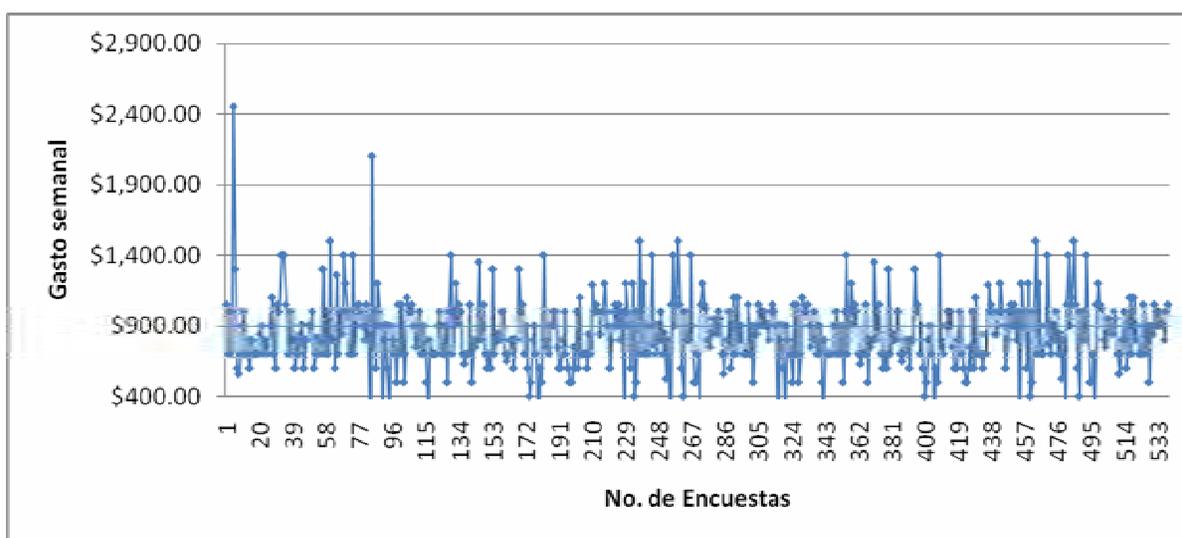
La tabla 5.9 muestra el cálculo del kilometraje recorrido de acuerdo al consumo de combustible, obteniendo de esta manera el dato para los kilómetros recorridos anualmente.

El mismo procedimiento aplica para el resto de los tipos de vehículos, por lo que se mostrarán los resultados en sus respectivas tablas y gráficas.

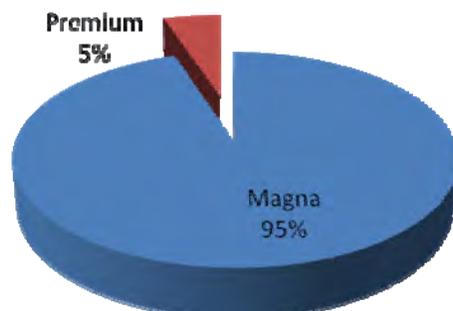
Tabla 5.9 Cálculo de kilómetros recorridos por año en autos ligeros

Autos ligeros	
Desviación estándar del consumo de combustible semanal	78.8
Rendimiento promedio	10.8 km/lt
Consumo de combustible semanal promedio	\$190.89
Precio de gasolina ponderado por litro	\$7.08
Cantidad en litros semanales = (promedio de consumo de combustible semanal en \$) / (precio gasolina por litro en \$)	26.96 lt
Kilómetros recorridos semanalmente = (rendimiento km/lt) x (cantidad en litros semanales)	291.19 km
Kilómetros recorridos anualmente = (kilómetros recorridos semanalmente) x (52 semanas que tiene un año)	15142 km por año

5.5.2 Uso de combustible para taxis



Gráfica 25. Análisis de consumo de combustible por semana en taxis

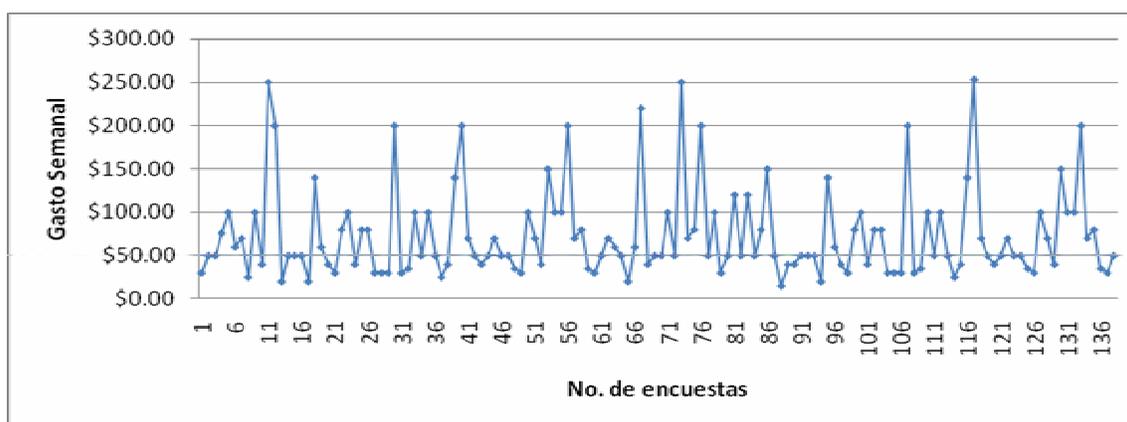


Gráfica 26. Análisis de uso de combustible Magna y Premium en taxis

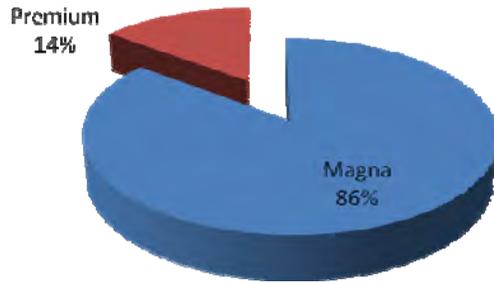
Tabla 5.10 Cálculo de kilómetros recorridos por año en taxis

Taxis	
Desviación estándar del consumo de combustible semanal	258.3
Rendimiento promedio	10.8 km/lt
Consumo de combustible semanal promedio	\$839.23
Precio de gasolina ponderado por litro	\$7.03
Cantidad en litros semanales = (promedio de consumo de combustible semanal en \$) / (precio gasolina por litro en \$)	119.38 lt
Kilómetros recorridos semanalmente = (rendimiento km/lt) x (cantidad en litros semanales)	1,289.29 km
Kilómetros recorridos anualmente = (kilómetros recorridos semanalmente) x (52 semanas que tiene un año)	67,043 km por año

5.5.3 Uso de combustible para motocicletas



Gráfica 27. Análisis de consumo de combustible por semana en motocicletas

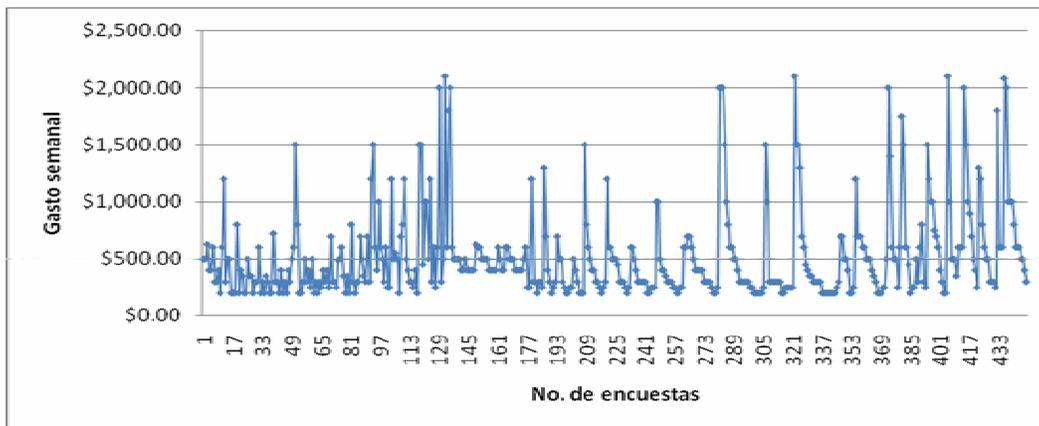


Gráfica 28. Análisis de uso de combustible Magna y Premium en motocicletas

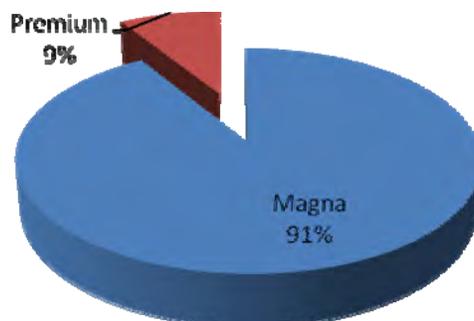
Tabla 5.11 Cálculo de kilómetros recorridos por año en motocicletas

Motocicletas	
Desviación estándar del consumo de combustible semanal	52.3
Rendimiento promedio	25 km/lt
Consumo de combustible semanal promedio	\$73.47
Precio de gasolina ponderado por litro	\$7.17
Cantidad en litros semanales = (promedio de consumo de combustible semanal en \$) / (precio gasolina por litro en \$)	10.25 lt
Kilómetros recorridos semanalmente = (rendimiento km/lt) x (cantidad en litros semanales)	256.18 km
Kilómetros recorridos anualmente = (kilómetros recorridos semanalmente) x (52 semanas que tiene un año)	13,321 km por año

5.5.4 Consumo de combustible para pick up



Gráfica 29. Análisis de consumo de combustible por semana en pick up



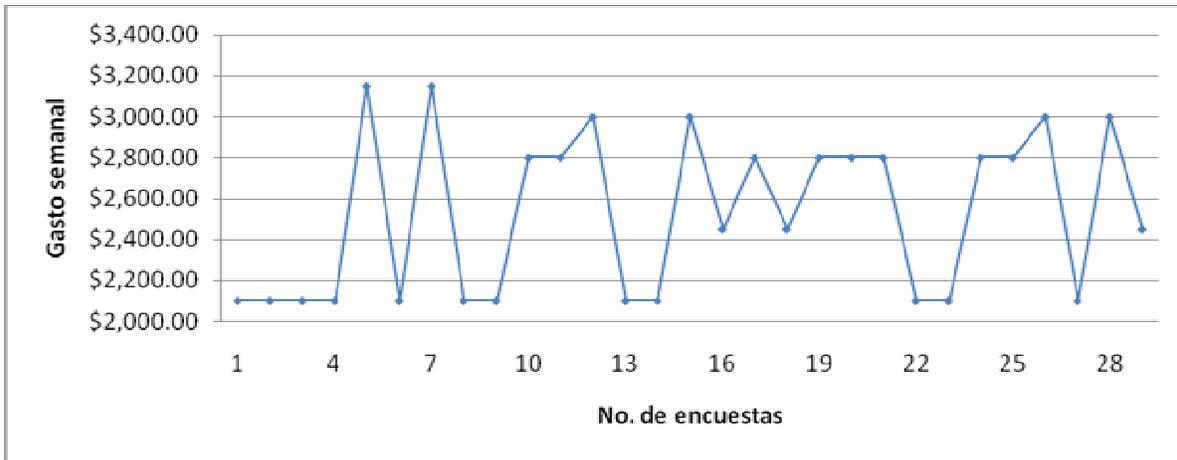
Gráfica 30. Análisis de uso de combustible en vehículos pick up

Tabla 5.12 Cálculo de kilómetros recorridos por año en vehículos pick up

Camionetas ligeras	
Desviación estándar del consumo de combustible semanal	402.4
Rendimiento promedio	6 km/lt
Consumo de combustible semanal promedio	\$522.31
Precio de gasolina ponderado por litro	\$7.08
Cantidad en litros semanales = (promedio de consumo de combustible semanal en \$) / (precio gasolina por litro en \$)	73.77 lt
Kilómetros recorridos semanalmente = (rendimiento km/lt) x (Cantidad en litros semanales)	442.64 km
Kilómetros recorridos anualmente = (kilómetros recorridos semanalmente) x (52 semanas que tiene un año)	23,017 km por año

5.5.5 Consumo de combustible de camión urbano de transporte público

En el caso del camión de transporte público, el valor de rendimiento promedio (km/lt) se obtuvo directamente con los transportistas, datos que fueron proporcionados por el señor Juan Manuel Valencia Ramos, Presidente de la Sociedad Cooperativa Tata Lázaro.



Gráfica 31. Análisis de consumo de combustible por semana en camión urbano

Tabla 5.13 Cálculo de kilómetros recorridos por año en Camiones urbanos

Camiones urbanos	
Desviación estándar del consumo de combustible semanal	399.7
Rendimiento promedio	3.5 km/lt
Consumo de combustible semanal promedio	\$2,525.86
Precio de combustible diesel por litro	\$5.87
Cantidad en litros semanales = (promedio de consumo de combustible semanal en \$) / (precio gasolina por litro en \$)	430.3 lt
Kilómetros recorridos semanalmente = (rendimiento km/lt) x (cantidad en litros semanales)	1, 506 km
Kilómetros recorridos anualmente = (Kilómetros recorridos semanalmente) x (52 semanas que tiene un año)	78,315 km por año

5.5.6 Consumo de combustible de autobuses y vehículos pesados

Para el caso del transporte de carga y de pasajeros, el valor que se ha considerado como ideal para los transportes en México, cuando no se tiene un kilometraje anual establecido, es de 100,000 km por año para el transporte de carga y 180,000 km por año para el transporte de pasajeros; esto, de acuerdo con estudios realizados en diferentes empresas de transporte, tanto de carga como de pasajeros.

Las tablas 5.14 y 5.15 muestran el resumen de la actividad vehicular por tipo de vehículo.

Tabla 5.14 Datos de actividad vehicular para cada categoría vehicular del servicio privado y federal

Año	Motocicleta	Automóvil	Pick up	Vehículos ligeros	Autobús	Vehículos pesados
	Gasolina	Gasolina	Gasolina	Gasolina	Diesel	Diesel
2007	13,321	15,142	23,017	23,017	180,000	100,000
2006	13,321	15,142	23,017	23,017	180,000	100,000
2005	13,321	15,142	23,017	23,017	180,000	100,000
2004	13,321	15,142	23,017	23,017	180,000	100,000
2003	13,321	15,142	23,017	23,017	180,000	100,000
2002	13,321	15,142	23,017	23,017	180,000	100,000
2001	13,321	15,142	23,017	23,017	180,000	100,000
2000	13,321	15,142	23,017	23,017	180,000	100,000
1999	13,321	15,142	23,017	23,017	180,000	100,000
1998	13,321	15,142	23,017	23,017	180,000	100,000
1997	13,321	15,142	23,017	23,017	180,000	100,000
1996	13,321	15,142	23,017	23,017	180,000	100,000
1995	13,321	15,142	23,017	23,017	180,000	100,000
1994	13,321	15,142	23,017	23,017	180,000	100,000
1993	13,321	15,142	23,017	23,017	180,000	100,000
1992	13,321	15,142	23,017	23,017	180,000	100,000
1991	13,321	15,142	23,017	23,017	180,000	100,000
1990	13,321	15,142	23,017	23,017	180,000	100,000
1989	13,321	15,142	23,017	23,017	180,000	100,000
1988	13,321	15,142	23,017	23,017	180,000	100,000
1987	13,321	15,142	23,017	23,017	180,000	100,000
1986	13,321	15,142	23,017	23,017	180,000	100,000
1985	13,321	15,142	23,017	23,017	180,000	100,000
1984	13,321	15,142	23,017	23,017	180,000	100,000
1983 y anteriores	13,321	15,142	23,017	23,017	180,000	100,000

Tabla 5.15 Datos de actividad vehicular para cada categoría vehicular del servicio público

Año	Taxi	Camión urbano
	Gasolina	Diesel
2007	67043	78315
2006	67043	78315
2005	67043	78315
2004	67043	78315
2003	67043	78315
2002	67043	78315
2001	67043	78315
2000	67043	78315
1999	67043	78315
1998	67043	78315
1997	67043	78315
1996	67043	78315
1995	67043	78315
1994	67043	78315
1993	67043	78315
1992	67043	78315
1991	67043	78315
1990	67043	78315
1989	67043	78315
1988	67043	78315
1987	67043	78315
1986	67043	78315
1985	67043	78315
1984	67043	78315
1983 y anteriores	67043	78315

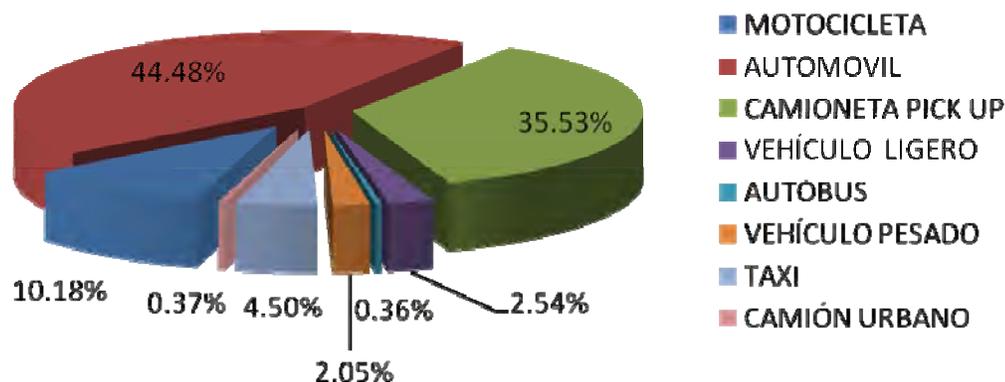
5.6 Resultados

Para la obtención de los resultados, se utilizaron los datos de entrada de las secciones anteriores de este capítulo. Se procedió a emplear el MOBILE6 para estimar las emisiones de los contaminantes CO, HC, NOx y PM10, emitidas a la atmósfera, tanto evaporativas, como las emitidas por el escape, sin considerar las emisiones por desgaste de llanta y frenos.

Para la obtención de las emisiones y factores de emisión vehicular se plantearon dos escenarios en función de las velocidades de punto obtenidas en la ciudad:

- El primero para velocidades de la zona Centro (36 km/h)
- El segundo escenario es para velocidades de las avenidas rápidas (56 km/h)

En la Gráfica 32 se muestra la distribución vehicular por clase, donde se observa que la mayor cantidad de población vehicular corresponde a los automóviles, seguida por las camionetas pick up.

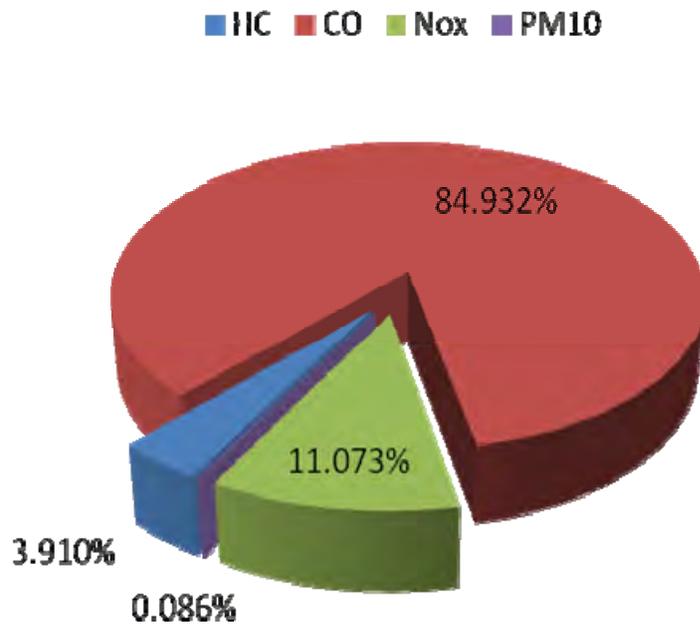


Gráfica 32. Distribución del parque vehicular por clase en el año 2007

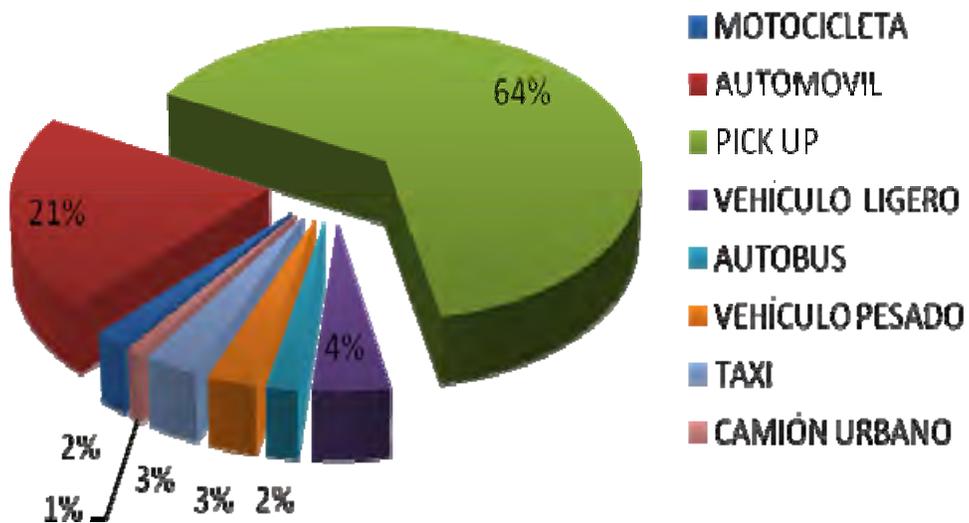
5.6.1 Escenario 1

Para este escenario se obtuvo la contribución por tipo de contaminante, y se muestran en la gráfica 33. Para cada tipo de contaminante se obtuvo la aportación que representa cada clase de vehículo que circula en la ciudad, y los resultados se muestran en las graficas 34, 35, 36 y 37.

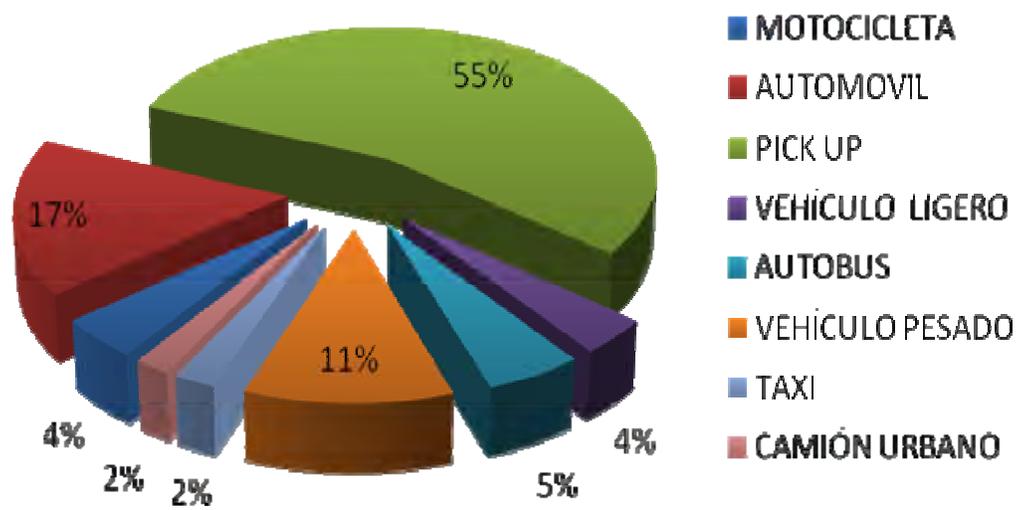
La gráfica 38 presenta el resultado de emisiones emitidas a la atmosfera por tipo de vehículo y contaminante al año, expresadas en miles de kilogramos.



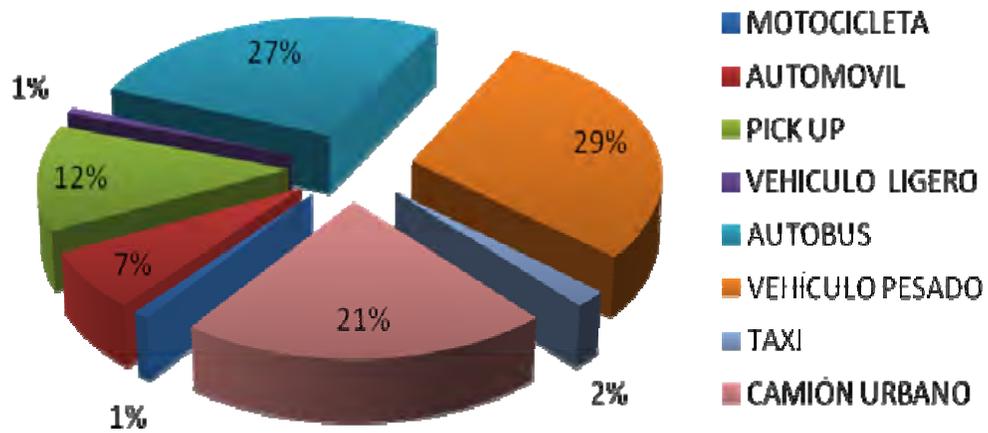
Gráfica 33. Contribución de contaminantes para velocidades de 36 km/hh



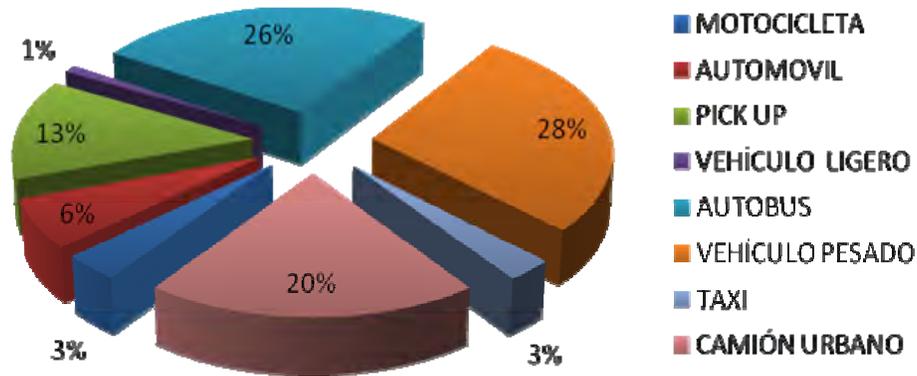
Gráfica 34. Emisiones de CO por clase vehicular



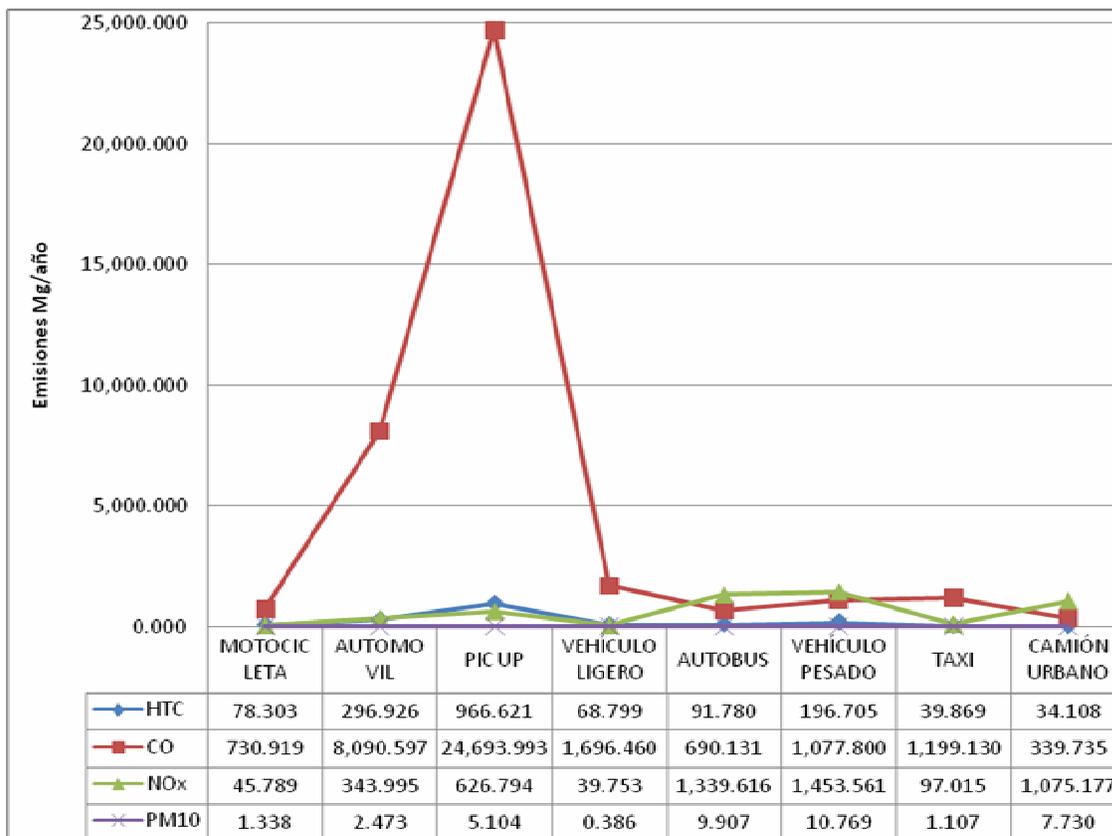
Gráfica 35. Emisiones de HC por clase vehicular



Gráfica 36. Emisiones de NOx por clase vehicular



Gráfica 37. Emisiones de PM10 por clase vehicular



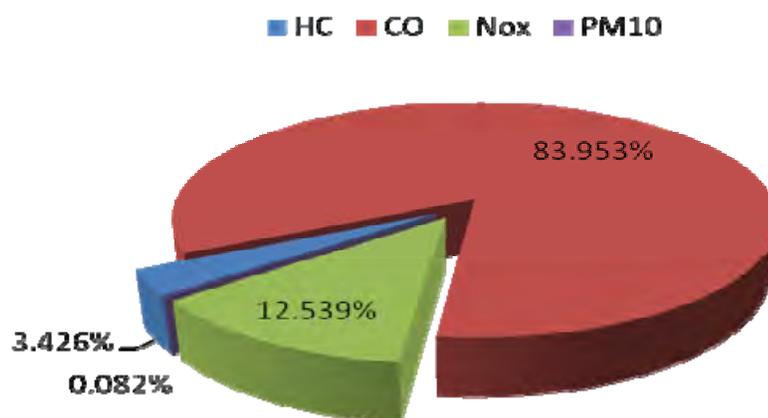
Gráfica 38. Emisiones anuales de los contaminantes CO, HC, NOx y PM10 para velocidades de 36 km/h en las 8 clases vehiculares de la ciudad de Uruapan, para el año 2007 (Mg/año)*

*1 Mg = 1000 kg

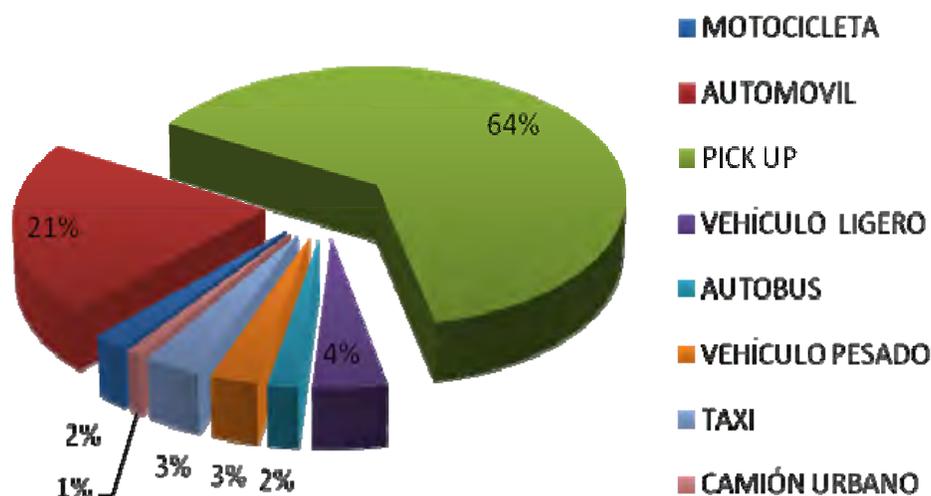
5.6.2 Escenario 2

Para este escenario se obtuvo la contribución por tipo de contaminante; y se muestran en la gráfica 39. Para cada tipo de contaminante se obtuvo la aportación que representa cada clase de vehículo que circula en la ciudad, y los resultados se muestran en las graficas 40, 41, 42 y 43.

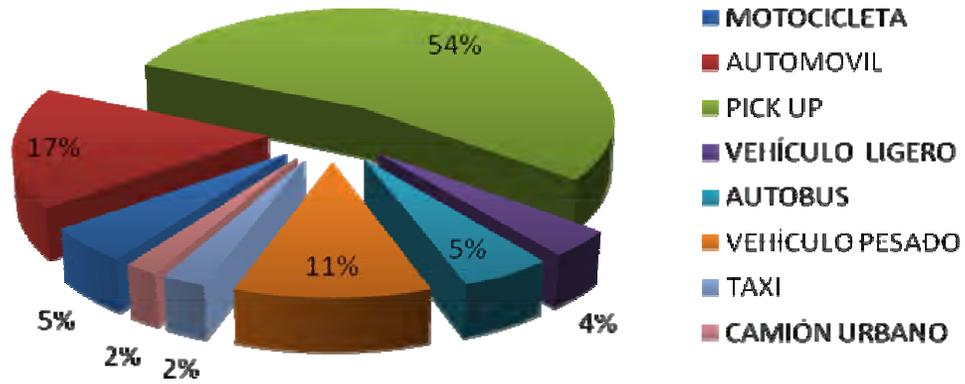
La gráfica 44 muestra el resultado de emisiones emitidas a la atmósfera por tipo de vehículo y contaminante al año; expresada en miles de kilogramos.



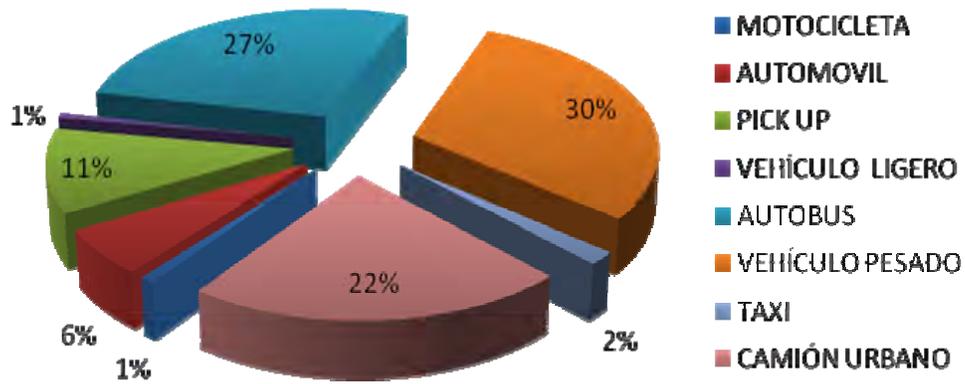
Gráfica 39. Contribución de contaminantes para velocidades de 56 km/h



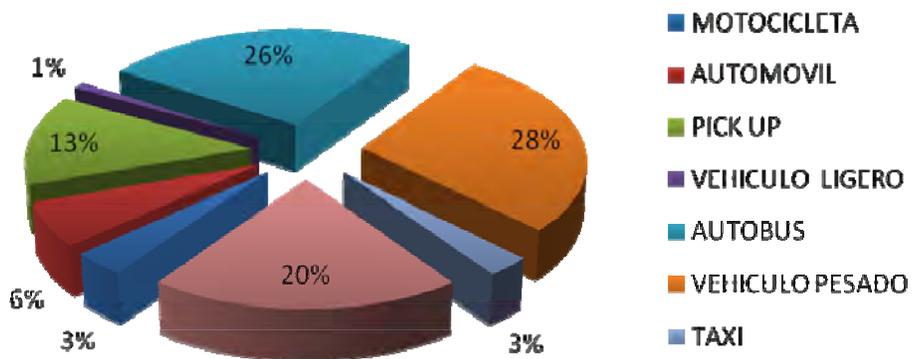
Gráfica 40. Emisiones de CO por clase vehicular



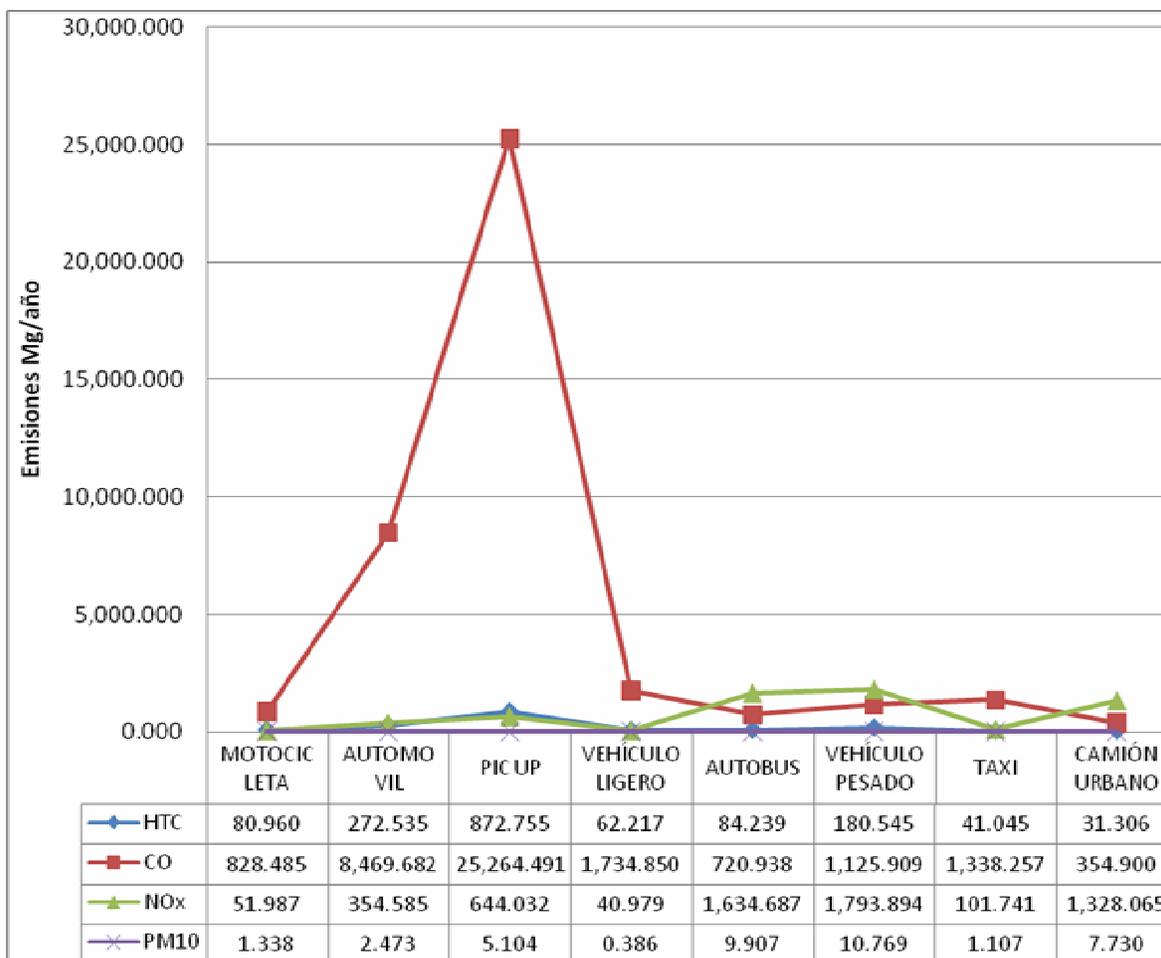
Gráfica 41. Emisiones de HC por clase vehicular



Gráfica 42. Emisiones de NOx por clase vehicular



Gráfica 43. Emisiones de PM10 por clase vehicular



Gráfica 44. Emisiones anuales de los contaminantes CO, HC, NOx y PM10 para velocidades de 56 km/h, en las 8 clases vehiculares de la ciudad de Uruapan, para el año 2007 (Mg/año)*

*1 Mg = 1000 kg

5.7 Discusión de los resultados

Los resultados muestran que los CO representan en promedio el 84% del total de las emisiones generadas, principalmente por los vehículos que usan gasolina como combustible. El contaminante NOx representa el 11%; HC el 4%; y las PM10 sólo 1% del total de emisiones.

En los dos escenarios, con la diferencia de velocidades, no se aprecia una diferencia significativa en cuanto el porcentaje de aportación de cada contaminante.

Debido al cambio de velocidad, las emisiones de CO y NOx aumentan si la velocidad del vehículo es mayor; pero en el caso del HC disminuye; para las PM10 se mantiene porque el modelo para este contaminante no es sensible al cambio de velocidad.

Cabe mencionar que las camionetas pick up y los automóviles representan el 80% de la flota, y en específico son la principal fuente de contaminación de CO en la ciudad de estudio.

Los vehículos pesados, los autobuses y camiones urbanos a diesel representan solo el 3% de la flota vehicular, y son la categoría de fuente más significativa en cuanto a emisiones de NOx con una aportación del 79%; y PM10, con 74%. Ello se debe a que los factores de emisión de estos contaminantes para vehículos pesados que se alimentan con diesel son considerablemente mayores que los correspondientes a vehículos a gasolina.

El 97% de la flota vehicular de la ciudad emplea gasolina como combustible, de la cual el 92% utiliza gasolina magna, y sólo el 3% son unidades a diesel.

Debido a que el sector que más contamina en la ciudad son los vehículos a gasolina, se realizará un análisis de los factores por estrato tecnológico para ver su disminución con origen en el control de contaminantes.

En las tablas 5.16 y 5.17 se presentan los factores de emisión en gramos por kilómetro por estrato tecnológico para los dos escenarios de velocidades.

Tabla 5.16 Factores de emisión en g/km en vehículos a gasolina para el escenario 1 (velocidad vehicular de 36 km/h)

Promedio/Modelo	Contaminante que controlar	HC	CO	NOx	Vehículos (%)
1990 y anteriores	Sin control	1.686	38.715	0.910	27
1991 -1992	CO y COV	0.701	15.438	1.186	7
1993 - 1998	CO, COV, NOx	0.574	12.964	1.021	28
1999 - 2007	CO, COV, NOx	0.316	4.963	0.432	37

Tabla 5.17 Factores de emisión vehículos a gasolina para el escenario 2 (velocidad vehicular de 56 km/h)

Promedio/Modelo	Contaminante que controlar	HC	CO	NOx	Vehículos (%)
1990 y anteriores	Sin control	1.552	39.615	0.942	27
1991 -1992	CO y COV	0.668	16.865	1.220	7
1993 - 1998	CO, COV, NOx	0.554	14.267	1.054	28
1999 - 2007	CO, COV, NOx	0.327	5.609	0.463	37

En unidades de 1990 y anteriores, no cuentan con un sistema de control de emisiones.

La segunda clasificación es de unidades 1991 a 1992, las cuales presentan en su gran mayoría, convertidores catalíticos de dos vías. Este equipo permite la reducción de hasta un 70% de las emisiones de monóxido de carbono e hidrocarburos.

El contenido máximo de azufre en el combustible afecta gravemente los dispositivos catalíticos que se incorporan a los vehículos para disminuir las emisiones de gases parcialmente oxidados.

El tercer estrato se conforma por unidades modelo 1993 a 1998, cuyas características son el uso de convertidores catalíticos de tres vías e inyección electrónica en circuito cerrado. Estos vehículos presentan un control electrónico segundo a segundo, de la relación aire-combustible; y el convertidor catalítico, también actúa sobre los óxidos de nitrógeno.

El último grupo lo constituyen las unidades 1999 y posteriores, a las cuales se les aplica una norma de emisiones como unidades nuevas más estricta a la de las unidades del estrato inmediato anterior. De acuerdo con los resultados, el monóxido de carbono pasó de 14.028 a 5.939 g/km.

La información obtenida del MOBILE6 y representada a través de gráficos, puede ser interpretada además para otros fines, según convengan a los interesados.

6 Conclusiones

El diagnóstico y monitoreo de la calidad del aire en las ciudades, tiene como tarea fundamental conocer la naturaleza y la cantidad de emisiones generadas por las diferentes fuentes productoras de tales contaminantes. Para ello existen diversas herramientas y métodos que permiten cuantificar las emisiones emitidas por una fuente, ya sea móvil o fija; pero su complejidad, costo de implementación y necesidad de datos de entrada, hacen que su uso en México sea aún restringido.

Con la propuesta metodológica utilizada en el presente trabajo y la herramienta informática del modelo MOBILE6 adaptado a condiciones vehiculares mexicanas, permitió conocer la naturaleza de las emisiones en la ciudad de Uruapan, obteniendo resultados que muestran las condiciones ambientales de la ciudad a un nivel macro.

Los resultados de la propuesta metodológica utilizada, permite concluir que:

- 1.- Las emisiones de CO representan el principal contaminante, ocupando un 84% del total. De los cuales las camionetas pick up son uno de los principales generadores, seguido por los automóviles.
- 2.- Los vehículos pesados, los autobuses y camiones urbanos a diesel representan una minoría respecto a la flota vehicular de la ciudad, y son la categoría de fuente más significativa en cuanto a emisiones de NOx, y PM10.
- 3.- Las emisiones, debido a las diferentes velocidades constantes de la ciudad no generaron diferencias significativas; sin embargo, el aumento de la velocidad en una avenida provoca un crecimiento de las emisiones de CO y NOx.

El uso de la metodología propuesta permite obtener información del comportamiento ambiental en cuanto a la generación de emisiones contaminantes, con requerimientos relativamente bajos de datos de entrada, y puede ser aplicado a cualquier ciudad de la República Mexicana, con sólo realizar estudios e investigaciones necesarias para caracterizar las condiciones locales de la ciudad, de la flota vehicular y de la actividad de la misma.

Los resultados obtenidos podrán servir de uso a las autoridades ambientales de Uruapan para la toma de decisiones que coadyuven a la mejora de las condiciones del aire de la ciudad. Algunas ideas generadas y susceptibles a implementar, se describen en los siguientes párrafos.

Una estrategia que se considera útil para disminuir la generación de emisiones emitidas a la atmósfera por la operación vehicular, es la implementación de un programa de verificación vehicular en la ciudad, aplicado de manera estratificada en el tiempo; comenzando de manera obligada con las camionetas pick up por el alto porcentaje que representa del total de la flota vehicular, y de las emisiones de CO que generan, además de contener la invasión de automotores usados en malas condiciones procedentes de Estados Unidos. En una segunda etapa, el resto de los vehículos ligeros; y finalizando en una tercera etapa, con el resto de la flota vehicular.

El mantenimiento vehicular es una obligación ciudadana para hacer un uso eficiente del transporte, ya que el descuido de algunas personas, en cuanto al mantenimiento y cuidado de las partes mecánicas de los motores de sus automóviles, hace que el rendimiento del combustible utilizado en éste no sea aprovechado de manera óptima, haciendo que la quema sea ineficiente y aumente las emisiones de sustancias contaminantes a la atmosfera.

A nivel mundial, el panorama muestra un compromiso de las naciones para la reducción de emisiones contaminantes; particularmente las de los gases de efecto invernadero; causa probable del calentamiento global. El IMT, a través de los comités técnicos de la Asociación Mundial de la Carretera (PIARC, por sus siglas), participa activamente en dichos temas de investigación.

Otra estrategia derivada de los trabajos inmersos en dichos comités, es promover la construcción de libramientos carreteros para las ciudades para evitar que cientos y miles de automovilistas hagan su travesía en ellas cuando el destino es otra ciudad; y que además de los gastos de combustible y vehiculares, dejan a su paso un gran número de emisiones vehiculares emitidas a la atmósfera.

Derivado de los resultados del presente trabajo, Uruapan contará con un inventario de emisiones provenientes de la operación del transporte; y se suma a ciudades como Monterrey, Tijuana, Ciudad Juárez y la Ciudad de México; dicha información puede ser utilizada para establecer diagnósticos ambientales y estrategias que mitiguen los efectos negativos al medio ambiente y a la salud humana, promoviendo ciudades con una calidad del aire más limpio.

Finalmente, se considera prioritario que en México se establezcan políticas que sancionen o estimulen las decisiones ambientales en las ciudades, así como realizar esfuerzos de concientización y educación ambiental que ayuden a modificar los malos patrones de vida actuales, en modelos de vida más sustentables.

Bibliografía

Adame Romero, Aurora; Salín Pascual, Daniel A. *Contaminación ambiental*. Segunda edición, Editorial Trillas. México. (2000)

Aguilar Gómez, J. Andrés. Curso Uso del MOBILE6_México. Instituto Nacional de Ecología (INE). México, D.F. (Febrero de 2009)

Air Resources Board. *Methodology for Estimating Emissions from On-Road Motor Vehicles*. Volume I: EMFAC7F, California Air Resources Board, Sacramento, California, USA. (1993)

Anderson, David R.; Sweeney, Dennis J.; Williams, Tomas A. *Estadística para administración y economía*. (2005)

Box, Paul C.; Oppenlander, Joseph C. Ph. D. *Manual de Estudios de Ingeniería de Tránsito*. Representaciones y Servicios de Ingeniería, S.A. USA (1985)

Centro Nacional de Estudios Municipales de la Secretaría de Gobernación. "*Los Municipios del Estado de Michoacán*". Enciclopedia de los Municipios de México. México, DF. (1987-1988).

Dick, Homero Cuatecontzi; Gasca, Jorge; González, Uriel; Guzmán, Francisco. *Opciones para mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero del sector transporte*. Instituto Mexicano del Petróleo. México, DF.

Gustafsson M, Blomqvist G, Dahl A, Gudmundsson A; *Inhalable Particles from Pavement Wear caused by Studded Tyres – Properties and Inflammatory Effects in Human Airway Cell*; Administradora Sueca de Caminos, Reporte 520; Suecia, (2005)

IEA (International Energy Agency). *Saving Oil and Reducing CO2 Emissions in Transport: Options & Strategies*. París: IEA, OECD. [IEA 2000]

Instituto Nacional de Ecología. *Manuales del programa de inventarios de emisiones de México, Volumen VI - Desarrollo de Inventarios de emisiones de vehículos automotores*. México, DF. (1997)

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). *Technical Summary of Climate Change*. Disponible en: <http://www.ipcc.ch/pub/wg3spm.pdf>. [IPCC 2001]

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). *Methodological and Technological Issues in Technology Transfer*. Working Group III. New York. (2000)

Johannes F., José Puy Huarte. *Métodos Estadísticos en Ingeniería de Tránsito*. Publicado por Representaciones y Servicios de Ingeniería, S.A. México, DF. (1975)

Mendoza Sánchez, Juan Fernando. *El impacto ambiental de ruido generado por el transporte carretero y su valoración hacia un transporte sustentable*. Seminario Internacional, PIARC. Monterrey, México. (2006)

Molina, Luisa T.; Molina, Mario J. *La calidad del aire en la megaciudad de México, un enfoque integral*. Fondo de Cultura Económica, México, ISBN 968-16-7580-0 (2005)

Quintanilla Martínez, Juan. *Escenarios de emisiones futuras en el sistema energético mexicano*. Instituto Mexicano del Petróleo.

Racero Moreno, Jesús; David Ortiz, José; Galán de Vega, Ricardo; Villa Caro, Gabriel. *Estimación de la emisión de contaminantes debida al tráfico urbano mediante modelos de asignación de tráfico*. Universidad de Sevilla. [Racero et al]

Rafael Morales, Mercedes Yolanda; Zavala Ponce, Armando. Publicación Técnica No. 128 del IMT. *Selección del tren motriz de vehículos pesados (carga y pasajeros) destinados al servicio publico federal*. Sanfandila, Querétaro. (1999)

Ruza, F. *El ruido del tráfico: Evaluación y corrección de su impacto*. Simposio sobre Impacto Ambiental de Carreteras, PIARC, España (1988)

United States Environmental Protection Agency. <http://www.epa.gov>. (Marzo 2006). [USEPA].

REFERENCIAS SOBRE RUIDO

Instituto Mexicano del Transporte. *Estudio del ruido generado por la operación del transporte carretero. Caso I, Querétaro*. Publicación Técnica No 154; (2001)

Instituto Mexicano del Transporte. *Estudio del ruido generado por la operación del transporte carretero. Caso II, Jalisco*. Publicación Técnica No 187, (2001)

Instituto Mexicano del Transporte. *Estudio del ruido generado por la operación del transporte carretero. Caso III, Nuevo León*. Publicación Técnica No 193, (2002)

Instituto Mexicano del Transporte. *Estudio del ruido generado por la operación del transporte carretero. Caso IV, Veracruz*. Publicación Técnica No 194, (2002)

Instituto Mexicano del Transporte. *Propuesta de normatividad mexicana para regular el ruido que genera la operación del transporte carretero*. Documento Técnico No 30 (2003)

Anexo 1.

Tablas de factores de emisión para cada año, modelo, clase vehicular y contaminante.

Tabla A.1 Factores de emisión de HC para cada año-modelo y clase para el escenario 1 (Velocidad de 36 km/hr)

HC (gramos/kilómetro)_MOBILE6-México								
AÑO MODELO	MOTOCICLETA	AUTOMOVIL	PICK UP	VEHICULO LIGERO	AUTOBUS	VEHICULO PESADO	TAXI	CAMIÓN URBANO
	Gasolina	Gasolina	Gasolina	Gasolina	Diesel	Diesel	Gasolina	Diesel
1983	1.299	2.461	5.589	5.589	7.058	2.328	2.461	6.695
1984	1.299	2.194	3.404	3.404	7.097	2.328	2.194	6.908
1985	1.299	1.504	2.582	2.582	7.001	2.328	1.504	7.048
1986	1.299	1.060	2.291	2.284	6.878	2.328	1.060	7.048
1987	1.299	1.002	2.035	1.988	6.798	2.328	1.002	7.048
1988	1.299	0.586	1.261	1.215	6.695	1.992	0.586	8.132
1989	1.299	0.471	0.916	0.879	5.785	1.457	0.471	8.113
1990	1.299	0.399	0.850	0.813	5.738	1.456	0.399	8.114
1991	1.299	0.368	0.808	0.770	2.924	0.690	0.368	5.419
1992	1.299	0.343	0.726	0.690	2.871	0.688	0.343	5.387
1993	1.299	0.319	0.677	0.641	2.742	0.548	0.319	5.364
1994	1.299	0.300	0.575	0.542	1.557	0.497	0.300	6.400
1995	1.299	0.284	0.541	0.508	1.532	0.496	0.284	6.408
1996	1.299	0.268	0.507	0.475	1.508	0.495	0.268	3.105
1997	1.260	0.254	0.468	0.441	1.372	0.283	0.254	0.829
1998	1.214	0.240	0.427	0.406	1.346	0.282	0.240	0.829
1999	1.162	0.234	0.348	0.332	1.318	0.280	0.234	0.831
2000	1.103	0.218	0.309	0.299	1.296	0.279	0.218	0.831
2001	1.038	0.190	0.280	0.285	1.272	0.277	0.190	0.831
2002	0.966	0.162	0.252	0.255	1.245	0.274	0.162	0.831
2003	0.887	0.130	0.211	0.221	1.215	0.272	0.130	0.831
2004	0.802	0.108	0.170	0.170	1.237	0.282	0.108	0.871
2005	0.710	0.092	0.138	0.138	1.197	0.279	0.092	0.871
2006	0.611	0.077	0.106	0.106	1.152	0.275	0.077	0.871
2007	0.611	0.068	0.085	0.085	1.152	0.275	0.068	0.871

CO (gramos/kilómetro)_MOBILE6-México								
AÑO MODELO	MOTOCICLETA	AUTOMOVIL	PICK UP	VEHICULO LIGERO	AUTOBUS	VEHICULO PESADO	TAXI	CAMION URBANO
	Gasolina	Gasolina	Gasolina	Gasolina	Diesel	Diesel	Gasolina	Diesel
1983	8.529	55.044	134.388	130.684	53.949	13.271	55.044	53.680
1984	8.529	50.958	85.920	83.938	54.782	13.336	50.958	55.260
1985	8.529	38.846	71.007	69.426	52.536	13.159	38.846	53.996
1986	8.529	30.512	62.033	60.432	52.375	13.260	30.512	54.096
1987	8.529	28.801	54.865	53.284	51.210	13.190	28.801	52.855
1988	8.529	21.262	34.002	33.018	50.128	11.257	21.262	59.725
1989	8.529	16.809	24.321	23.674	49.218	9.355	16.809	66.897
1990	8.529	15.208	22.567	21.924	47.743	9.253	15.208	65.626
1991	8.529	14.238	21.273	20.633	42.269	2.024	14.238	16.650
1992	8.529	13.821	19.986	19.313	11.575	2.007	13.821	16.615
1993	8.529	13.042	18.985	18.289	12.991	2.417	13.042	24.585
1994	8.529	12.687	17.148	16.436	12.010	0.564	12.687	32.208
1995	8.529	12.190	16.451	15.703	11.789	0.560	12.190	32.253
1996	8.529	12.205	16.354	15.586	11.567	0.556	12.205	34.693
1997	8.436	11.471	15.425	14.751	7.394	1.443	11.471	12.694
1998	8.327	10.705	14.434	13.871	7.227	1.440	10.705	12.706
1999	8.203	7.370	10.795	10.431	7.098	1.435	7.370	12.719
2000	8.063	6.616	9.849	9.603	7.005	1.430	6.616	12.719
2001	7.907	5.215	8.173	8.719	6.900	1.424	5.215	12.719
2002	7.735	3.900	6.502	6.754	6.783	1.418	3.900	12.719
2003	7.548	2.489	4.573	5.184	6.651	1.411	2.489	12.719
2004	7.345	1.761	3.120	3.120	6.502	1.402	1.761	12.719
2005	7.126	1.316	2.050	2.050	6.336	1.393	1.316	12.719
2006	6.892	0.921	1.273	1.273	6.150	1.383	0.921	12.719
2007	6.892	0.677	0.810	0.810	6.150	1.383	0.677	12.719

NOx (gramos/kilómetro)_MOBILE6-México								
AÑO MODELO	MOTOCICLETA	AUTOMOVIL	PICK UP	VEHICULO LIGERO	AUTOBUS	VEHICULO PESADO	TAXI	CAMION URBANO
	Gasolina	Gasolina	Gasolina	Gasolina	Diesel	Diesel	Gasolina	Diesel
1983	0.457	0.553	0.458	0.456	47.082	15.529	0.553	44.659
1984	0.457	0.590	0.364	0.363	47.339	15.529	0.590	46.085
1985	0.457	1.124	0.750	0.744	46.703	15.529	1.124	47.014
1986	0.457	1.152	1.025	1.004	45.881	15.529	1.152	47.014
1987	0.457	1.171	1.246	1.212	45.347	15.529	1.171	47.014
1988	0.457	0.973	1.122	1.087	46.066	13.286	0.973	54.245
1989	0.457	1.365	1.640	1.588	45.826	11.039	1.365	61.475
1990	0.457	1.336	1.600	1.546	45.088	11.030	1.336	61.482
1991	0.457	1.273	1.539	1.483	39.619	4.346	1.273	63.682
1992	0.457	1.198	1.517	1.459	40.168	4.339	1.198	63.706
1993	0.457	1.133	1.465	1.405	30.598	5.034	1.133	51.259
1994	0.457	1.072	1.470	1.404	26.413	4.387	1.072	46.224
1995	0.457	1.029	1.405	1.338	26.144	4.384	1.029	46.289
1996	0.457	0.985	1.336	1.272	25.389	4.381	0.985	43.404
1997	0.457	0.922	1.259	1.205	25.137	4.037	0.922	49.776
1998	0.457	0.858	1.180	1.137	25.534	4.036	0.858	49.818
1999	0.457	0.458	0.975	0.941	24.293	4.035	0.458	49.868
2000	0.457	0.419	0.887	0.864	24.237	4.034	0.419	49.868
2001	0.457	0.362	0.762	0.785	24.173	4.032	0.362	49.868
2002	0.457	0.306	0.652	0.662	21.977	4.031	0.306	49.333
2003	0.457	0.247	0.537	0.561	19.888	4.029	0.247	47.729
2004	0.457	0.212	0.437	0.437	22.476	4.027	0.212	49.868
2005	0.457	0.186	0.355	0.355	22.375	4.025	0.186	49.868
2006	0.457	0.163	0.294	0.294	22.262	4.023	0.163	49.868
2007	0.457	0.149	0.256	0.256	22.262	4.023	0.149	49.868

PM10 (gramos/kilómetro)_MOBILE6-México								
AÑO MODELO	MOTOCICLETA	AUTOMOVIL	PICK UP	VEHICULO LIGERO	AUTOBUS	VEHICULO PESADO	TAXI	CAMION URBANO
	Gasolina	Gasolina	Gasolina	Gasolina	Diesel	Diesel	Gasolina	Diesel
1983	0.013	0.005	0.008	0.009	0.208	0.071	0.005	0.358
1984	0.013	0.005	0.008	0.009	0.208	0.071	0.005	0.358
1985	0.013	0.005	0.008	0.009	0.208	0.071	0.005	0.358
1986	0.013	0.005	0.008	0.009	0.208	0.071	0.005	0.358
1987	0.013	0.005	0.008	0.009	0.208	0.071	0.005	0.358
1988	0.013	0.005	0.008	0.009	0.208	0.071	0.005	0.358
1989	0.013	0.005	0.008	0.009	0.208	0.071	0.005	0.358
1990	0.013	0.005	0.008	0.009	0.208	0.071	0.005	0.358
1991	0.013	0.005	0.008	0.009	0.208	0.071	0.005	0.358
1992	0.013	0.005	0.008	0.009	0.208	0.071	0.005	0.358
1993	0.013	0.005	0.008	0.009	0.208	0.071	0.005	0.358
1994	0.013	0.005	0.008	0.009	0.208	0.071	0.005	0.358
1995	0.013	0.005	0.008	0.009	0.208	0.071	0.005	0.358
1996	0.013	0.005	0.008	0.009	0.208	0.071	0.005	0.358
1997	0.013	0.005	0.008	0.009	0.208	0.071	0.005	0.358
1998	0.013	0.005	0.008	0.009	0.208	0.071	0.005	0.358
1999	0.013	0.005	0.008	0.009	0.208	0.071	0.005	0.358
2000	0.013	0.005	0.008	0.009	0.208	0.071	0.005	0.358
2001	0.013	0.005	0.008	0.009	0.208	0.071	0.005	0.358
2002	0.013	0.005	0.008	0.009	0.208	0.071	0.005	0.358
2003	0.013	0.005	0.008	0.009	0.208	0.071	0.005	0.358
2004	0.013	0.005	0.008	0.009	0.208	0.071	0.005	0.358
2005	0.013	0.005	0.008	0.009	0.208	0.071	0.005	0.358
2006	0.013	0.005	0.008	0.009	0.208	0.071	0.005	0.358
2007	0.013	0.005	0.008	0.009	0.208	0.071	0.005	0.358

Tabla A.2 Factores de emisión de HC para cada año-modelo y clase para el escenario 2 (Velocidad de 56 km/hr)

HC (gramos/kilómetro)_MOBILE6-México								
AÑO MODELO	MOTOCICLETA	AUTOMOVIL	PICK UP	VEHICULO LIGERO	AUTOBUS	VEHICULO PESADO	TAXI	CAMION URBANO
	Gasolina	Gasolina	Gasolina	Gasolina	Diesel	Diesel	Gasolina	Diesel
1983	1.343	2.215	5.027	5.027	6.478	2.137	2.215	6.145
1984	1.343	1.974	3.061	3.061	6.514	2.137	1.974	6.341
1985	1.343	1.354	2.322	2.322	6.426	2.137	1.354	6.469
1986	1.343	0.956	2.061	2.054	6.313	2.137	0.956	6.469
1987	1.343	0.903	1.830	1.788	6.239	2.137	0.903	6.469
1988	1.343	0.530	1.137	1.095	6.145	1.828	0.530	7.464
1989	1.343	0.426	0.826	0.794	5.310	1.337	0.426	7.447
1990	1.343	0.362	0.768	0.735	5.267	1.336	0.362	7.447
1991	1.343	0.333	0.730	0.696	2.684	0.633	0.333	4.973
1992	1.343	0.311	0.656	0.624	2.635	0.632	0.311	4.944
1993	1.343	0.290	0.612	0.580	2.517	0.503	0.290	4.923
1994	1.343	0.272	0.520	0.491	1.429	0.456	0.272	5.874
1995	1.343	0.258	0.490	0.461	1.406	0.455	0.258	5.882
1996	1.343	0.244	0.459	0.430	1.384	0.454	0.244	2.850
1997	1.303	0.235	0.424	0.399	1.259	0.260	0.235	0.761
1998	1.256	0.228	0.388	0.368	1.235	0.259	0.228	0.761
1999	1.202	0.244	0.318	0.303	1.210	0.257	0.244	0.762
2000	1.141	0.230	0.282	0.274	1.190	0.256	0.230	0.762
2001	1.073	0.205	0.269	0.271	1.168	0.254	0.205	0.762
2002	0.998	0.178	0.254	0.257	1.143	0.252	0.178	0.762
2003	0.917	0.145	0.221	0.231	1.115	0.249	0.145	0.762
2004	0.829	0.122	0.184	0.184	1.136	0.259	0.122	0.799
2005	0.734	0.104	0.153	0.153	1.099	0.256	0.104	0.799
2006	0.632	0.087	0.119	0.119	1.057	0.252	0.087	0.799
2007	0.632	0.077	0.097	0.097	1.057	0.252	0.077	0.799

CO (gramos/kilómetro)_MOBILE6-México								
AÑO MODELO	MOTOCICLETA	AUTOMOVIL	PICK UP	VEHICULO LIGERO	AUTOBUS	VEHICULO PESADO	TAXI	CAMION URBANO
	Gasolina	Gasolina	Gasolina	Gasolina	Diesel	Diesel	Gasolina	Diesel
1983	9.667	55.365	134.109	130.508	56.357	13.863	55.365	56.077
1984	9.667	51.490	85.638	83.670	57.228	13.932	51.490	57.726
1985	9.667	39.625	70.976	69.548	54.881	13.747	39.625	56.406
1986	9.667	31.619	62.332	60.883	54.713	13.852	31.619	56.511
1987	9.667	29.961	55.481	54.036	53.496	13.778	29.961	55.215
1988	9.667	22.589	35.516	34.564	52.365	11.760	22.589	62.391
1989	9.667	18.080	26.058	25.408	51.415	9.773	18.080	69.883
1990	9.667	16.539	24.320	23.663	49.874	9.666	16.539	68.556
1991	9.667	15.523	23.040	22.376	44.155	2.114	15.523	17.393
1992	9.667	15.086	21.691	20.989	12.092	2.097	15.086	17.357
1993	9.667	14.256	20.657	19.924	13.571	2.525	14.256	25.682
1994	9.667	13.880	18.726	17.968	12.546	0.589	13.880	33.646
1995	9.667	13.347	17.987	17.189	12.315	0.585	13.347	33.692
1996	9.667	13.390	17.918	17.096	12.083	0.581	13.390	36.241
1997	9.562	12.626	16.925	16.201	7.724	1.508	12.626	13.261
1998	9.439	11.825	15.861	15.255	7.550	1.504	11.825	13.274
1999	9.298	8.308	11.978	11.596	7.415	1.499	8.308	13.286
2000	9.139	7.487	10.984	10.724	7.318	1.494	7.487	13.286
2001	8.962	5.927	9.171	9.781	7.208	1.488	5.927	13.286
2002	8.768	4.453	7.334	7.619	7.085	1.481	4.453	13.286
2003	8.556	2.857	5.181	5.879	6.947	1.474	2.857	13.286
2004	8.326	2.019	3.555	3.555	6.793	1.465	2.019	13.286
2005	8.078	1.511	2.357	2.357	6.619	1.455	1.511	13.286
2006	7.812	1.057	1.464	1.464	6.424	1.444	1.057	13.286
2007	7.812	0.776	0.930	0.930	6.424	1.444	0.776	13.286

NOx (gramos/kilómetro)_MOBILE6-México								
AÑO MODELO	MOTOCICLETA	AUTOMOVIL	PICK UP	VEHICULO LIGERO	AUTOBUS	VEHICULO PESADO	TAXI	CAMIÓN URBANO
	Gasolina	Gasolina	Gasolina	Gasolina	Diesel	Diesel	Gasolina	Diesel
1983	0.519	0.577	0.483	0.481	58.106	19.165	0.577	55.116
1984	0.519	0.615	0.389	0.388	58.423	19.165	0.615	56.876
1985	0.519	1.145	0.774	0.767	57.638	19.165	1.145	58.022
1986	0.519	1.172	1.049	1.029	56.624	19.165	1.172	58.022
1987	0.519	1.191	1.270	1.237	55.964	19.165	1.191	58.022
1988	0.519	0.995	1.152	1.117	56.524	16.397	0.995	66.945
1989	0.519	1.389	1.671	1.619	56.090	13.623	1.389	75.868
1990	0.519	1.360	1.631	1.577	55.268	13.613	1.360	75.878
1991	0.519	1.297	1.570	1.515	48.347	5.364	1.297	78.593
1992	0.519	1.222	1.548	1.490	48.741	5.355	1.222	78.622
1993	0.519	1.156	1.497	1.437	36.807	6.212	1.156	63.260
1994	0.519	1.095	1.501	1.436	32.167	5.414	1.095	57.047
1995	0.519	1.051	1.436	1.370	31.799	5.411	1.051	57.127
1996	0.519	1.006	1.368	1.304	30.945	5.407	1.006	53.566
1997	0.519	0.943	1.290	1.236	30.609	4.982	0.943	61.430
1998	0.519	0.878	1.211	1.167	30.954	4.981	0.878	61.482
1999	0.519	0.484	1.005	0.970	29.641	4.980	0.484	61.544
2000	0.519	0.445	0.915	0.892	29.571	4.978	0.445	61.544
2001	0.519	0.386	0.788	0.811	29.492	4.977	0.386	61.544
2002	0.519	0.330	0.679	0.689	27.280	4.975	0.330	61.009
2003	0.519	0.268	0.566	0.591	25.172	4.973	0.268	59.405
2004	0.519	0.231	0.467	0.467	27.739	4.970	0.231	61.544
2005	0.519	0.203	0.383	0.383	27.614	4.968	0.203	61.544
2006	0.519	0.178	0.319	0.319	27.474	4.965	0.178	61.544
2007	0.519	0.162	0.280	0.280	27.474	4.965	0.162	61.544

PM10 (gramos/kilómetro)_MOBILE6-México								
AÑO MODELO	MOTOCICLETA	AUTOMOVIL	PICK UP	VEHÍCULO LIGERO	AUTOBUS	VEHÍCULO PESADO	TAXI	CAMIÓN URBANO
	Gasolina	Gasolina	Gasolina	Gasolina	Diesel	Diesel	Gasolina	Diesel
1983	0.013	0.005	0.008	0.009	0.208	0.071	0.005	0.358
1984	0.013	0.005	0.008	0.009	0.208	0.071	0.005	0.358
1985	0.013	0.005	0.008	0.009	0.208	0.071	0.005	0.358
1986	0.013	0.005	0.008	0.009	0.208	0.071	0.005	0.358
1987	0.013	0.005	0.008	0.009	0.208	0.071	0.005	0.358
1988	0.013	0.005	0.008	0.009	0.208	0.071	0.005	0.358
1989	0.013	0.005	0.008	0.009	0.208	0.071	0.005	0.358
1990	0.013	0.005	0.008	0.009	0.208	0.071	0.005	0.358
1991	0.013	0.005	0.008	0.009	0.208	0.071	0.005	0.358
1992	0.013	0.005	0.008	0.009	0.208	0.071	0.005	0.358
1993	0.013	0.005	0.008	0.009	0.208	0.071	0.005	0.358
1994	0.013	0.005	0.008	0.009	0.208	0.071	0.005	0.358
1995	0.013	0.005	0.008	0.009	0.208	0.071	0.005	0.358
1996	0.013	0.005	0.008	0.009	0.208	0.071	0.005	0.358
1997	0.013	0.005	0.008	0.009	0.208	0.071	0.005	0.358
1998	0.013	0.005	0.008	0.009	0.208	0.071	0.005	0.358
1999	0.013	0.005	0.008	0.009	0.208	0.071	0.005	0.358
2000	0.013	0.005	0.008	0.009	0.208	0.071	0.005	0.358
2001	0.013	0.005	0.008	0.009	0.208	0.071	0.005	0.358
2002	0.013	0.005	0.008	0.009	0.208	0.071	0.005	0.358
2003	0.013	0.005	0.008	0.009	0.208	0.071	0.005	0.358
2004	0.013	0.005	0.008	0.009	0.208	0.071	0.005	0.358
2005	0.013	0.005	0.008	0.009	0.208	0.071	0.005	0.358
2006	0.013	0.005	0.008	0.009	0.208	0.071	0.005	0.358
2007	0.013	0.005	0.008	0.009	0.208	0.071	0.005	0.358

Tabla A.3 Emisión anual de HC para cada año-modelo y clase para el escenario 1 (Velocidad de 36 km/hr)

AÑO MODELO	HC (gramos/año)							
	MOTOCICLETA	AUTOMOVIL	PICK UP	VEHICULO LIGERO	AUTOBUS	VEHICULO PESADO	TAXI	CAMIÓN URBANO
	Gasolina	Gasolina	Gasolina	Gasolina	Diesel	Diesel	Gasolina	Diesel
1983	1245957.589	164403121.329	540597148.185	47215410.134	15245227.117	154111526.751	495067.542	0.000
1984	0.000	20626466.649	46930224.169	1566952.393	0.000	6751109.178	147063.005	541022.191
1985	207659.598	8538368.965	37565906.537	1188794.511	0.000	3259156.155	0.000	551986.194
1986	103829.799	5570647.051	59860397.572	2102809.549	0.000	1396781.209	142159.655	0.000
1987	103829.799	6311205.924	37325166.995	1097985.130	0.000	698390.605	67172.145	0.000
1988	311489.397	3788259.677	27231263.525	1314184.456	0.000	796694.215	235685.744	0.000
1989	0.000	4353430.852	23940883.758	2185706.792	0.000	1019660.722	315989.036	0.000
1990	311489.397	4288837.656	23943298.019	1946786.527	6197064.562	1018877.773	240709.907	3177273.566
1991	415319.196	4399685.790	27972836.281	1932501.199	12631698.254	1448977.816	246583.929	848729.627
1992	1038297.990	6397603.675	20699651.644	1032296.646	3100411.359	3441247.747	1563456.258	843726.966
1993	0.000	7294223.096	23445302.418	840840.630	2961628.037	2796395.949	1967705.593	1260159.545
1994	415319.196	7410462.621	21356895.478	1060465.403	11771483.254	1639029.392	1827278.982	9522530.738
1995	415319.196	7871467.976	19455041.659	725631.199	1654393.836	1040930.839	1199162.768	1505572.175
1996	622978.794	8926041.989	12095238.271	305958.904	1628556.515	1187099.981	773512.831	0.000
1997	1510662.488	8102056.746	13322359.169	395422.420	11850538.744	5946498.478	1802141.502	1558611.086
1998	2232390.344	6903916.475	10330618.291	896457.300	11627733.797	253619.586	2966505.899	1104016.186
1999	3529577.455	2583057.907	4111754.706	550108.159	1423401.479	112123.283	3958890.608	2016374.013
2000	6877678.737	2024317.825	1982428.337	564822.563	0.000	362138.818	3109282.119	1300886.460
2001	2819982.775	2847411.089	2865258.223	413224.732	4122025.725	27657.988	5538002.592	1691152.398
2002	4321775.081	3251353.318	2490163.934	399239.755	1344681.539	109737.153	5254558.135	1105753.491
2003	6521143.120	2435747.784	1589853.543	228868.473	0.000	1930187.038	1963989.545	1626108.075
2004	6726612.488	2157431.558	1858906.297	317661.203	0.000	0.000	2057303.169	1772635.425
2005	9810411.158	2360709.591	1840898.030	308406.060	0.000	1421015.348	1757415.619	1159030.855
2006	14258563.981	1360724.120	1612033.847	114276.909	0.000	3545435.904	1456028.318	818139.427
2007	14502717.474	2719531.615	2197416.242	94259.142	6221089.915	2391107.935	783415.348	1704457.140
TOTAL	78,303,005.053	296,926,081.278	966,620,945.128	68,799,070.189	91,779,934.133	196,705,399.863	39,869,080.248	34,108,165.559

CO (gramos/año)								
AÑO MODELO	MOTOCICLETA	AUTOMOVIL	PICK UP	VEHICULO LIGERO	AUTOBUS	VEHICULO PESADO	TAXI	CAMIÓN URBANO
	Gasolina	Gasolina	Gasolina	Gasolina	Diesel	Diesel	Gasolina	Diesel
1983	8180016.115	3676471648.770	12997656005.653	1103922334.546	116529134.406	878539364.941	11070968.522	0.000
1984	0.000	479164371.918	1184594283.597	38639983.621	0.000	38674895.917	3416355.973	4327651.959
1985	1363336.019	220577765.954	1032919158.840	31959776.002	0.000	18422792.518	0.000	4228703.417
1986	681668.010	160318860.156	1620569903.058	55638580.901	0.000	7955806.873	4091243.563	0.000
1987	681668.010	181418205.453	1006470893.808	29434390.752	0.000	3956894.302	1930890.891	0.000
1988	2045004.029	137471761.294	734091703.343	35718323.523	0.000	4502827.316	8552775.452	0.000
1989	0.000	155255913.743	635938762.571	58849885.051	0.000	6548847.325	11269081.358	0.000
1990	2045004.029	163494232.494	635788483.429	52481574.730	51562634.686	6477294.476	9176071.636	25697665.970
1991	2726672.038	170317419.236	736414385.099	51763937.194	182599927.919	4249717.268	9545576.758	2607914.319
1992	6816680.096	257829571.828	569957226.050	28894823.529	12500968.123	10037283.291	63008788.604	2602483.415
1993	0.000	298206423.800	657635136.272	23994203.447	14030403.281	12325184.863	80444817.796	5776014.718
1994	2726672.038	313911501.459	637424564.055	32156549.684	90797981.731	1859876.965	77404599.174	47924896.612
1995	2726672.038	337966620.105	591059079.495	22409350.056	12731624.930	1175859.069	51486836.864	7577571.168
1996	4090008.057	406031551.986	390338775.343	10044903.134	12492042.503	1333996.147	35185876.948	0.000
1997	10113720.718	366484555.568	439545778.850	13241379.891	63887036.600	30311874.728	81517205.846	23859772.100
1998	15308031.646	307322400.835	348841206.786	30650628.884	62443904.803	1295557.075	132051672.171	16916804.025
1999	24913698.545	81244055.217	127468798.194	17285877.129	7666167.899	574013.546	124517660.367	30877857.948
2000	50265472.823	61509451.709	63249759.163	18125573.560	0.000	1859000.808	94476389.034	19921198.676
2001	21487086.718	78025385.209	83522404.194	12642820.610	22356463.058	142434.599	151753565.628	25897558.279
2002	34622594.297	78310703.658	64352502.732	10571829.814	7325115.268	567178.276	126559037.023	16933018.875
2003	55502823.502	46778968.232	34524075.472	5369141.107	0.000	10015795.688	37718767.571	24901498.346
2004	61641927.990	35029517.666	34039950.428	5816953.554	0.000	0.000	33403765.443	25897558.279
2005	98538010.478	33883784.918	27317005.533	4576424.070	0.000	7105393.649	25224573.601	16933018.875
2006	160843910.813	16331994.848	19419318.325	1376633.426	0.000	17837799.043	17475876.722	11952719.206
2007	163598087.368	27240349.796	20853848.238	894535.045	33208003.480	12030143.541	7847126.318	24901498.346
TOTAL	730,918,765.378	8,090,597,015.852	24,693,993,008.528	1,696,460,413.261	690,131,408.687	1,077,799,832.225	1,199,129,523.262	339,735,404.531

AÑO MODELO	NOx (gramos/año)							
	MOTOCICLETA	AUTOMOVIL	PICK UP	VEHICULO LIGERO	AUTOBUS	VEHICULO PESADO	TAXI	CAMIÓN URBANO
	Gasolina	Gasolina	Gasolina	Gasolina	Diesel	Diesel	Gasolina	Diesel
1983	438522.718	36913091.010	44287004.980	3851201.923	101697170.198	1028039557.572	111156.486	0.000
1984	0.000	5547369.037	5011807.652	166910.079	0.000	45034965.513	39551.746	3609171.569
1985	73087.120	6384988.007	10913899.649	342487.468	0.000	21741017.834	0.000	3681938.872
1986	36543.560	6054185.222	26765511.462	924627.488	0.000	9317579.072	154499.267	0.000
1987	36543.560	7378599.781	22849467.763	669493.919	0.000	4658789.536	78532.753	0.000
1988	109630.679	6291267.185	24230163.096	1176379.948	0.000	5314509.414	391409.807	0.000
1989	0.000	12606296.009	42883996.329	3948019.780	0.000	7727185.733	915014.262	0.000
1990	109630.679	14365602.018	45080344.175	3700203.366	48695161.872	7721009.134	806265.709	24074915.712
1991	146174.239	15233512.516	53269710.679	3720953.421	171153390.915	9127098.739	853774.462	9974565.911
1992	365435.598	22353938.986	43261758.033	2182102.564	43381331.013	21696700.429	5462890.102	9978303.307
1993	0.000	25897759.756	50756539.756	1843751.377	33045731.685	25671447.213	6986236.374	12042956.890
1994	146174.239	26530071.159	54637249.150	2747022.384	199680678.556	14476076.555	6541810.398	68781096.482
1995	146174.239	28519212.273	50468351.699	1909714.469	28235762.133	9206829.056	4344701.348	10875297.905
1996	219261.359	32760517.241	31898502.697	820041.947	27419973.902	10515379.357	2838960.477	0.000
1997	548153.397	29462024.532	35871567.571	1081736.069	217183819.052	84772509.787	6553241.827	93556491.764
1998	840501.876	24641808.340	28515449.935	2512249.842	220616625.862	3632324.613	10588203.098	66325519.997
1999	1388655.273	5049669.289	11517902.458	1559806.868	26236893.059	1613968.806	7739310.942	121067524.940
2000	2850397.665	3895540.837	5694692.994	1631488.096	0.000	5243863.792	5983415.904	78108080.606
2001	1242481.033	5411289.568	7786745.639	1138305.284	78319898.092	403243.646	10524555.366	101540504.788
2002	2046439.349	6149624.139	6448964.933	1035689.197	23735504.878	1612402.908	9938494.647	65680152.424
2003	3362007.502	4639130.368	4051335.260	581439.198	0.000	26608239.607	3740618.630	93448292.192
2004	3837073.780	4218427.780	4772006.354	815469.440	0.000	0.000	4022646.656	101540504.788
2005	6322035.847	4801443.236	4732673.072	792865.782	0.000	20529298.453	3574404.648	66391868.516
2006	10670719.464	2895532.784	4483350.605	317824.251	0.000	51896588.579	3098333.942	46864848.364
2007	10853437.263	5994478.151	6605052.316	283326.641	120213670.540	35000024.856	1726829.046	97635100.758
TOTAL	45,789,080.440	343,995,379.225	626,794,048.257	39,753,110.799	1,339,615,611.757	1,453,560,610.203	97,014,857.894	1,075,177,135.784

PM10 (gramos/año)								
AÑO MODELO	MOTOCICLETA	AUTOMOVIL	PICK UP	VEHICULO LIGERO	AUTOBUS	VEHICULO PESADO	TAXI	CAMION URBANO
	Gasolina	Gasolina	Gasolina	Gasolina	Diesel	Diesel	Gasolina	Diesel
1983	12813.589	332026.904	817347.357	75585.808	450307.587	4718287.454	999.833	0.000
1984	0.000	46744.209	116513.819	4119.118	0.000	206692.351	333.278	28006.141
1985	2135.598	28227.180	122932.777	4119.118	0.000	99782.514	0.000	28006.141
1986	1067.799	26119.550	220773.263	8238.235	0.000	42763.935	666.556	0.000
1987	1067.799	31313.351	155027.569	4942.941	0.000	21381.967	333.278	0.000
1988	3203.397	32141.348	182454.027	9679.926	0.000	28509.290	1999.667	0.000
1989	0.000	45916.212	220967.777	22243.235	0.000	49891.257	3332.778	0.000
1990	3203.397	53443.460	238084.999	21419.412	225153.794	49891.257	2999.500	140030.704
1991	4271.196	59465.258	292548.888	22449.191	900615.174	149673.771	3332.778	56012.282
1992	10677.990	92735.694	241002.707	13387.132	225153.794	356366.122	22662.892	56012.282
1993	0.000	113661.443	292743.401	11739.485	225153.794	363493.444	30661.560	84018.423
1994	4271.196	122995.230	314139.929	17506.250	1576076.555	235201.640	30328.282	532116.677
1995	4271.196	137823.909	303636.179	12769.265	225153.794	149673.771	20996.503	84018.423
1996	6406.794	165373.636	201710.902	5766.765	225153.794	171055.739	14330.946	0.000
1997	16016.986	158824.930	240808.193	8032.279	1801230.349	1496737.712	35327.449	672147.381
1998	24559.378	142716.620	204239.582	19771.765	1801230.349	64145.902	61323.119	476104.395
1999	40576.364	54798.365	99785.625	14828.823	225153.794	28509.290	83986.011	868190.367
2000	83288.325	46217.302	54269.375	16888.382	0.000	92655.192	70988.176	560122.817
2001	36305.167	74369.209	86364.166	12975.221	675461.381	7127.322	144642.575	728159.663
2002	59796.746	99811.307	83640.972	14005.000	225153.794	28509.290	161306.466	476104.395
2003	98237.512	93413.146	63800.555	9268.015	0.000	506039.893	75320.788	700153.522
2004	112118.900	98908.037	92199.583	16682.426	0.000	0.000	94317.624	728159.663
2005	184729.234	128038.486	112623.541	19977.720	0.000	363493.444	95317.457	476104.395
2006	311797.321	88144.073	128962.708	9679.926	0.000	919424.595	94317.624	336073.690
2007	317136.316	200149.521	217661.041	9885.882	1125768.968	620077.052	57657.063	700153.522
TOTAL	1,337,952.201	2,473,378.378	5,104,238.936	385,961.322	9,906,766.917	10,769,384.204	1,107,482.205	7,729,694.880

Tabla A.4 Emisión anual de HC para cada año-modelo y clase para el escenario 2 (Velocidad de 56 km/hr)

AÑO MODELO	HC (gramos/año)							
	MOTOCICLETA	AUTOMOVIL	PICK UP	VEHICULO LIGERO	AUTOBUS	VEHICULO PESADO	TAXI	CAMIÓN URBANO
	Gasolina	Gasolina	Gasolina	Gasolina	Diesel	Diesel	Gasolina	Diesel
1983	1,288,272.230	147,909,684.891	486,165,420.120	42,461,377.721	13,992,687.504	141,449,897.471	445,400.814	0.000
1984	0.000	18,561,541.204	42,205,417.468	1,409,195.909	0.000	6,196,445.660	132,340.457	496,572.480
1985	214,712.038	7,686,966.663	33,783,915.802	1,069,111.260	0.000	2,991,387.560	0.000	506,631.332
1986	107,356.019	5,021,157.015	53,832,962.828	1,891,132.671	0.000	1,282,023.240	128,136.991	0.000
1987	107,356.019	5,689,244.486	33,569,168.179	987,592.777	0.000	641,011.620	60,552.414	0.000
1988	322,068.057	3,424,258.906	24,550,799.217	1,184,917.105	0.000	731,224.756	213,039.516	0.000
1989	0.000	3,938,463.086	21,609,348.760	1,973,160.322	0.000	935,885.167	285,869.052	0.000
1990	322,068.057	3,886,675.620	21,623,719.904	1,758,474.200	5,687,901.572	935,145.716	218,138.667	2,916,215.455
1991	429,424.077	3,989,375.509	25,271,061.260	1,746,359.989	11,593,910.396	1,329,969.552	223,587.759	778,994.093
1992	1,073,560.191	5,804,095.234	18,711,379.309	933,380.613	2,845,662.089	3,158,516.125	1,418,413.749	774,409.943
1993	0.000	6,622,199.815	21,202,371.357	760,620.815	2,718,287.454	2,566,637.669	1,786,419.121	1,156,607.387
1994	429,424.077	6,730,913.974	19,331,154.906	960,169.180	10,804,227.925	1,504,306.220	1,659,715.225	8,740,120.431
1995	429,424.077	7,156,506.451	17,617,596.251	657,351.103	1,518,429.131	955,458.895	1,090,243.409	1,381,858.515
1996	644,136.115	8,121,912.685	10,959,131.280	277,325.315	1,494,739.328	1,089,566.892	703,828.604	0.000
1997	1,561,991.340	7,500,507.324	12,079,363.935	358,607.806	10,876,639.533	5,458,460.200	1,668,338.789	1,430,605.259
1998	2,308,238.842	6,545,340.969	9,372,494.367	813,663.036	10,672,625.365	232,815.510	2,812,431.562	1,013,345.392
1999	3,649,419.273	2,687,174.799	3,751,499.253	502,223.417	1,306,428.882	102,901.883	4,118,464.030	1,850,731.437
2000	7,111,273.435	2,141,594.228	1,812,038.462	516,503.025	0.000	332,330.827	3,289,414.616	1,194,020.282
2001	2,915,727.100	3,070,518.715	2,750,317.678	393,131.161	3,783,389.051	25,383.707	5,971,930.317	1,552,226.367
2002	4,468,624.766	3,567,006.576	2,512,919.198	401,573.922	1,234,218.604	100,714.596	5,764,689.835	1,014,917.240
2003	6,742,748.670	2,717,154.887	1,671,480.724	239,294.990	0.000	1,771,360.219	2,190,893.419	1,492,525.353
2004	6,954,500.670	2,429,428.660	2,012,798.248	343,959.194	0.000	0.000	2,316,676.635	1,627,003.493
2005	10,143,782.986	2,676,004.364	2,043,786.026	342,395.932	0.000	1,304,393.214	1,992,134.857	1,063,809.976
2006	14,741,487.273	1,550,233.876	1,817,805.226	128,864.021	0.000	3,254,458.460	1,658,811.209	750,924.689
2007	14,993,910.000	3,107,321.312	2,496,700.173	107,097.058	5,710,047.847	2,194,867.334	895,125.908	1,564,426.435
TOTAL	80,959,505.311	272,535,281.250	872,754,649.931	62,217,482.541	84,239,194.681	180,545,162.493	41,044,596.955	31,305,945.559

AÑO MODELO	CO (gramos/año)							
	MOTOCICLETA	AUTOMOVIL	PICK UP	VEHICULO LIGERO	AUTOBUS	VEHICULO PESADO	TAXI	CAMIÓN URBANO
	Gasolina	Gasolina	Gasolina	Gasolina	Diesel	Diesel	Gasolina	Diesel
1983	9,271,912.651	3,697,879,083.381	12,970,647,483.414	1,102,433,189.139	121,730,824.582	917,754,216.119	11,135,432.785	0.000
1984	0.000	484,171,261.035	1,180,702,208.013	38,516,696.142	0.000	40,401,416.765	3,452,054.193	4,520,828.635
1985	1,545,318.775	225,002,376.344	1,032,469,007.935	32,015,527.115	0.000	19,245,150.065	0.000	4,417,461.400
1986	772,659.388	166,133,072.012	1,628,376,510.568	56,053,524.792	0.000	8,310,930.218	4,239,618.850	0.000
1987	772,659.388	188,723,810.275	1,017,775,367.333	29,849,666.461	0.000	4,133,523.892	2,008,844.607	0.000
1988	2,317,978.163	146,054,304.854	766,785,855.087	37,391,606.360	0.000	4,703,809.110	9,086,736.515	0.000
1989	0.000	166,998,984.966	681,334,642.598	63,159,975.271	0.000	6,841,148.325	12,121,439.389	0.000
1990	2,317,978.163	177,806,391.052	685,170,113.210	56,643,931.652	53,864,303.735	6,766,420.183	9,979,337.844	26,844,749.809
1991	3,090,637.550	185,685,471.898	797,574,311.363	56,137,008.437	190,750,830.796	4,439,321.444	10,406,891.631	2,724,318.644
1992	7,726,593.876	281,435,442.879	618,599,015.106	31,401,471.085	13,058,987.137	10,485,304.170	68,777,627.747	2,718,654.152
1993	0.000	325,945,498.931	715,559,584.315	26,140,001.996	14,656,673.088	12,875,337.103	87,927,771.437	6,033,851.271
1994	3,090,637.550	343,413,444.869	696,087,885.974	35,154,008.698	94,851,152.675	1,942,925.496	84,679,216.682	50,064,181.328
1995	3,090,637.550	370,043,412.017	646,258,350.779	24,529,668.716	13,299,978.873	1,228,447.151	56,373,510.441	7,915,820.140
1996	4,635,956.325	445,458,693.917	427,671,607.043	11,017,884.485	13,049,658.858	1,393,649.413	38,602,553.701	0.000
1997	11,463,691.866	403,405,395.880	482,278,609.284	14,542,832.269	66,738,939.912	31,665,071.770	89,729,513.006	24,924,813.275
1998	17,351,371.895	339,488,942.946	383,338,173.314	33,708,936.419	65,231,382.589	1,353,383.459	145,873,136.737	17,671,952.751
1999	28,239,261.818	91,580,396.722	141,435,850.760	19,216,713.518	8,008,361.399	599,639.595	140,359,521.750	32,256,100.727
2000	56,975,025.359	69,611,344.738	70,537,018.883	20,239,905.197	0.000	1,941,962.344	106,920,616.327	20,810,387.568
2001	24,355,363.809	88,674,126.319	93,718,456.061	14,183,447.837	23,354,253.402	148,791.400	172,464,574.340	27,053,503.836
2002	39,244,187.483	89,403,482.765	72,588,063.424	11,925,354.704	7,652,074.815	592,481.203	144,486,234.406	17,688,829.431
2003	62,911,759.579	53,677,529.071	39,111,616.869	6,089,149.996	0.000	10,462,716.709	43,281,207.759	26,012,984.458
2004	69,870,412.249	40,172,735.592	38,781,449.568	6,627,209.736	0.000	0.000	38,308,281.881	27,053,503.836
2005	111,690,731.971	38,928,501.278	31,409,546.271	5,262,048.339	0.000	7,422,618.530	28,980,081.418	17,688,829.431
2006	182,314,419.330	18,750,447.839	22,337,099.588	1,583,474.631	0.000	18,633,778.662	20,063,716.525	12,486,232.540
2007	185,436,241.579	31,238,336.476	23,942,714.477	1,027,033.329	34,690,461.691	12,566,967.004	8,998,826.158	26,012,984.458
TOTAL	828,485,436.316	8,469,682,287.858	25,264,490,541.239	1,734,850,266.325	720,937,883.552	1,125,909,010.129	1,338,256,546.131	354,899,987.685

AÑO MODELO	NOx (gramos/año)							
	MOTOCICLETA	AUTOMOVIL	PICK UP	VEHICULO LIGERO	AUTOBUS	VEHICULO PESADO	TAXI	CAMIÓN URBANO
	Gasolina	Gasolina	Gasolina	Gasolina	Diesel	Diesel	Gasolina	Diesel
1983	497,882.411	38,548,323.511	46,708,997.517	4,062,212.305	125,508,442.180	1,268,742,148.760	116,080.666	0.000
1984	0.000	5,779,921.478	5,358,778.951	178,495.097	0.000	55,579,338.843	41,209.803	4,454,217.331
1985	82,980.402	6,500,719.443	11,253,772.622	353,271.547	0.000	26,831,404.959	0.000	4,544,026.771
1986	41,490.201	6,160,295.895	27,395,364.595	946,939.375	0.000	11,499,173.554	157,207.149	0.000
1987	41,490.201	7,504,636.019	23,299,731.657	683,121.333	0.000	5,749,586.777	79,874.196	0.000
1988	124,470.603	6,431,885.584	24,880,826.354	1,208,780.813	0.000	6,558,826.819	400,158.350	0.000
1989	0.000	12,834,155.212	43,689,878.809	4,025,716.637	0.000	9,536,407.134	931,553.174	0.000
1990	124,470.603	14,624,134.755	45,957,407.296	3,775,766.290	59,689,780.650	9,528,795.128	820,775.792	29,711,790.277
1991	165,960.804	15,520,432.387	54,366,769.007	3,801,240.459	208,859,235.693	11,264,158.330	869,855.117	12,310,000.674
1992	414,902.010	22,792,115.139	44,156,657.791	2,229,515.324	52,639,950.289	26,776,859.504	5,569,972.267	12,314,604.290
1993	0.000	26,426,285.466	51,850,022.462	1,885,410.244	39,751,153.918	31,682,240.726	7,128,812.627	14,862,676.469
1994	165,960.804	27,086,624.576	55,806,034.475	2,808,780.543	243,184,149.630	17,865,481.887	6,679,045.873	84,885,415.838
1995	165,960.804	29,127,360.269	51,598,056.895	1,954,672.921	34,343,033.617	11,362,548.934	4,437,348.416	13,421,618.179
1996	248,941.206	33,471,623.874	32,647,502.737	840,185.576	33,420,137.948	12,977,418.753	2,900,583.546	0.000
1997	622,353.014	30,125,118.616	36,756,891.811	1,109,514.369	264,464,102.405	104,621,574.598	6,700,733.927	115,461,722.349
1998	954,274.622	25,216,242.734	29,257,320.183	2,579,528.763	267,438,414.217	4,482,775.120	10,835,028.653	81,854,961.607
1999	1,576,627.636	5,338,045.682	11,866,418.426	1,607,794.588	32,012,171.752	1,991,847.387	8,181,287.327	149,414,128.993
2000	3,236,235.675	4,133,559.942	5,874,659.818	1,683,443.328	0.000	6,471,646.057	6,349,005.011	96,396,212.254
2001	1,410,666.833	5,781,276.383	8,048,378.261	1,175,969.466	95,554,330.454	497,663.580	11,244,152.177	125,315,075.930
2002	2,323,451.254	6,616,241.998	6,720,183.084	1,077,801.454	29,462,263.096	1,989,933.511	10,692,602.376	81,225,064.324
2003	3,817,098.488	5,036,136.238	4,276,044.568	611,817.690	0.000	35,306,760.703	4,060,731.979	116,308,456.751
2004	4,356,471.100	4,597,987.372	5,090,637.266	869,919.026	0.000	0.000	4,384,590.537	125,315,075.930
2005	7,177,804.766	5,236,774.090	5,102,840.152	854,879.956	0.000	25,336,158.578	3,898,484.003	81,936,780.416
2006	12,115,138.679	3,157,761.400	4,868,342.218	345,116.266	0.000	64,047,101.224	3,378,928.873	57,837,727.352
2007	12,322,589.684	6,537,383.727	7,200,419.280	308,865.170	148,360,243.584	43,194,556.640	1,883,223.831	120,495,265.317
TOTAL	51,987,221.799	354,585,041.789	644,031,936.236	40,978,758.541	1,634,687,409.433	1,793,894,407.506	101,741,245.668	1,328,064,821.052

PM10 (gramos/año)								
AÑO MODELO	MOTOCICLETA	AUTOMOVIL	PICK UP	VEHICULO LIGERO	AUTOBUS	VEHICULO PESADO	TAXI	CAMION URBANO
	Gasolina	Gasolina	Gasolina	Gasolina	Diesel	Diesel	Gasolina	Diesel
1983	12,813.589	332,026.904	817,347.357	75,585.808	450,307.587	4,718,287.454	999.833	0.000
1984	0.000	46,744.209	116,513.819	4,119.118	0.000	206,692.351	333.278	28,006.141
1985	2,135.598	28,227.180	122,932.777	4,119.118	0.000	99,782.514	0.000	28,006.141
1986	1,067.799	26,119.550	220,773.263	8,238.235	0.000	42,763.935	666.556	0.000
1987	1,067.799	31,313.351	155,027.569	4,942.941	0.000	21,381.967	333.278	0.000
1988	3,203.397	32,141.348	182,454.027	9,679.926	0.000	28,509.290	1,999.667	0.000
1989	0.000	45,916.212	220,967.777	22,243.235	0.000	49,891.257	3,332.778	0.000
1990	3,203.397	53,443.460	238,084.999	21,419.412	225,153.794	49,891.257	2,999.500	140,030.704
1991	4,271.196	59,465.258	292,548.888	22,449.191	900,615.174	149,673.771	3,332.778	56,012.282
1992	10,677.990	92,735.694	241,002.707	13,387.132	225,153.794	356,366.122	22,662.892	56,012.282
1993	0.000	113,661.443	292,743.401	11,739.485	225,153.794	363,493.444	30,661.560	84,018.423
1994	4,271.196	122,995.230	314,139.929	17,506.250	1,576,076.555	235,201.640	30,328.282	532,116.677
1995	4,271.196	137,823.909	303,636.179	12,769.265	225,153.794	149,673.771	20,996.503	84,018.423
1996	6,406.794	165,373.636	201,710.902	5,766.765	225,153.794	171,055.739	14,330.946	0.000
1997	16,016.986	158,824.930	240,808.193	8,032.279	1,801,230.349	1,496,737.712	35,327.449	672,147.381
1998	24,559.378	142,716.620	204,239.582	19,771.765	1,801,230.349	64,145.902	61,323.119	476,104.395
1999	40,576.364	54,798.365	99,785.625	14,828.823	225,153.794	28,509.290	83,986.011	868,190.367
2000	83,288.325	46,217.302	54,269.375	16,888.382	0.000	92,655.192	70,988.176	560,122.817
2001	36,305.167	74,369.209	86,364.166	12,975.221	675,461.381	7,127.322	144,642.575	728,159.663
2002	59,796.746	99,811.307	83,640.972	14,005.000	225,153.794	28,509.290	161,306.466	476,104.395
2003	98,237.512	93,413.146	63,800.555	9,268.015	0.000	506,039.893	75,320.788	700,153.522
2004	112,118.900	98,908.037	92,199.583	16,682.426	0.000	0.000	94,317.624	728,159.663
2005	184,729.234	128,038.486	112,623.541	19,977.720	0.000	363,493.444	95,317.457	476,104.395
2006	311,797.321	88,144.073	128,962.708	9,679.926	0.000	919,424.595	94,317.624	336,073.690
2007	317,136.316	200,149.521	217,661.041	9,885.882	1,125,768.968	620,077.052	57,657.063	700,153.522
TOTAL	1,337,952.201	2,473,378.378	5,104,238.936	385,961.322	9,906,766.917	10,769,384.204	1,107,482.205	7,729,694.880



CIUDAD DE MÉXICO

Av. Nuevo León 210
Col. Hipódromo Condesa
CP 06100, México, D F
Tel +52 (55) 52 653600
Fax +52 (55) 52 653600

SANFANDILA

Carretera Querétaro-Galindo km 12+000
CP 76700, Sanfandila
Pedro Escobedo, Querétaro, México
Tel +52 (442) 216 9777
Fax +52 (442) 216 9671

www.imt.mx
publicaciones@imt.mx