



---

# UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

## FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

### MAESTRÍA EN INFRAESTRUCTURA DEL TRANSPORTE EN LA RAMA DE LAS VÍAS TERRESTRES

#### TESIS:

PROPUESTA METODOLÓGICA PARA ESTIMAR  
EMISIONES CONTAMINANTES GENERADAS POR  
LA OPERACIÓN VEHICULAR EN LA CIUDAD DE  
URUAPAN, MICHOACÁN, MÉXICO.

#### PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

MAESTRA EN INGENIERÍA

#### PRESENTA:

ING. CINDY LARA GÓMEZ

#### ASESOR:

M.A. ING. WILFRIDO MARTÍNEZ MOLINA

#### COASESORES:

DRA. ELIA MERCEDES ALONSO GUZMÁN  
M. C. JUAN FERNANDO MENDOZA SÁNCHEZ

## ÍNDICE

<b>Resumen</b>	<b>1</b>
<b>Objetivo</b>	<b>2</b>
<b>Justificación</b>	<b>3</b>
<b>Introducción</b>	<b>7</b>
<b>Capítulo 1. Impacto ambiental generado por la operación vehicular.</b>	
1.1. Emisiones	10
1.1.1. Contaminación debida a emisiones vehiculares	11
1.1.2. Tipos de emisiones vehiculares	11
1.1.3. Efectos sobre la salud	14
1.2. Ruido	15
1.3. Consumo de Energía	17
1.3.1. Panorama mundial	18
1.3.2. Panorama nacional	20
<b>Capítulo 2. Modelos de factores de emisión para vehículos automotores.</b>	
2.1. Modelo de factor de emisión PART5	25
2.2. Submodelo efectos ambientales del HMD-4	26
2.3. Modelo de factor de emisión MOBILE 6	28
2.3.1. Antecedentes históricos	28
2.3.2. Descripción del modelo	29
<b>Capítulo 3. Propuesta metodológica para estimar emisiones contaminantes generadas por la operación vehicular en la Ciudad de Uruapan, Michoacán.</b>	
3.1. Descripción del medio social y económico de Uruapan.	42
3.2. Metodología para la Estimación de Emisiones.	47
3.3. Obtención de datos por medio de encuestas	49
3.4. Determinación de parámetros	53
3.4.1. Condiciones locales.	53
3.4.1.1. Altitud	53
3.4.1.2. Temperatura y Humedad relativa.	54
3.4.1.3. Características del combustible.	54
3.4.2. Flota vehicular	56
3.4.2.1. Velocidad del vehículo.	56
3.4.2.2. Caracterización vehicular.	73
3.4.2.3. Datos de actividad vehicular.	71

---

<b>3.5. Resultados</b>	<b>83</b>
<b>3.6. Discusión de los resultados</b>	<b>88</b>
<b>Conclusiones</b>	<b>91</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>92</b>

## AGRADECIMIENTOS

- Laboratorio de Materiales “Luís Silva Ruelas” de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
- M.A. Ing. Wilfrido Martínez Molina por el apoyo incondicional, así como las facilidades que me brindó para la elaboración de este trabajo.
- Dra. Elia M. Alonso Guzmán por su confianza por su apoyo y asesoría en la realización de este trabajo de Tesis.
- M. C. Juan Fernando Mendoza Sánchez por su apoyo, asesoría y revisión en este trabajo de tesis.
- M. C. J. Andrés Aguilar Gómez del Instituto Nacional de Ecología por su asesoría en la utilización del programa MOBILE6
- Tec. Jesús Zauno Zamudio por su apoyo y comprensión durante el tiempo en el que realicé mi trabajo de Tesis.

## DEDICATORIAS

### ***A Dios***

Por darme el privilegio de la vida para poder realizar una meta más en mi camino y compartirlo con mis seres queridos.

### ***A mi esposo Jamyl Milian Valencia***

Por tu apoyo incondicional y por amarme con mis errores y virtudes. Te amo.

### ***A mis padres***

Por brindarme en todo momento su apoyo y darme sus consejos. Los quiero mucho.

### ***A mis hermanos Omar, Martín y Anelsy***

Por llenar mi vida de alegría, por su apoyo y por ser mis mejores amigos.

### ***A mi tía Carmen***

Por su cariño y apoyo en todo momento, así como sus sabios consejos que me ayudaron a superarme.

## RESUMEN

En el presente trabajo de tesis 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 en las Ciudades Urbanas de México es la causa principal de contaminación atmosférica.

La propuesta esta basada en los trabajos realizados en México sobre inventarios de emisiones para algunas ciudades de la República, utilizando como herramienta al MOBILE versión 6. 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 y el kilometraje acumulado para cada modelo-año y clase vehicular.

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 (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, para 8 clases de vehículos, tales como: Motocicletas, Automóvil, Camionetas Pick up, Vehículos ligeros, Autobús, Vehículos pesados.

Los resultados muestran la cantidad de emisiones generadas por la operación vehicular, en la ciudad de Uruapan de hidrocarburos (HC), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NOx) y material particulado PM<sub>10</sub>.

Se estima que 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 están generando 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 están generando en las ciudades, tales como la del caso de estudio.

## OBJETIVO

El objetivo del presente trabajo es desarrollar una propuesta metodológica para estimar las emisiones generadas por la operación vehicular en la Ciudad de Uruapan en el Estado de Michoacán, mediante la utilización del modelo MOBILE6, integrando datos de la actividad vehicular, factores de emisiones y flota vehicular. Con esto representar las condiciones ambientales de la flota vehicular que opera actualmente, con sus hábitos de conducción (velocidad vehicular promedio y uso del aire acondicionado), así como la calidad y tipos de combustibles utilizados en la región.

## JUSTIFICACIÓN

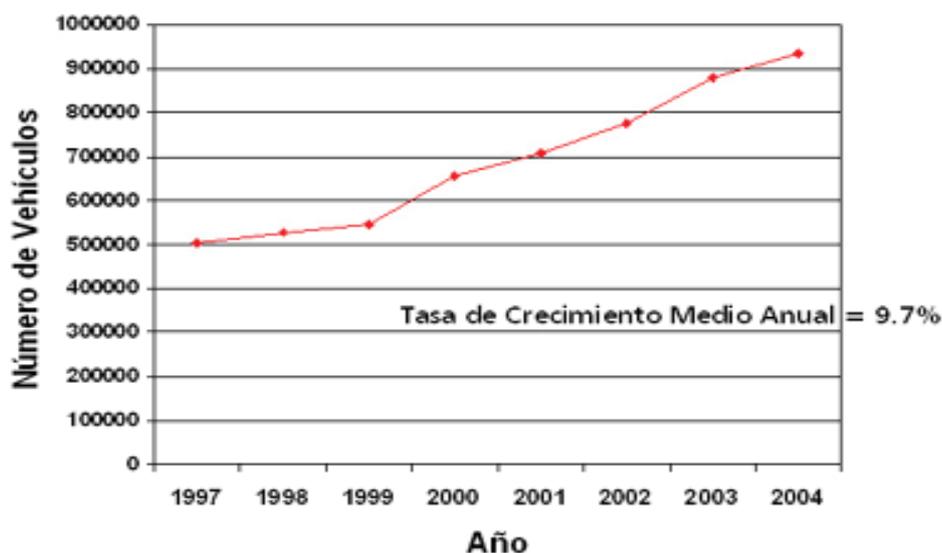
Cada vez existen más evidencias de los efectos que la contaminación del aire provoca sobre la salud pública en México y en otras partes del mundo, especialmente en ambientes urbanos que con frecuencia registran concentraciones elevadas de contaminantes. Por lo que se requiere de inventarios de emisiones detallados para identificar las diferentes fuentes de emisión y su contribución a la problemática de la contaminación del aire en una región determinada, lo cual constituye el primer paso en la gestión de la calidad del aire. En México son pocos los Estados en los que al menos una ciudad cuenta con inventario de emisiones de fuentes móviles. Con base en los resultados obtenidos en la primera etapa del diagnóstico nacional elaborado por el Instituto Nacional de Ecología, se encontró que:

- Sólo el 19% de los estados cuentan con una o más ciudades con inventario de emisiones que incluya la estimación de emisiones de fuentes móviles.
- El 13% están en el proceso de desarrollo de la estimación de emisiones de fuentes móviles.
- El 68% de los estados de la República Mexicana no cuentan actualmente con al menos una ciudad con inventario de emisiones que incluya la estimación de emisiones de fuentes móviles. Es importante señalar que varios de estos estados tienen interés en realizarlo sin embargo, desconocen la información y la metodología adecuada para llevarlo a cabo.

Dentro de las entidades federativas que cuentan con al menos una ciudad que ha realizado estimaciones de emisiones de fuentes móviles, se encuentran: Estado de México, Distrito Federal, Guanajuato, Hidalgo, Puebla y Nuevo León, sin embargo, no sería factible realizar una comparación entre estos inventarios ya que cada uno ha sido elaborado siguiendo diferentes criterios, por lo que se evidencia la necesidad de elaborar una guía metodológica que homologue los procesos para cuantificar emisiones de fuentes móviles.

La Ciudad de Uruapan fue diseñada y construida a lo largo del paso del tiempo para un número de habitantes muy inferior a los que actualmente viven, la situación que ya de entrada complica la habitabilidad en su interior, además de un crecimiento urbano desordenado, vialidades insuficientes y sin la posibilidad inmediata de mejora. El aumento en los vehículos que circulan a diario en la ciudad son tan sólo algunas aristas de la problemática urbana de la ciudad. Según datos del INEGI el 84% de los municipios del Estado de Michoacán disminuyeron su tasa de crecimiento poblacional entre el 2002 – 2004, caso contrario del parque vehicular (Gráfica 1), por lo que la tendencia de crecimiento del parque vehicular es mayor al de la propia población.

**Gráfica 1** Crecimiento del Parque Vehicular en el Estado de Michoacán



**Fuente:** Secretaría de Urbanismo y Medio Ambiente del Estado de Michoacán, elaborada con datos de la Tesorería General del Estado (Dirección de Ingresos), <http://suma.michoacan.gob.mx/>

Actualmente, los vehículos en el municipio de Uruapan según el anuario estadístico de Michoacán edición 2005, los automóviles representan el 53%, camiones y camionetas para carga el 41%, Motocicletas 4% y sólo el 2% corresponden a camiones de pasajeros del total de la flota vehicular. Desafortunadamente, el parque vehicular se encuentra en aumento debido a la falta de un transporte público eficiente, este aumento se refleja en un incremento en la formación de congestionamientos viales. A su vez, la formación de congestionamientos agrava enormemente el problema de contaminación, ya que la emisión de contaminantes está directamente relacionada con la velocidad media de los vehículos y con el tiempo que pierden los mismos debido a la circulación a bajas velocidades y altas densidades. Por todo esto, resulta sumamente importante entender los fenómenos de tráfico vehicular.

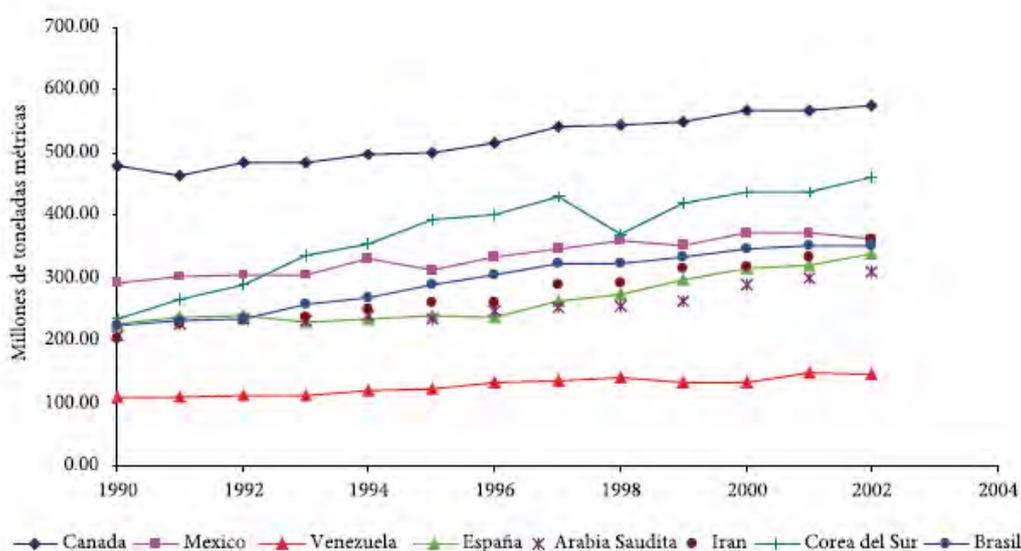
El Gobierno del Estado de Michoacán el 31 de Diciembre del 2008 publicó en el periódico Oficial del Gobierno Constitucional del Estado de Michoacán de Ocampo el Acuerdo del Programa de Verificación Vehicular para el 2009 el cual tiene un carácter preventivo, adicionalmente, éstos programas generan beneficios, tales como;

1. Induce el mantenimiento vehicular periódico.
2. Fomenta la renovación del sector transporte.
3. Incentiva la introducción de tecnologías y combustibles más limpios.
4. Salvaguarda la salud y el bienestar de las personas

En la actualidad, el 98% de los vehículos en el mundo utilizan combustibles fósiles para moverse, lo que significa que nuestra forma de vida depende enteramente del consumo

de derivados del petróleo. Esta realidad, que hace algunas décadas no causaba revuelo, ahora se presenta como un grave problema, debido a que este consumo, genera emisiones de gases de efecto de invernadero (GEI), principalmente dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)<sup>1</sup>. En la Gráfica 2, se muestra el perfil de las emisiones de CO<sub>2</sub> producidas exclusivamente por el consumo de combustibles en el periodo 1990 - 2002, en ocho países incluyendo a México.

**Gráfica 2.** Evolución de las Emisiones de CO<sub>2</sub> por quema de combustibles en ocho países incluyendo México.



**Fuente:** Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 1990-2002, elaborado por el Instituto Nacional de Ecología y la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, pp 39, <http://www.ine.gob.mx/publicaciones/>

Los vehículos automotores de acuerdo al combustible utilizado ya sea diesel o gasolina contribuyen con determinados elementos nocivos emitidos por los gases de escape a la contaminación ambiental y depende en gran medida del peso del vehículo, diseño del motor, condiciones de tránsito, hábitos de conducción entre otros.

Según el Inventario Nacional de Emisiones de México de 1999, emitido por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y el Instituto Nacional de Ecología, la mayor parte de las emisiones antropogénicas (excluyendo las emisiones que emanan de fuentes naturales) provienen de: Vehículos automotores, que ocupan el primer sitio en cuanto a emisiones de NO<sub>x</sub> y CO, así como el segundo lugar en emisiones de COV. En cuanto al

<sup>1</sup> Mar, E. 2007, Artículo: "Transporte y Medio Ambiente, Un futuro incierto", Publicación del Instituto Mexicano del Petróleo, México, ISBN: 978-970-31-0785-8

CO, más del 62% del total de emisiones proviene de los vehículos automotores, mientras que alrededor del 27% corresponde a otros usos de combustibles (fundamentalmente gas LP en el sector transporte).

Debido a que las emisiones de los diversos medios de transporte son responsables en gran medida de la contaminación atmosférica que sufren los centros urbanos en México y en el mundo, a pesar de las medidas que se han tomado en años recientes y que involucran restricciones a la circulación de vehículos altamente contaminantes y la mejora sustancial en la tecnología de control de contaminación emitida por los automotores de modelo reciente. La introducción de gasolinas de bajo azufre (gasolina premiun año 2003 500 ppm de azufre y en el año 2004 bajo a 250/300 pmm) es una medida generalmente aceptada como clave para lograr disminuir la lluvia ácida y para poder utilizar sistemas avanzados de control de emisiones. Sin embargo, la disminución en el contenido de azufre modifica la operación de los convertidores catalíticos de manera sutil, ya que cambia la distribución de productos generados en esos equipos y, por ende, de los compuestos emitidos a la atmósfera<sup>2</sup>.

Las leyes mexicanas han establecido regulaciones mucho más estrictas en torno al contenido de contaminantes en los combustibles utilizados principalmente en el autotransporte. Esta obligada reducción en el contenido de contaminantes en los combustibles, principalmente en el diesel y gasolina, resulta ser un verdadero desafío para la industria de la refinación del petróleo, debido a que promueve cambios no previstos originalmente en los procesos convencionales. Bajo esta perspectiva, es evidente que el estudio y análisis de alternativas tecnológicas, económica y técnicamente viables, tendientes a producir combustibles que satisfagan las más rígidas regulaciones en términos de contenido de compuestos contaminantes, debe ser considerado como un proyecto de alta prioridad<sup>3</sup>.

---

<sup>2</sup> Fuentes Gustavo A., 2007, Artículo: Sobre la formación de partículas y otros contaminantes al emplear gasolinas de bajo azufre en automóviles, Publicación del Departamento Ing. de Procesos e Hidráulica de la Universidad Autónoma Metropolitana – Iztapalapa, México, ISBN: 978-970-31-0785-8

<sup>3</sup> Pérez Cisneros Eduardo S., 2007, Artículo: “Desarrollo de Tecnología Para la Producción de Combustibles Limpios”, Publicación del Departamento de Ingeniería de Procesos e Hidráulica del la Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa., México, ISBN: 978-970-31-0785-8

## INTRODUCCIÓN

El transporte presenta amenazas importantes para la salud humana, el medio ambiente e incluso para la economía si se toman en cuenta los problemas de salud y de congestión vial.

La Ciudad de Uruapan, Mich., actualmente no cuenta con estudios específicos sobre emisiones generadas por la operación vehicular, por lo que en el presente trabajo de investigación se refiere a plantear una propuesta metodológica para estimar las emisiones contaminantes que generas por éste sector que sea aplicable a la ciudad.

Las emisiones de vehículos automotores se calculan combinando los factores de emisión con los Kilómetros Recorridos por Vehículo (KRV). Estos factores de emisión se derivaron a partir de modelos. Las emisiones de los vehículos automotores son complejas y más dinámicas que otros tipos fuentes, por ejemplo, los cambios en las características del combustible, la tecnología para el control de emisiones, la temperatura ambiente y la altitud suelen afectar los factores de emisión. Con el objeto de incorporar éstos y otros factores, generalmente se ha utilizado un modelo de factor de emisión que incluya los efectos de numerosos parámetros, para el caso de ésta investigación se hace uso del modelo MOBILE6 modificado para que sea aplicable en México el cual es creado por la Agencia de Protección del Ambiental de Estados Unidos (EPA siglas en ingles).

Para analizar ésta problemática es necesario mencionar sus causas por lo que en el Capítulo 1 se presenta información sobre los contaminantes generados por las emisiones vehiculares, así como su clasificación y daño a la salud, además se plantea un análisis de del consumo de energía en el ámbito nacional e internacional donde se plantea el importante papel que juega el Sector Transporte ya que es el origen de un alto porcentaje de los contaminantes que se liberan a la atmósfera, contribuyendo así en gran medida al deterioro de la calidad ambiental del aire.

En el Capítulo 2 menciona aspectos fundamentales del funcionamiento y aplicación integral del modelo MOBILE6, así como de manera general otros dos software que han sido utilizados en México para el cálculo de emisiones contaminantes.

En el Capítulo 3 describe aspectos generales de la Ciudad, como descripción del medio social y económico, se describe de manera clara la metodología propuesta. Se presentan los parámetros necesarios y la obtención de ellos para poder estimar las emisiones. Los parámetros se dividen en dos partes; 1.- Condiciones locales, los cuales describen características de clima y combustibles, 2.- Flota vehicular, que describe la distribución vehicular por modelo-año, velocidades de manejo y datos de actividad los cuales corresponde a los kilómetros recorrido por vehículo (KRV).

Dentro de éste capítulo se plantea la obtención de datos mediante la realización de encuestas, que nos permitió hacer la compilación de información faltante para el desarrollo de la investigación.

Una vez planteada la metodología se muestran los resultados del cálculo de emisiones de los contaminantes tales como: Hidrocarburos (HC), Monóxido de Carbono (CO), Óxidos de Nitrógeno (NOx) y además partículas con diámetro aerodinámico menor de 10 micras (PM<sub>10</sub>), generados por la operación vehicular en la ciudad.

Finalmente, en las conclusiones se discuten los resultados, y se emiten propuestas de solución.

# Capítulo 1

## Impacto ambiental generado por la operación vehicular

---

---

## Capítulo 1

### Impacto ambiental generado por la operación vehicular

El tráfico y la movilidad, en términos de transporte, son una de las causas de los impactos negativos al medio ambiente. Uno de los aspectos relevantes que se deben considerar para reducir los daños ambientales en una zona urbana, son los efectos y daños a la salud del ser humano; tales efectos pueden estar relacionados con las emisiones contaminantes y el ruido, generados por la operación vehicular.

#### 1.1 Emisiones

El aumento constante de la motorización en las urbes, de la población y por consiguiente del transporte hacen que las emisiones de las fuentes móviles sean consideradas siempre como parte de la problemática ambiental y por lo tanto de las estrategias para el mejoramiento de la calidad de aire urbano, sin consideración de las situaciones particulares de cada ciudad y sin un análisis global o sistemático.

Uno de los primeros requisitos implementados es para el control de emisiones vehiculares, que han contribuido a una considerable reducción de contaminantes del aire. Además, los reglamentos que controlan la calidad de los combustibles de los vehículos también han contribuido a una mayor eficiencia y menores emisiones. Sin embargo, las políticas implementadas no han sido suficientes ya que sigue siendo la principal fuente móvil de contaminación del aire.

Además de los impactos ambientales directos causados por las fuentes móviles, existen impactos indirectos como: grasas y aceites usados, elevación del polvo en calles que contienen sustancias tóxicas, impactos ambientales por metales y materiales usados en el ensamble de los vehículos, por la explotación y refinamiento del petróleo, la chatarra y desechos de llantas etc.

El enfoque sistémico establece que las emisiones que se originan en la operación de un vehículo se deben al sistema formado por el motor, el combustible y el modo de uso. Es decir que las emisiones se deben a la interacción de estos tres factores y no de alguno en particular. Por lo tanto, para evaluar los impactos ambientales y proponer alternativas efectivas de mejora se requieren considerar simultáneamente 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 será necesario establecer para cada ciudad cuál es su real situación en cuanto a contaminación y cuál es la importancia de las emisiones de vehículos en esa situación y si es posible cuál es el contaminante con niveles superiores a los aceptados. De esta manera se podrá diseñar la estrategia más eficiente para cada ciudad.

### 1.1.1 Contaminación debida a las emisiones vehiculares.

Desde el punto de vista del bienestar humano, se entiende por contaminación la presencia en el ambiente de sustancias o factores físicos, químicos o biológicos que perjudiquen o molesten la vida, la salud y el bienestar humano, la flora y la fauna, o degraden la calidad del aire, agua, suelo, de los bienes, de los recursos de la nación en general, o de los particulares<sup>4</sup>.

Los contaminantes debido al tráfico se pueden clasificar en dos grupos, contaminantes primarios y secundarios.

1. 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 (SO<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO), vapores de combustibles y solventes, plomo (Pb) y partículas suspendidas.
2. 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 (O<sub>3</sub>), el dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) y algunos tipos de partículas.

### 1.1.2 Tipos de emisiones vehiculares

Las emisiones de vehículos automotores están integradas por un gran número de contaminantes que provienen de muchos procesos diferentes (Figura 1.1). Las más comúnmente consideradas son las emisiones 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<sub>x</sub> (óxidos de nitrógeno), SO<sub>x</sub> (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 de manera directa, si de forma indirecta, pues influye sobre el clima como es el CO<sub>2</sub>.

Además de las emisiones de COV por combustión, hay un porcentaje significativo de emisiones de COV desde otros dispositivos que tiene especial importancia para los

---

<sup>4</sup> Gutiérrez H. J., Romieu I. Corey G., Fortoul T., 1997, "Contaminación del Aire", Editorial El Manual Moderno, México, D.F. – Santafé de Bogotá, pp 2, ISBN 968-426-749-5

vehículos automotores de gasolina. A esta clase se le conoce como emisiones evaporativas<sup>5</sup>:

- **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. Estas pueden ocurrir mientras el vehículo está en reposo y en puntos conocidos, como las gasolineras. La recarga de combustible es manejada típicamente como fuente de área. Los factores de emisión para la carga de combustible también pueden estimarse a través del modelo MOBILE6.
- **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. Estas emisiones 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.

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

---

<sup>5</sup> INE, 1997, "Manuales del programa de inventarios de emisiones de México", Volumen VI - Desarrollo de Inventarios de emisiones de vehículos automotores.

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 y 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.<sup>6</sup>

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 N<sub>2</sub> (dinitrógeno) y O<sub>2</sub> (dióxígeno) formando NOx (USEPA)<sup>7</sup>.

El azufre forma parte de las impurezas que contienen los combustibles fósiles. Su oxidación produce la formación y emisión de SO<sub>2</sub> (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<sub>2.5</sub>) se producen debido a la combustión por lo que cuando se comparan con las del desgaste de las llantas y frenos son insignificantes y en algunas ocasiones son omitidas de los inventarios de emisiones. Los vehículos diesel producen de 10 – 100 veces más partículas de combustión que los vehículos a gasolina.

<sup>6</sup> Racero Moreno J., Ortíz J. D., Galán de Vega R., Villa Caro G., 2006, "Estimación de la emisión de contaminantes debida al tráfico urbano mediante modelos de asignación de tráfico", Publicación del X Congreso de Ingeniería de Organización Universidad de España, pp 2

<sup>7</sup> USEPA: US Environmental Protection Agency (2005). <http://www.epa.gov> (marzo 2006).

### Evaporativas

- Estabilización en caliente
- Pérdidas en operación
- Pérdidas en reposo
- Pérdidas en motor

### Evaporativas

- Recarga
- Diurnas

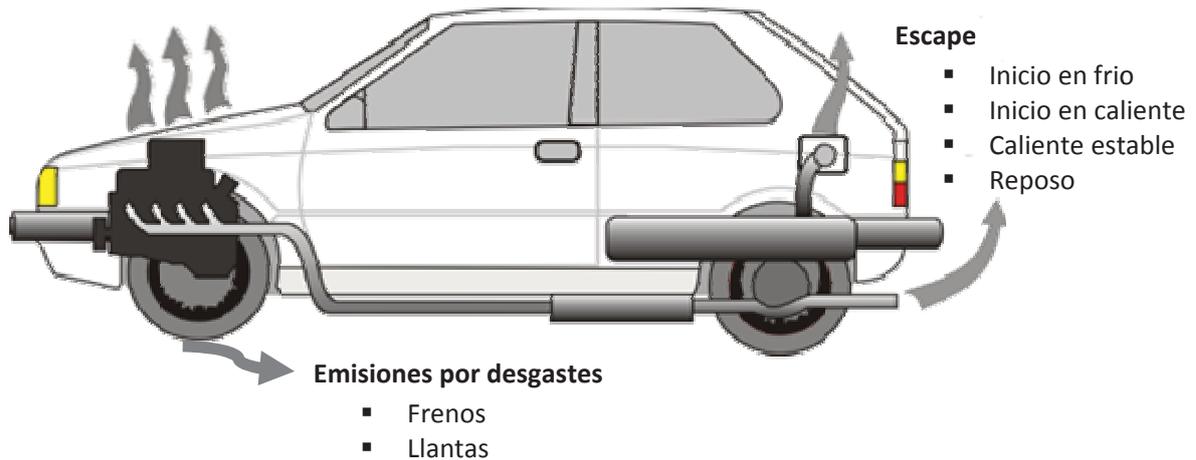


Figura 1.1 Proceso de emisión en vehículos automotores

**Fuente:** Curso: "Uso del MOBILE6\_México", Impartido por M. C. J. Andrés Aguilar Gómez en el Instituto nacional de Ecología (INE) el día 27 de febrero de 2009, México, D.F.

### 1.1.3 Efectos en la salud

La contaminación del aire puede afectar adversamente la salud humana por inhalación directa y por otras formas de exposición como la contaminación por ingesta de agua y alimentos y por 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 ( $O_3$ ), Bióxido de azufre ( $SO_2$ ), Óxidos de nitrógeno ( $NO_x$ ), Monóxido de carbono (CO), Material particulado suspendido (PST) y Plomo.

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

### **Hidrocarburos (HC);**

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

### **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, se unen irreversiblemente a la hemoglobina de la sangre 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 cardiovascular. Inhibe el sistema enzimático que metaboliza fármacos. De cada 1 000 litros de gasolina quemada por los automóviles, resultan casi 375 Kg de monóxido de carbono expelidos a la atmósfera<sup>8</sup>.

### **Óxido de Nitrógeno (NOx):**

Es un concepto amplio que incluye al monóxido de nitrógeno (NO), al bióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) 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 NO<sub>x</sub> contribuye a otros efectos, provoca daño pulmonar, disminuyendo los mecanismos pulmonares de defensa, incrementa la permeabilidad del epitelio bronquial y de la membrana de los alvéolos pulmonares<sup>9</sup>.

### **Material Particulado (MP):**

Corresponden a las llamadas partículas cuyo tamaño aproximado es de 1,3 micras 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 SO<sub>2</sub> así como lluvia ácida.

## **1.2 El Ruido**

Puede definirse como ruido a 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

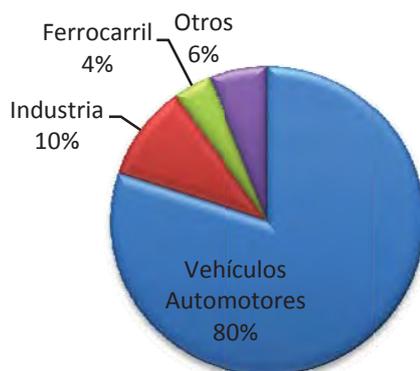
<sup>8</sup> Adame Romero A., Salín Pascual D. A., 2000, "Contaminación Ambiental", Segunda Edición, Editorial Trillas, México, pp 22

<sup>9</sup> 8, Ibidem, pp 24

no es consciente de sus efectos, pues no suelen manifestarse de forma inmediata, lo hacen a largo plazo y no se percibe con claridad la relación causa – efecto<sup>10</sup>.

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 1.1

**Gráfica 1.1** Fuentes Generadoras de Ruido



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

Desde el punto de vista del medio ambiente, el estudio y control del ruido tienen sentido en cuanto a su utilidad para alcanzar una 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 ha hecho a lo largo del tiempo numerosas investigaciones que tienen por objeto conocer los efectos que tiene el ruido (ya sea temporal o permanente) sobre los seres humanos, en función del tiempo de exposición y/o del nivel sonoro.

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

<sup>10</sup> Damián Hernández S. A., Camacho Pérez M., 2000, “El impacto ambiental generado por la Infraestructura Carretera. Estudio Piloto del Ruido, Caso Querétaro”, Publicación Técnica No. 154 del Instituto Mexicano del Transporte (IMT), Sanfandila, Querétaro, México, pp 3, ISSN 0188-7297

que se seleccione debe ser capaz de contemplar las variaciones o diferentes situaciones de al menos los siguientes aspectos<sup>11</sup>:

**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 de personas, las exigencias de calidad ambiental para el tiempo y los espacios dedicados al ocio son muy superiores a las de otras situaciones.

### 1.3 Consumo de energía

Las fuerzas que propician la contaminación del aire están ligadas no sólo con el crecimiento económico y consumo de energía sino también con la estructura del mercado de energía. Las emisiones están 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.

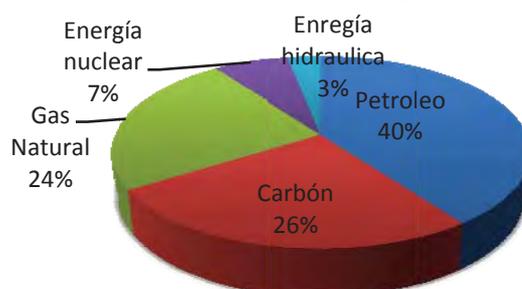
Todos los países dependen de la energía para su desarrollo, y el suministro energético para un país dado es el resultado del balance de su producción doméstica, exportaciones e importaciones. En la mayoría de los casos el petróleo y los productos derivados constituyen las principales fuentes de energía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

---

<sup>11</sup> 10, Ibidem, pp 11, 12

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 % (Grafica 1.2).<sup>12</sup>

**Grafica 1.2** Consumo energético mundial.



### 1.3.1 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 por ciento 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 por ciento al año. Cerca de la cuarta parte del suministro mundial en 2003 provino de 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 CO<sub>2</sub> han registrado una tendencia ascendente desde 1971 según el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC 2001)<sup>13</sup>. Los combustibles fósiles son la fuente dominante de energía actual, y su uso es responsable de la generación de más de dos tercios de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). 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 (OECD por sus siglas en inglés), el sector transporte conformado por los

<sup>12</sup> Herce J. A., Del Valle M., 2004, Noviembre 2004, "Petróleo y consumo energético mundial: varias posturas ante una misma realidad", Revista de Estadística y Sociedad (Índice), No. 7, Publicada por la Universidad de Autónoma de Madrid., pp 1

<sup>13</sup> IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2001. Technical Summary of Climate Change. Disponible en: <http://www.ipcc.ch/pub/wg3spm.pdf>.

vehículos que se desplazan por carretera, los ferrocarriles, los barcos y los aviones, contribuye con aproximadamente 27% de las emisiones de CO<sub>2</sub>; 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 son asignadas a los automóviles fundamentalmente en la forma de emisiones de CO<sub>2</sub>. En 1995, el sector aportó 22% de las emisiones globales de CO<sub>2</sub>. 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<sup>14</sup>.

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 2001)<sup>15</sup>.

Las emisiones de CO<sub>2</sub> 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 uso de energéticos derivados del petróleo y a sus emisiones asociadas de CO<sub>2</sub>, lo representa la clase de vehículos de servicio ligero<sup>16</sup>.

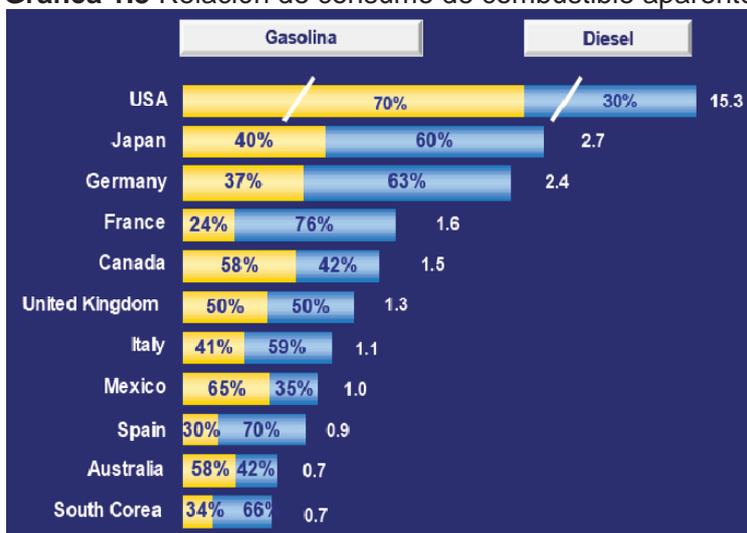
La Agencia Internacional de Energía estima que en ausencia de nuevas iniciativas reguladoras, el consumo de combustibles y las emisiones asociadas de CO<sub>2</sub>, para los vehículos de servicio ligeros, se incrementarán en 30% para el año 2010, respecto al nivel que se tenía en 1990 en los países miembros de esta organización. En la Gráfica 1.3 se observa la relación de consumo de combustible entre 11 países.

<sup>14</sup> IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2000. Methodological and Technological Issues in Technology Transfer. Working Group III. New York..

<sup>15</sup> IEA (International Energy Agency). 2001. Saving Oil and Reducing CO<sub>2</sub> Emissions in Transport: Options & Strategies. París: IEA, OECD.

<sup>16</sup> Cuatecontzi D. H., Gasca J., González U. y Guzmán F., Opciones para mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero del sector transporte, Instituto Mexicano del Petróleo. Artículo publicado por el INE y se puede encontrar en la página: <http://www.ine.gob.mx/publicaciones/libros/437/dick2.html>

**Grafica 1.3** Relación de consumo de combustible aparente



Fuente: Oil and Energy Trends, Diciembre 2000

La **Agencia Internacional de Energía** o **AIE** (en inglés *International Energy Agency* o *IEA*, y en francés *Agence Internationale de l'Energie*) es una organización internacional, creada por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) tras la crisis del petróleo de 1973, que busca coordinar las políticas energéticas de sus Estados miembros, con la finalidad de asegurar energía confiable, adquirible y limpia a sus respectivos habitantes.

### 1.3.2 Panorama nacional

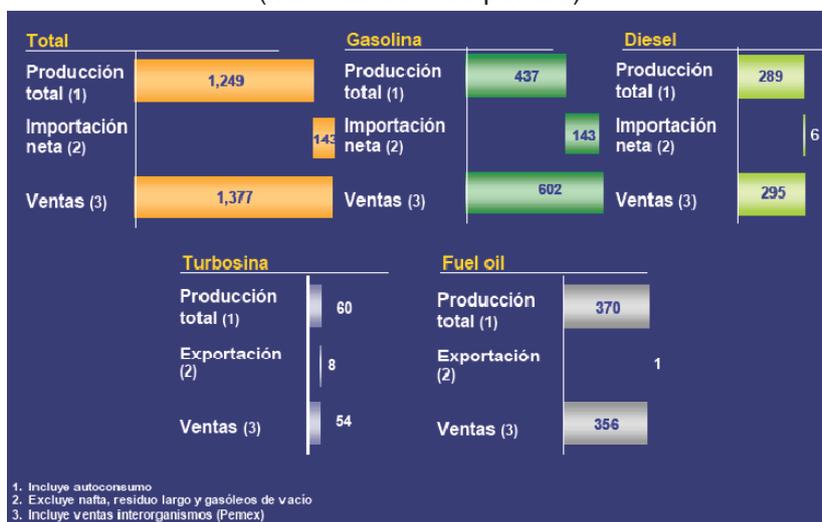
En la década de los ochenta y parte de los noventa, el principal producto de exportación del país fue el petróleo (cerca de dos terceras partes de las exportaciones del país), y aún en la actualidad su participación es importante (en el año 2000, las exportaciones petroleras representaron 10.92% del total de exportaciones del país). De acuerdo con cifras de la Agencia Internacional de Energía, la producción mundial de crudo fue de 83,640 mbd 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 productos 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 es 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 (CO<sub>2</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) y metano (CH<sub>4</sub>) con la finalidad de presentar elementos de análisis para la toma de decisiones en el ámbito energético-ambiental, en las esferas nacional e internacional<sup>17</sup>.

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 estuvieron enfocadas sobre todo a la reducción del impacto ambiental de los combustibles (plomo, azufre, aromáticos y contenido de olefinas), aumentando el índice de octanos y centanos de la gasolina y el diesel, y cubriendo los recientes requerimientos de energía (Gráfica 1.4)<sup>18</sup>. El índice de octano es una medida de la resistencia a la detonación de un combustible. Cuanto más comprimida se encuentre la mezcla en la ignición, mayor es el rendimiento del motor, pero si se utiliza una compresión muy elevada la mezcla arde con excesiva rapidez y el resultado es una violenta sacudida contra el émbolo; el motor detona y el rendimiento es menor. El índice de centanaje mide la facilidad con la que se inflama el combustible en los motores diesel. Cuanta más facilidad para inflamarse, mejor es el combustible.

**Gráfica 1.4** Balance de principales productos petrolíferos en el 2003  
(Miles de barriles por día)



Fuente: Pemex, Refinación

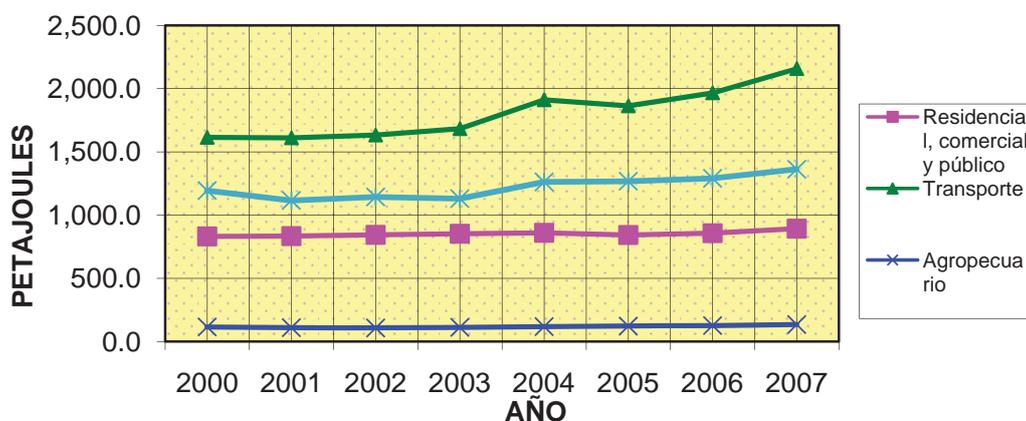
<sup>17</sup> Quintanilla Martínez J., Escenarios de emisiones futuras en el sistema energético mexicano, Instituto Mexicano del Petróleo., Artículo publicado por el INE y se puede encontrar en la página: <http://www.ine.gob.mx/publicaciones/libros/437/quintanilla.html>

<sup>18</sup> Molina L. T, Molina M. J., 2005, "La calidad del aire en la megaciudad de México, Un enfoque integral", Editorial Fondo de Cultura Económica, México, pp 118, ISBN 968-16-7580-0.

**a) Consumo de energía en el sector transporte**

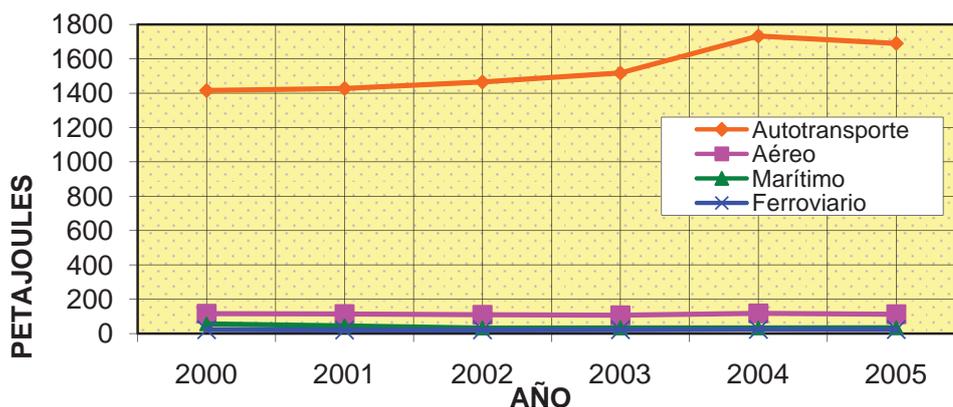
El consumo energético en el sector transporte es el de mayor dinamismo, ya que creció 9.7% en 2007 respecto a 2006; este sector incrementó su contribución final total de 43.4% en 2006 a 44.8 % en 2007, en la Gráfica 1.5 se muestra el consumo total de energía por sector del 2000 a 2007 y en la Gráfica 1.6 se muestra la evolución registrada del consumo de energéticos por los modos de transporte en la República Mexicana de 2000 a 2005 (SENER 2007)<sup>19</sup>.

**GRÁFICA 1.5** Consumo Total de Energía por Sector en la República Mexicana.



\*1 petajoules = 10<sup>15</sup> joules = 238.84 x 10<sup>12</sup> calories

**GRÁFICA 1.6** Demanda de Energía en los Diferentes Modos de Transporte en la República Mexicana.



\*1 petajoules = 10<sup>15</sup> joules = 238.84 x 10<sup>12</sup> calories

<sup>19</sup> Secretaría de Planeación Energética y Desarrollo Tecnológico (SENER), Balance General de Energía 2007, disponible en la página: [http://www.sener.gob.mx/webSener/res/PE\\_y\\_DT/pub/Balance\\_2007.pdf](http://www.sener.gob.mx/webSener/res/PE_y_DT/pub/Balance_2007.pdf)

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. En el cuadro 1 se muestra el consumo de los principales energéticos utilizados en los diferentes subsectores que integran al sector transporte mexicano para los años 1999 y 2000.

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.

# Capítulo 2

## Modelos de factores de emisión para vehículos automotores

---

## Capítulo 2

### Modelos de factores de emisión para vehículos automotores.

Esta sección resume los antecedentes históricos de los modelos de factores de emisión MOBILE y PART5 en Estados Unidos de América (EEUU), así como una breve descripción del uso de ambos modelos en México y además se describe brevemente el modelo para el cálculo de emisiones del HDM-4 que utiliza en el Instituto Mexicano del Transporte (IMT). La descripción del modelo del software MOBILE será el tema central, ya que es precisamente esta herramienta informática la se utilizará para la modelación de emisiones en el caso de estudio con la propuesta metodológica desarrollada para dicho caso.

#### 2.1 Modelo de Factor de Emisión PART5

El modelo de factor de emisión PART5 de la EEUU EPA 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<sub>x</sub>) de vehículos automotores. Sin embargo, se recomienda que los factores de emisión de SO<sub>x</sub> 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<sub>x</sub> deben estimarse utilizando balances de combustible. La última versión del modelo PART5 fue emitida en febrero de 1995 (EEUU. EPA, 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<sub>x</sub>) han recibido una mayor prioridad que las PM. En consecuencia, algunos de los parámetros que afectan las emisiones de partículas en los vehículos automotores (e. g., 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 (e. g., 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 automotores mexicanos.

Hasta este momento, el modelo PART5 no ha sido 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 sea utilizado 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 para México.

## 2.2 Submodelo Efectos Ambientales del HDM-4<sup>20</sup>

El modelo se basa en el propuesto por Hammerstrom (1995) y predice las emisiones del escape de los vehículos en función del consumo de combustible y de la velocidad.

El consumo de combustible está en función de la velocidad del vehículo, que a su vez depende de las características del camino. De esa manera es posible analizar el cambio en la cantidad de emisiones como resultado de la implementación de diferentes estrategias de mantenimiento y mejora de un camino, o cuando hay cambio mayores en la flota vehicular usando la red carretera.

El modelo permite calcular la cantidad de emisiones contaminantes en forma de sustancias químicas y ruido, generadas por la operación del transporte sobre una red carretera o segmento de la misma, así como el balance energético del ciclo de vida de estrategias de conservación.

El modelo considera únicamente las siguientes emisiones primarias: el monóxido de carbono (CO); el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>); los óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>); el dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>); hidrocarburos (HC); plomo (Pb), y las partículas suspendidas (también llamadas en la literatura especializada PM, por sus siglas en inglés *Particulate Matter*).

Considerando el grado de sofisticación y de agregación de datos, el modelo contenido en el HDM-4 para predecir la cantidad de emisiones generadas por la operación del transporte, suele considerarse como un modelo a escala meso – macroscópica.

Este hecho simplifica en gran medida el modelo y permite su relativa fácil aplicación para casos en que el nivel de detalle en la cuantificación de emisiones requerido no sea muy grande.

Atendiendo a su planteamiento matemático, el modelo se clasifica como mecanístico, ya que utiliza ecuaciones que han sido desarrolladas utilizando fundamentos de la Química y Física, que permiten describir la tasa de emisión de un tipo de fuente en particular

A diferencia de otros modelos, el HDM-4 realiza una comparación en cuanto a nivel de emisiones entre dos proyectos de mejora de una carretera y no entre dos vehículos, motivo por el cual se construyó el modelo con base en la predicción de niveles de emisión promedio.

Esta comparación podría ayudar a decidir entre diversas estrategias de conservación a la que debería ser usada para un segmento determinado de la red, comparando los beneficios que se obtendrían con la disminución en la cantidad de emisiones generadas

---

<sup>20</sup> Torras Ortiz S., Mendoza Sánchez J. F., Téllez Gutiérrez, 2005, "Análisis Paramétricos del Submodelos Efectos Ambientales del HDM-4", Publicación Técnica No. 266 del Instituto Mexicano del Transporte (IMT), Querétaro, México, pp 29, 34-37, 40,41

debido a la mejora de las condiciones del camino, y el costo de implementar dichas estrategias.

En el HDM-4 no se considera la duración o distancia total de los recorridos realizados como dato de entrada, por lo que la composición del tiempo en el que el motor genera emisiones en frío o en caliente no es considerada dentro del modelo y se asume siempre en caliente. Esto debido a que se asume que la composición de tiempos no sufriría cambios sustanciales causados por las obras de mejora o reconstrucción, salvo en los casos en los que la obra implique una reducción importante del tiempo de recorrido.

Diversos estudios señalan que la mayoría de las emisiones evaporativas se presentan en vehículos estacionados. Al igual que en el caso de las emisiones en frío y caliente, el impacto que pudiese tener la implementación de mejoras o deterioro de la infraestructura se considera mínimo, por lo que el HDM-4 no considera este fenómeno en su modelo de emisiones.

Los siguientes datos son requeridos para el cálculo de las emisiones:

1. Volumen de tránsito en la sección considerada
2. Longitud de la sección
3. Velocidades de los vehículos, la cual se obtiene en el módulo RUE (efectos para los usuarios)
4. Consumo de combustible, también obtenido en el módulo RUE
5. Vida de servicio del vehículo
6. Parámetros del modelo, proporcionados en forma de tablas en la documentación del HDM-4

Los efectos de las emisiones generadas no se valoran, ni se incluyen en el análisis económico; únicamente se consideran las diferencias netas en la cantidad de contaminantes generados para cada par de opciones de inversión.

Si bien este modelo no representa de manera detallada la cantidad y naturaleza exacta de las emisiones generadas y el grado de agregación de la información es considerable, es de resaltar que el modelo permite obtener una idea concreta de las implicaciones ambientales por el deterioro de las condiciones de la red carretera, sobre todo en zonas suburbanas, donde la población que es afectada por la mala calidad del aire es mayor.

Para realizar análisis detallados del impacto de estrategias específicas en el transporte, se recomienda el uso de modelos específicamente diseñados para tal propósito, como es el caso de MOBILE6-México.

## 2.3 Modelo de Factor de Emisión MOBILE 6

### 2.3.1 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 automotores 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 2.1.<sup>21</sup>

**Tabla 2.1** Definición de Hidrocarburos

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

(DIF) Utilizados en las pruebas de vehículos automotores.

La primera generación del modelo MOBILE fue creada a mediados de los años 70's y, desde entonces, ha tenido numerosas actualizaciones y revisiones para incorporar los cambios de la legislación ambiental y los avances tecnológicos. Estas versiones actualizadas también 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) fue emitida a finales del año 2000. El modelo MOBILE y otra información relacionada con los inventarios de emisiones de vehículos automotores puede ser obtenida en la página electrónica de la Agencia para la Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos de América (U.S. 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 el objeto de tomar en cuenta las posibles

<sup>21</sup> ARB, 1993. *Methodology for Estimating Emissions from On-Road Motor Vehicles, Volume I: EMFAC7F*, California Air Resources Board, Sacramento, California, USA.

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) utilizan 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 (Ver Tabla 2.2)

**Tabla 2.2** Matriz de Equivalencia de la Tecnología de Control de Emisiones Típica

Año Modelo Mexicano	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	1968	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	1971	1971	1971	1971	1971	1971	1971	1971
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	1982	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	1980	1981	1981	1981	1981	1981	1981	1981	1988	1988	1988	1988	1988	1988	1988	1988
1996	1980	1981	1981	1981	1981	1981	1981	1981	1988	1988	1988	1988	1988	1988	1988	1988
1997	1980	1981	1981	1981	1981	1981	1981	1981	1990	1990	1990	1990	1990	1990	1990	1990
1998	1984	1985	1985	1985	1985	1985	1985	1985	1990	1990	1990	1990	1990	1990	1990	1990
1999	1985	1985	1985	1985	1985	1985	1985	1985	1990	1990	1990	1990	1990	1990	1990	1990
2000	1986	1985	1985	1985	1985	1985	1985	1985	1990	1990	1990	1990	1990	1990	1990	1990
2001	1987	1983	1983	1983	1983	1983	1983	1983	1994	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, Capítulo IV Desarrollo de inventarios de emisiones de vehículos automotores", INE

### 2.3.2 Descripción del modelo

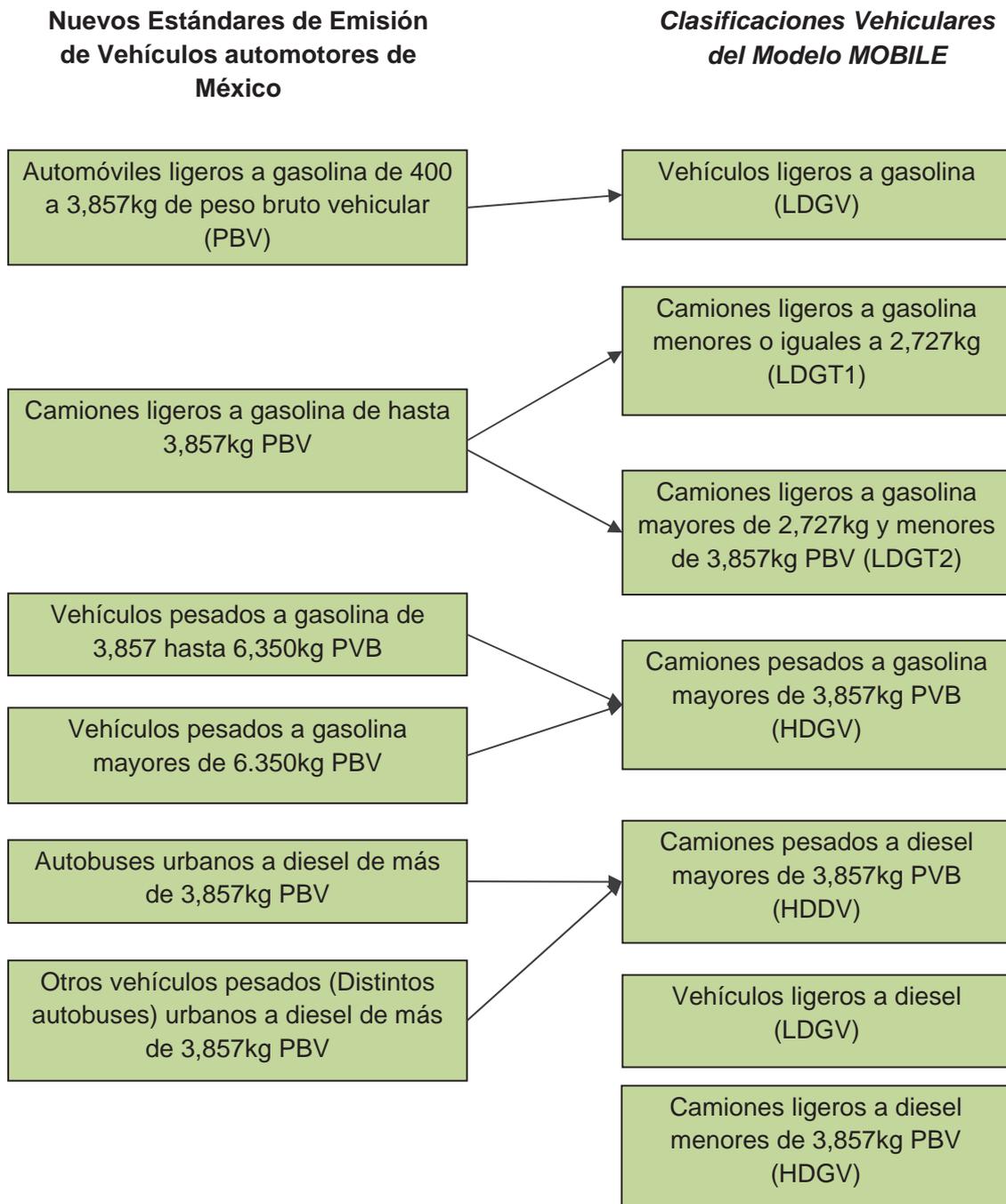
En el modelo MOBILE la meta final consiste en calcular un factor de emisión promedio para cada tipo de vehículo. Calcula factores de emisión para hidrocarburos, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, compuestos orgánicos totales, material particulado y SO<sub>2</sub>, seis contaminantes tóxicos (HAP's) y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), todo esto para 28 categorías vehiculares (Tabla 2.3).

La descripción teórica del MOBILE6 en ésta sección es obtenida de las memorias del Curso Uso del MOBILE6\_México, impartido por M. C. J. Andrés Aguilar Gómez en el Instituto Nacional de Ecología (INE) el día 27 de febrero de 2009, México, D.F. y del Manual de programa de inventarios de emisiones de México Volumen VI - Desarrollo de inventarios de misiones de vehículos automotores, elaborado por Radian International para el Instituto Nacional de Ecología (INE). Febrero 19, 1997.

**Tabla 2.3** Categorías del MOBILE 6

Núm.	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	HDBGV2B	Vehículos pesados a gasolina clase 2b (PBV > 3,856 a 4,536 kg)
7	HDBGV3	Vehículos pesados a gasolina clase 3 (PBV > 4,536 a 6,350 kg)
8	HDBGV4	Vehículos pesados a gasolina clase 4 (PBV > 6,350 a 7,258 kg)
9	HDBGV5	Vehículos pesados a gasolina clase 5 (PBV > 7,258 a 8,845 kg)
10	HDBGV6	Vehículos pesados a gasolina clase 6 (PBV > 8,845 a 11,794 kg)
11	HDBGV7	Vehículos pesados a gasolina clase 7 (PBV > 11,794 a 14,969 kg)
12	HDBV8A	Vehículos pesados a gasolina clase 8a (PBV > 14,969 a 27,216 kg)
13	HDBV8B	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)

Si bien esta clasificación proporciona información considerablemente detallada, el registro de las emisiones para las 28 clases vehiculares puede representar grandes retos para el manejo de datos. Por tanto, para el INEM, se decidió agregar los resultados de las emisiones de vehículos automotores en las siguientes siete clases (Figura 2.1):



**Figura 2.1** 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, Capítulo 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 2005, 2004, 2003, etc, camiones ligeros clase 1: 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.

### **Ajuste de las emisiones base**

El MOBILE calcula como primer paso 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, éstas ecuaciones teóricas básicas utilizadas no serán 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 de las TBE's son los 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 2.2).

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 automotor; 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.

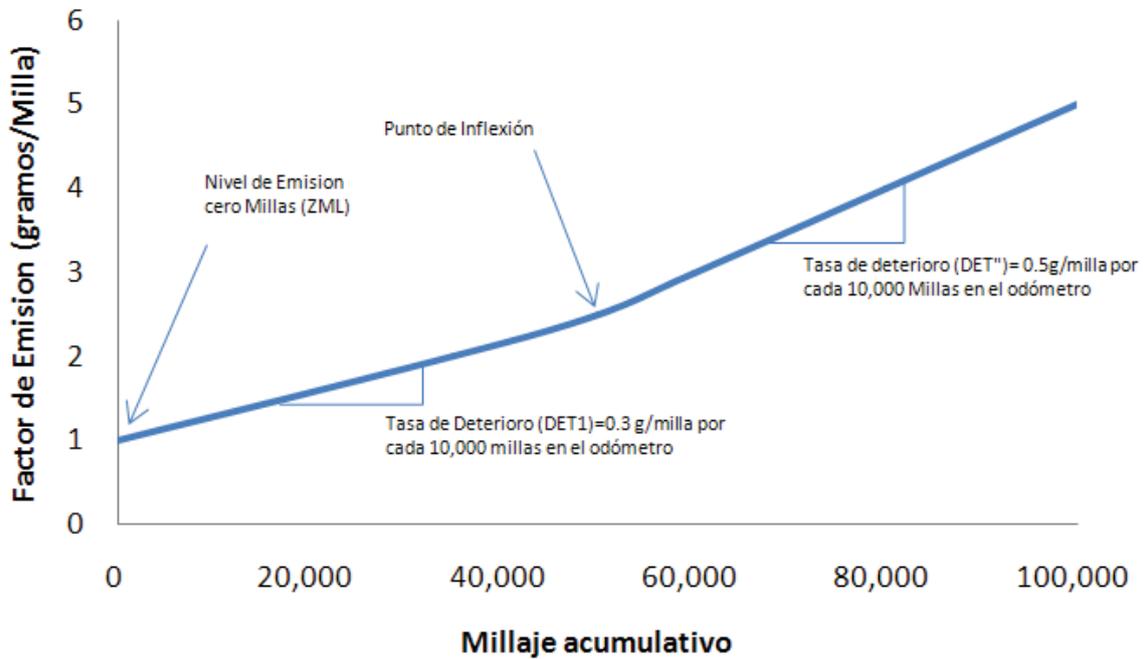


Figura 2.2 Tasas de Emisión Básicas Hipotéticas (BERs)

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

En resumen 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

### **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).

Mobile6 incluye valores por defecto; sin embargo, éstos pueden ser sustituidos por información más específica que refleje las condiciones del sitio a modelar.

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 Mobile6 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 están basadas en condiciones que son representativas de una altura media sobre el nivel del mar de aproximadamente 500 pies (152 metros), en tanto que los factores para altitudes altas están basados en condiciones que son representativas de un altura promedio sobre el nivel del mar de aproximadamente 5,500 pies (1,676 metros).

#### ***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).

### ***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 tener una terminación .IN, para que el programa pueda reconocerlo.

El archivo de entrada esta compuesto por tres secciones (Figura 2.3):

#### ***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.

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, como ejemplo se puede realizar el modelado con diferentes datos de velocidad.

Mobile 6 lee más de 150 caracteres por cada línea ingresada en el archivo de entrada, para ello se pueden ingresar tres tipos de líneas:

- Líneas de comandos, para el control de los cálculos o el formato de los datos de salida, el comando se escribe a partir de la primer columna, hasta completar 19 columnas, relleno con espacios en blanco las columnas que no se alcancen a llenar, como en el siguiente ejemplo:

```
1234567890123456789  
POLLUTANTS      : HC CO NOx
```

Por convención en la columna 20 se colocan dos puntos (:), pero esto no es requerido, la columna 21 se llena con un espacio en blanco.

- Líneas de datos, estas se encuentran asociadas con los comandos y se escriben a partir de la columna 22 generalmente, no obstante pueden escribirse de la columna 1 a la 19.

- Líneas de comentarios, el modelo cuenta con dos líneas de comentarios, la primera de ellas lleva un asterisco (\*) en la primer columna, esta información es ignorada por el programa, la segunda de ellas lleva el símbolo mayor que (>), el programa lee la información y la imprime en los datos de salida.

```
MOBILE6 INPUT FILE :

> Header section

*      1      2      3      4      5      6      7      8
*23456789012345678901234567890123456789012345678901234567890123456789
* 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 111111111 1 111 111111111 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 2.3 Ejemplo de archivo de entrada al modelo

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.

### Cálculo de 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 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 kilómetros al día, en tanto que los taxis recorren 200, repercutiendo de manera directa en el deterioro de los vehículos, los archivos que se ven afectados en el modelo, son los correspondientes a acumulación de millas y distribución de la flota vehicular, el Tabla 2.4 indica el nombre de los archivos adecuados, con base en la flota vehicular y datos de actividad reportados en el inventario de emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México 2004, para el Distrito Federal.

**Tabla 2.4** Archivos de Mobile que fueron adecuados

	<b>Archivos para vehículos de transporte público de pasajeros</b>	<b>Archivos para el resto de la flota</b>
Acumulación de millas	df04_TAX	df04_MAR
Distribución vehicular	DFT_dat4	DFP_dat4

Los archivos del cuadro anterior, así como los archivos de entrada y de salida se encuentran dentro de las bases de datos que utiliza el modelo.

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

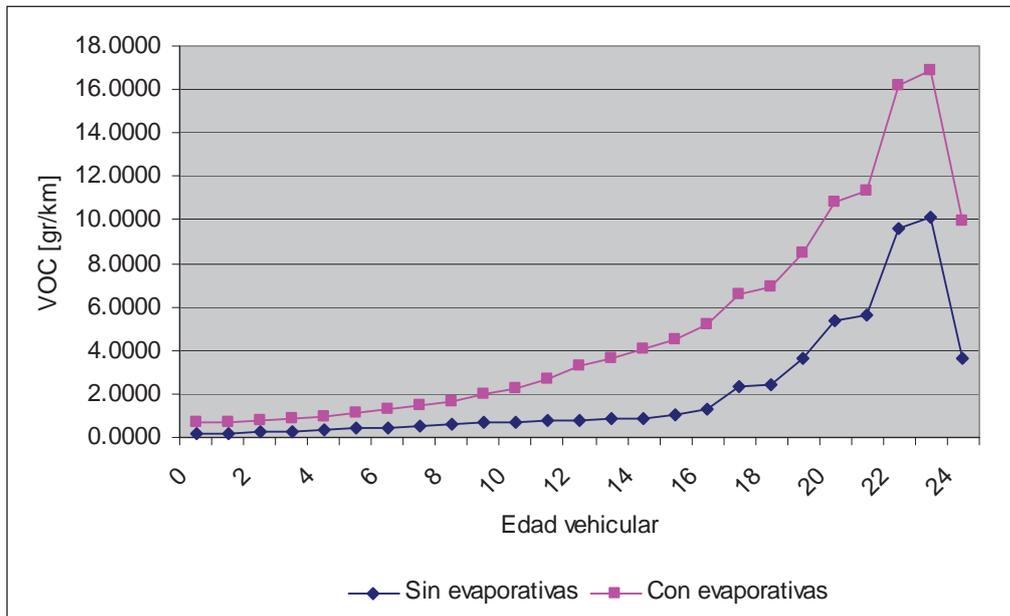
Los dos reportes de los factores de emisión desagregados por año modelo y contaminante aparecen en el directorio C:\m6\_mex con la terminación tb1, asimismo en el directorio C:\m6\_mex\corridas se encuentran cuatro archivos con el reporte final con los factores de emisión globales y el archivo resumen de partículas.

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 2.5 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 2.5** Factores de emisión en gramos por kilómetro en vehículos de pasajeros

<b>Edad Vehicular</b>	<b>Sin evaporativas</b>	<b>Con evaporativas</b>
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 2.1 se aprecia más claramente éste comportamiento, ya que al no considerar las emisiones evaporativas se subestima la emisión de los hidrocarburos en los vehículos

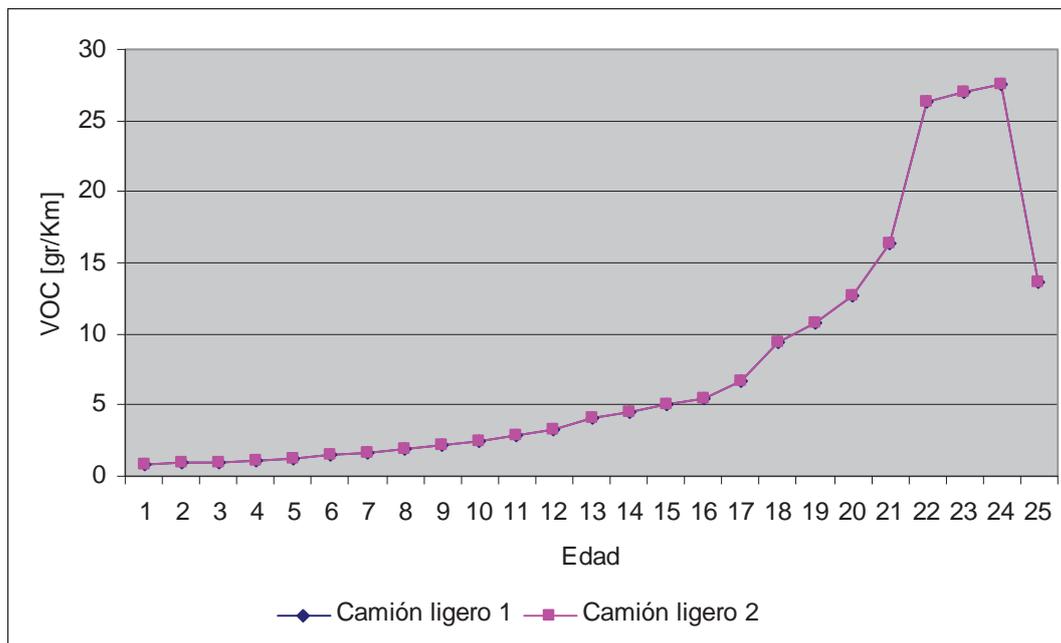


**Gráfica 2.1** Comportamiento de las emisiones de los hidrocarburos sin considerar las emisiones evaporativas y considerando evaporativas.

**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, D.F.

Algo que es relevante y como podrá apreciarse en los factores de emisión calculados es de que el valor calculado para vehículos con una antigüedad de 24 años tiende a ser menor, 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 2.2), es decir, no hay un cambio sensible, por tanto se pueden tomar indistintamente como camiones ligeros clase uno o dos.



**Gráfica 2.2** 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, D.F.

En el archivo factores.xls se presentan los factores de emisión obtenidos para el año calendario, para las categorías vehiculares modeladas, asimismo se anexan dos archivos en Excel con tablas dinámicas que permiten consultar los factores de emisión por tipo de vialidad y tipo de emisión, cabe señalar que para su construcción se utilizaron los archivos con extensión tb1 y cuentan con las 28 categorías que maneja Mobile, en este sentido es conveniente mencionar que no se utilizan algunas de esas categorías, ya que no han sido comercializadas de manera oficial en México.

Con relación a las categorías que se encuentran 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 tienen las de los autobuses, no quedando definidas las de tractocamiones, camiones de rango medio, etc.

# Capítulo 3

## Inventario de emisiones en la Ciudad de Uruapan.

---

---

### 3.1 Descripción del Medio Social y Económico de Uruapan.



Uruapan es la segunda ciudad más importante del estado 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”. Se considera también el punto de unión entre tierra caliente y la meseta Purhépecha. Su nombre oficial es Uruapan del Progreso, aunque no es común referirse así a ella. Uruapan (en purhépecha Uruapani, Jícara de flores o frutos) fue fundada por Fray Juan de San Miguel en el año 1533<sup>22</sup>.

#### Localización

El municipio de Uruapan se localiza en la zona centro-occidente del estado de Michoacán, tiene una extensión territorial total de 954.17 kilómetros cuadrados que equivalen al 1.62% de la extensión total del estado. Sus límites son al norte con el municipio de Charapan, el municipio de Paracho y el municipio de Nahuatzen, al este con el municipio de Tingambato, al municipio de Ziracuaretiro y el municipio de Taretan, al sur con el municipio de Gabriel Zamora y al oeste con el municipio de Nuevo Parangaricutiro, con el municipio de Peribán y con el municipio de Los Reyes. (Figura 3.1)

<sup>22</sup> "Los Municipios del Estado de Michoacán" de la *Enciclopedia de los Municipios de México*, editada en los años de 1987 y 1988 por el entonces Centro Nacional de Estudios Municipales de la Secretaría de Gobernación, en coordinación con los estados y municipios del país.



**Figura 3.1** Localización del Municipio de Uruapan en el Estado de Michoacán.

**Fuente:** Documento electrónico, 2006, "Carpeta Municipal de Uruapan", Secretaría de planeación y desarrollo estatal del Gobierno del Estado, pp 8, <http://seplade.michoacan.gob.mx/seim/municipal/productos/uruapan.pdf>

### **Población y vivienda**

Los datos arrojados por el Segundo Censo de Población y Vivienda de 2005, el municipio de Uruapan cuenta con 279,229 habitantes, la estimación poblacional de CONAPO en 2009 sólo para la ciudad de Uruapan es de 248,250 habitantes, con una tasa de crecimiento anual cercana al 1%. La densidad de población es de 336 habitantes por km<sup>2</sup>.

Uruapan carece de reserva territorial, a la vez que registra un déficit de más de doce mil viviendas. El costo de la tierra en este municipio se ha encarecido debido a que la misma se utiliza para el establecimiento de huertos de aguacate y no es usada para asentamientos humanos.

### **Desarrollo e Inversiones**

El Municipio de Uruapan durante muchos años se ha caracterizado por ser un centro comercial regional que abastece de productos y servicios a más de 13 municipios circunvecinos, la intensa actividad agrícola de esta región ha hecho de Uruapan un punto estratégico como abastecedor de insumos, maquinaria y servicios relacionados con esta actividad.

Cabe destacar que hace aproximadamente 20 años, Uruapan se convierte en la Capital Mundial de Aguacate por su excelente clima que favorece al cultivo de este fruto,

actualmente se producen en Uruapan y su región cerca de 500,000 Toneladas de aguacate anualmente de las cuales se exporta el 10% a mercados como Francia, Japón y Estados Unidos y Canadá entre otros, esta intensa actividad de cultivo del llamado "oro verde" hace de Uruapan un lugar atractivo para invertir en esta actividad tanto en tecnología como en servicios a productores y empacadores, como en la gran área de oportunidad que representa la agroindustria que implica dar mayor valor agregado al producto en la elaboración de aceite o pasta de aguacate, de gran demanda en los mercados nacionales e internacionales.



**Fuente:** Portal de los municipios, H. Ayuntamiento de Uruapan, pagina de Internet: <http://www.municipiosmich.gob.mx/uruapan/municipio/estadistica/economia.php>

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.

Uruapan es una ciudad ubicada como ya se mencionó anteriormente en el centro geográfico del estado de Michoacán lo que la convierte en un punto estratégico tanto a nivel regional como nacional por las excelentes vías de comunicación que lo rodean, es importante destacar que esta región muestra una tendencia a ser a mediano plazo la capital económica y comercial del estado.

Todo lo anterior se encuentra enmarcado en un excelente clima por encontrarse ubicado en una zona de transición donde al norte, en la meseta Purépecha se encuentra el clima frío y a pocos kilómetros al sur las características son de clima caliente, esto mismo hace de la región un lugar donde coinciden cultivos como el durazno y el aguacate, así como la papaya el limón, el nopal, el mango y frutas exóticas como el maracuyá, el lichee, la zarzamora e incluso flores exóticas respectivamente.

## Industria y Comercio

El municipio se ha caracterizado por años por ser el centro comercial regional que abastece de insumos, maquinaria y servicios relacionados con esta actividad; recientemente se han instalado en Uruapan centros comerciales de importantes cadenas transnacionales y de franquicias. Uruapan es el centro comercial de la Meseta Purhépecha y abastece de satisfactores a 13 municipios (Tancítaro, Peribán, Los Reyes, Charapan, Chilchota, Cherán, Paracho, Nahuatzen, Tingambato, Ziracuaretiro, Taretan, Nuevo Parangaricutiro, Parácuaro, Gabriel Zamora, Tinguindín y Uruapan) de los 113

municipios del Estado contando con ello con un área de influencia para 694,259 Habitantes.



**Fuente:** Portal de los municipios, H. Ayuntamiento de Uruapan, pagina de Internet:  
<http://www.municipiosmich.gob.mx/uruapan/municipio/estadistica/economia.php>

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, de los cuales el 82% realiza actividad comercial y de servicios.



**Fuente:** Portal de los municipios, H. Ayuntamiento de Uruapan, pagina de Internet:  
<http://www.municipiosmich.gob.mx/uruapan/municipio/estadistica/economia.php>

La población económicamente activa del municipio en 2005 fue el 33.1% y el desempleo fue 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.

### **Agricultura.**

La agricultura es la actividad económica de mayor importancia en el municipio y en particular la producción de frutas, tales como aguacate, durazno, zarzamora, naranja y macadamia entre otras, representando el 20 % de la superficie total del municipio, destacando importantemente el cultivo del aguacate que ocupa 16,588 has, 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 países como Estados Unidos, Canadá, Centro América, Unión Europea, Japón, China, Norte de África, Marruecos y Sudamérica.

## Ganadería

La producción agropecuaria brinda al municipio oportunidad para que a través de inversiones productivas para el mejoramiento genético del ganado y la tecnificación de las instalaciones pecuarias, se acelere su crecimiento social y económico.

**Tabla 3.1** Población Ganadera (Cabezas)

Bovino	11,250
Porcino	1,348
Ovino	43
Caprino	5,940
Gallinaceas	37,727
Colmenas	1,216
Otras especies	109

Nota: Dato proporcionado por el H. Ayuntamiento de la Ciudad de Uruapan:

## Forestal

Uruapan cuenta con un gran potencial en la producción forestal, teniendo 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 56,306m<sup>3</sup>, Oyamel 1,084m<sup>3</sup> y Encino 8,473m<sup>3</sup> siendo un total de 65,863 m<sup>3</sup> en rollo, además de una producción de 4122 Ton Resinas.

## Acuacultura

Actualmente se produce trucha arcoiris en el Parque Nacional y en el criadero denominado La Alberca, quienes fueron los pioneros en la producción de esta especie con excelentes resultados.

Debido a la importancia que reviste la ciudad de Uruapan dentro del marco económico nacional, se definió utilizar esta ciudad del tipo media clasificada por la Secretaría de Desarrollo Social, así como las falibilidades para la obtención de la información y el desarrollo de los estudios de campo, permitieron poder aplicar la propuesta metodológica para la estimación de emisiones.

### 3.2.- Metodología Básica para la Estimación de Emisiones

La ecuación básica utilizada para la estimación de las emisiones de los vehículos automotores requiere la multiplicación de los datos de actividad vehicular por un factor de emisión apropiado, como se muestra en la Ecuación 3.1<sup>23</sup>

$$E_p = KRV \times FE_p \quad (\text{Ecuación 3.1})$$

Donde:

$E_p$  = Emisiones totales del contaminante p

KRV = Kilómetros recorridos por vehículo

$FE_p$  = Factor de emisión del contaminante p

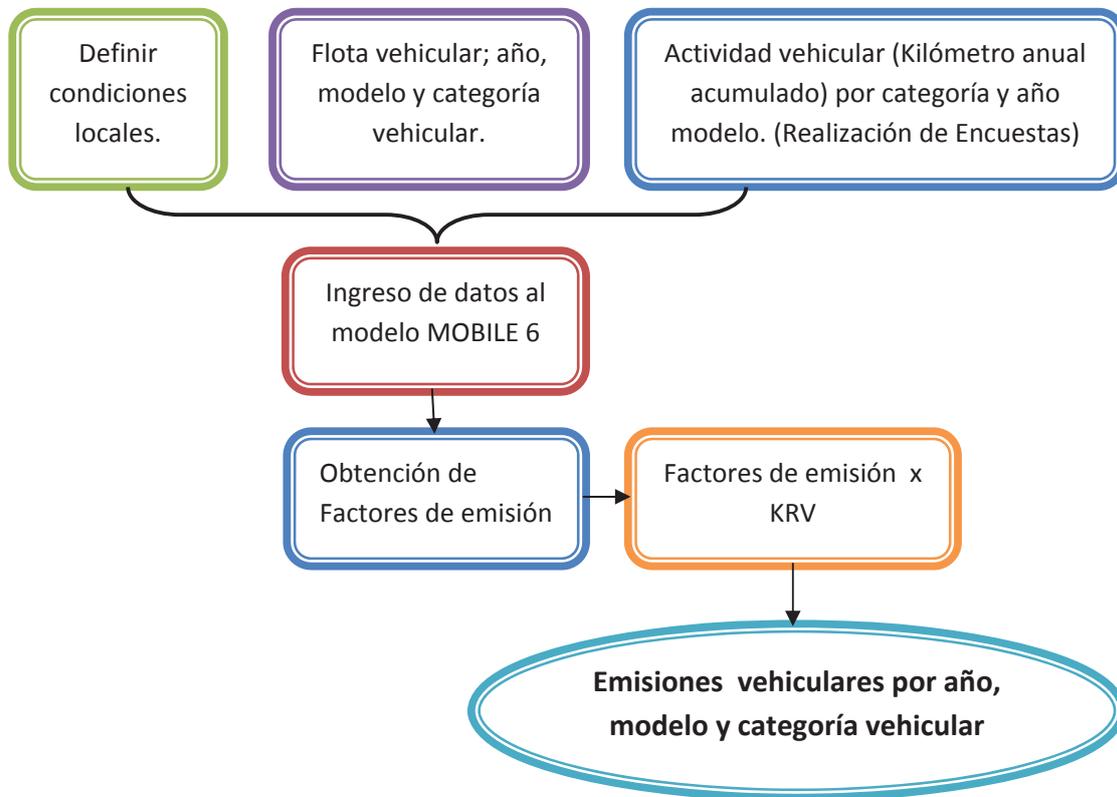
Para los vehículos automotores, los datos de actividad se refieren a los kilómetros recorridos por vehículo (KRV), mientras que los factores de emisión se expresan en unidades de gramo de contaminante por KRV. Los KRV representan la distancia total recorrida por una población de vehículos en un periodo 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 de los vehículos automotores 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 del vehículo, la tecnología para el control de emisiones, la temperatura ambiente y la altitud pueden afectar los factores de emisión. Con el objeto de incorporar éstos y otros factores, generalmente se utiliza un modelo de factor de emisión que incluye los efectos de numerosos parámetros.

La Figura 3.2 muestra la metodología empleada para determinar las emisiones de los vehículos de la ciudad de Uruapan, en el Estado de Michoacán.

---

<sup>23</sup> INE, 1997, "Manuales del programa de inventarios de emisiones de México", Volumen VI - Desarrollo de Inventarios de emisiones de vehículos automotores.



**Figura 3.2.** Metodología para la estimación de emisiones

Para el desarrollo de un inventario de emisiones de vehículos automotores es necesario obtener un gran número y una gran variedad de datos que incluyen KRVs; estadísticas de consumo de combustible; velocidades de manejo, datos del registro vehicular y clases de vehículos; así como las características del combustible.

En algunos casos, los datos son absolutamente indispensables para el proceso del inventario y deben obtenerse para generar incluso las estimaciones más preliminares. En otros, los datos se utilizan para refinar el modelado, a menudo reemplazando los datos por omisión con la información local.

#### **Los datos primarios para un inventario incluyen:**

- Datos de actividad vehicular que cubran la región del inventario en su totalidad (típicamente KRV o consumo de combustible), agrupados para coincidir con los datos del factor de emisión disponibles.
- Estándares de emisión vehicular por año y modelo.

- Velocidades vehiculares promedio.
- Factores de emisión por tipo de vehículo, tipo de combustible, año, modelo y velocidad de manejo.
- Datos de la composición del combustible para la región del inventario, por estación, incluyendo contenido de azufre, oxígeno y plomo, y presión de vapor Reid (PVR).
- Distribución del parque vehicular por año y modelo, incluyendo la fracción de vehículos no registrados y extranjeros.
- Condiciones locales de altitud y temperatura ambiente.
- Tasas de acumulación anual de kilómetros por vehículo, por clase vehicular, modelo y año.

### 3.3 Obtención de datos por medio de encuestas

Para recolectar datos necesarios para la investigación se recurrió a herramientas tales como la aplicación de encuestas directas a los usuarios.

Las encuestas es un método para obtener información de una muestra de individuos. Esta “muestra” es usualmente sólo una fracción de la población bajo estudio.

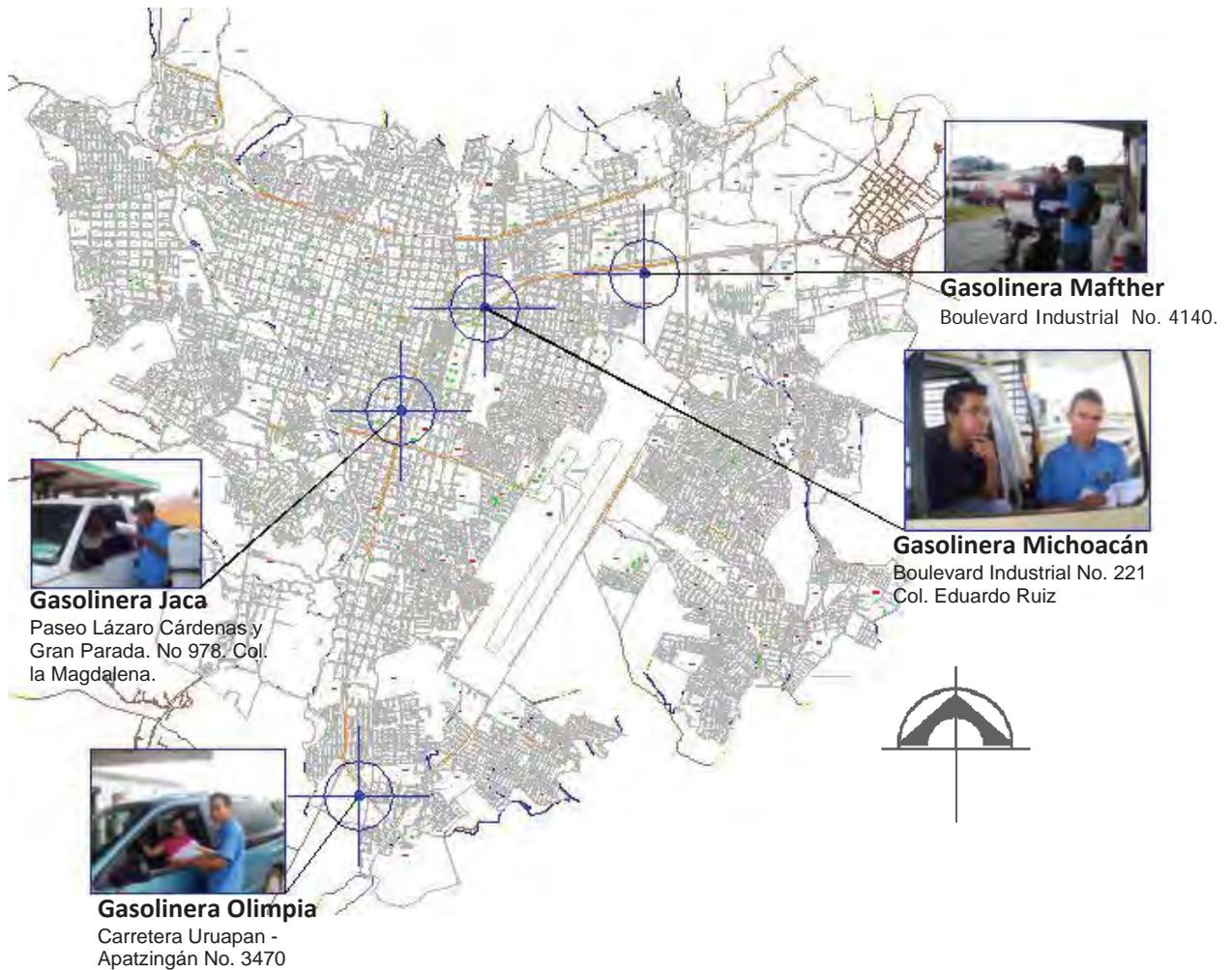
#### Procedimiento de muestreo

El objetivo principal de aplicar la encuesta desarrollada fue la de conocer el tipo de combustible que utilizan comúnmente los vehículo 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 4 puntos estratégicamente localizados en las gasolineras ubicadas en diferentes sectores de la ciudad, tal y como se muestra en la figura 3.3. Esta estrategia para encuestar a los automovilistas mientras realizaban la carga de combustible, permitió contar con el tiempo suficiente para aplicar la encuesta además de que la gente recuerda más fácil el consumo de combustible. Las encuestas se realizaron en un periodo de cuatro días cubriendo cada día 8 horas de labor aproximadamente.

El tipo de muestreo utilizado fue el aleatorio, esto permite que la probabilidad sea la misma para cada miembro de la población a ser elegidos. Es uno de los métodos más empleados y recomendado en las investigaciones sociales y educacionales, ya que este principio de darle la oportunidad a cada uno de los miembros de la población a ser elegidos o tomados como muestra, es lo que permite 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<sup>24</sup>.



**Figura 3.3** Puntos estratégicos de obtención de resultados de encuestas.

En la figura 3.4 se muestra el cuestionario de encuesta desarrollado y aplicado a cada uno de los usuarios seleccionados aleatoriamente.

<sup>24</sup> MONTGOMERY C. D, 1996, "Probabilidad y Estadística aplicada a la Ingeniería". Editorial Mc. Graw Hill, México, pp 895.



**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 ( ) Publico estatal ( )

**3. ¿Qué tipo de combustible utiliza?**

Gasolina Magna ( ) Gasolina Premium ( ) Diesel ( ) Gas ( ) Otro ( )

**4. ¿Tiene aire acondicionado?**

Si ( ) 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 3.4** Formato de Encuesta

## Tamaño de la muestra

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

Para poder seleccionar la cantidad de camionetas ligeras, taxis, autos ligeros, motocicletas y Camiones Urbanos a tomar como muestra representativa del total de vehículos de la Ciudad de Uruapan, que integran la población objetivo, se obtuvo el tamaño de muestra por proporciones, que permite determinar el tamaño de la muestra a partir de la proporción de la población.

La fórmula para determinar el tamaño de la muestra en el caso de una proporción es<sup>25</sup>:

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

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 en la ciudad de Uruapan, con el número de vehículos obtenidos de la Dirección de Ingresos de la Secretaría de Finanzas y Administración en el Estado de Michoacán y la proporción correspondiente como se muestra en la Tabla 3.2

**Tabla 3.2 Proporciones por categoría vehicular**

No	Categoría vehicular	No. De Vehículos	Proporción (p)	Proporción (%)
1	Auto ligero	32,859	0.456	45.6
2	Motocicleta	7,518	0.105	10.5
3	Camionetas ligeras	28,115	0.389	38.9
4	Taxi	3,323	0.046	4.6
5	Camiones urbanos	276	0.004	0.4
	<b>Total</b>	<b>72091</b>	<b>1.00</b>	<b>100</b>

### Cálculo del 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

<sup>25</sup> Anderson David R., Sweeney Dennis J. y Williams Tomas A., 2005, "Estadística para administración y economía", 8 Edición, Editorial Thomson, México, pp 307, 308, ISBN 0-324-06671-6

- **Auto ligero**

$$n = 0.456(1 - 0.456) \left(\frac{1.96}{0.05}\right)^2 = 382$$

De las cuales se realizaron un total de 914 encuestas

- **Motocicleta**

$$n = 0.105(1 - 0.105) \left(\frac{1.96}{0.05}\right)^2 = 138$$

Se realizaron 138 encuestas.

- **Camionetas ligeras**

$$n = 0.389(1 - 0.389) \left(\frac{1.96}{0.05}\right)^2 = 365$$

Se realizaron 447 encuestas.

- **Taxi**

$$n = 0.046(1 - 0.046) \left(\frac{1.96}{0.05}\right)^2 = 73$$

Se realizaron 539 encuestas

- **Camiones Urbanos**

$$n = 0.004(1 - 0.004) \left(\frac{1.96}{0.05}\right)^2 = 6$$

Se realizaron 28 encuestas

### 3.4 Determinación de parámetros

#### 3.4.1 Condiciones Locales.

El año en el que se realiza la modelación se considera 2007

##### 3.4.1.1 Altitud

A medida en que la altitud se incrementa existe menor cantidad de oxígeno en la atmósfera. 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/lit). Teóricamente por cada cien metros sobre el nivel del mar disminuye en 1% el rendimiento de estos.

En la ciudad de Uruapan la altura sobre el nivel del mar se considera 1,634 msnm, la cual para el programa es considerada como alta, del tipo No. 2

### 3.4.1.2 Temperatura y Humedad relativa.

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 lo tanto, el modelado de emisiones a cualquier otra temperatura requiere el uso de factores de ajuste para este parámetro<sup>1</sup>.

Para el caso de ésta investigación se tomarán los datos del Servicio Meteorológico Nacional tal como se observa en la Tabla 3.3.

**Tabla 3.3** Datos de temperatura máximas y mínimas de la Ciudad de Uruapan

	Máx/Anual	Mín/Anual	Humedad Relativa %
Estación: 00016165 Uruapan (CFE)	27.0	7.7	78

**Fuente:** Servicio Meteorológico Nacional

### 3.4.1.3 Características del Combustible – PVR

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. La volatilidad del combustible, en particular, afecta directamente la cantidad de las emisiones de un vehículo automotor. La volatilidad del combustible (gasolina) se expresa como presión de vapor de Reid (ó PVR). En la Tabla 3.4 se muestra los valores de calidad de combustibles correspondientes a la Ciudad de Uruapan.

De las encuestas realizadas se obtuvo información sobre el uso de combustible por lo que se hace una inferencia estadística para conocer el porcentaje de automovilistas que utilizan combustible Magna o Premium, y realizar promedios ponderados los cuales se muestran en la Tabla 3.5.

- No. De Muestra: 2038 automovilistas
- No. De automovilistas que compran combustible Magna: 1,871 / 92%
- No. De automovilistas que compran combustible Premium: 167 / 8%

**Tabla 3.4** Calidad de Gasolinas y Diesel en zona centro (Cd. De Uruapan, Mich)

2007	MAGNA		PREMIUM			DIESEL
	Azufre (ppm)	PVR (psi*)	Azufre (ppm**)	PVR (psi)	Oxigeno (%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

\*libra/pulg<sup>2</sup>

\*\*partes por millón

**Fuente:** Elaboración propia con datos de PEMEX refinación.

**Tabla 3.5** Valores de calidad en gasolinas utilizados.

Gasolina	Azufre (ppm)	PVR (psi)	%
Magna	600.8	9.82	92.0
Premium	33.3	7.71	8.0
<b>Promedio ponderado</b>	<b>555.4</b>	<b>9.65</b>	

Debido a que el Diesel tiene una volatilidad muy baja que resulta en emisiones evaporativas despreciables, el MOBILE no utiliza un valor PVR para este combustible y por lo que el valor que se utiliza únicamente es el de 223.2 ppm de Azufre (valor promedio).

### 3.4.2 Flota Vehicular

#### 3.4.2.1 Velocidad del vehículo.

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, en lugar de 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.

En el presente trabajo se realizó un estudio de la velocidad de punto para medir las características de la velocidad de operación vehicular en las principales arterias de la ciudad, bajo sus condiciones de tránsito y atmosféricas, que prevalecieron cuando se llevó a cabo el estudio.

#### Ubicación del estudio.

Se seleccionaron las avenidas principales con ayuda de personal del H. Ayuntamiento, con la intención de identificar las arterias que permiten el movimiento de tránsito entre áreas o partes de la ciudad, posteriormente se realizó un recorrido en vehículo por cada una de ellas para poder elegir el sitio en el cual se tomaran las lecturas de velocidad de punto considerando que fuera en un lugar estratégico en el que no existieran entradas y salidas de estacionamientos que interfirieran en el flujo vehicular, en éstos puntos el vehículo debe tener una velocidad de flujo libre (Ver Figura 3.5).

#### Hora de Estudio.

La hora para realizar el estudio de velocidad de punto se llevó a cabo durante uno de los tres periodos siguientes, lo cuales están fuera de las horas de máxima demanda<sup>26</sup>:

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

El estudio se realizó bajo condiciones atmosféricas normales.

<sup>26</sup> Box Paul C., Oppenlander Joseph C., Ph. D., 1985, "Manual de Estudios de Ingeniería de Tránsito", Cuarta Edición, Publicado por Representaciones y Servicios de Ingeniería S.A. de C.V., México, pp 85, ISBN 968-6062-85-8

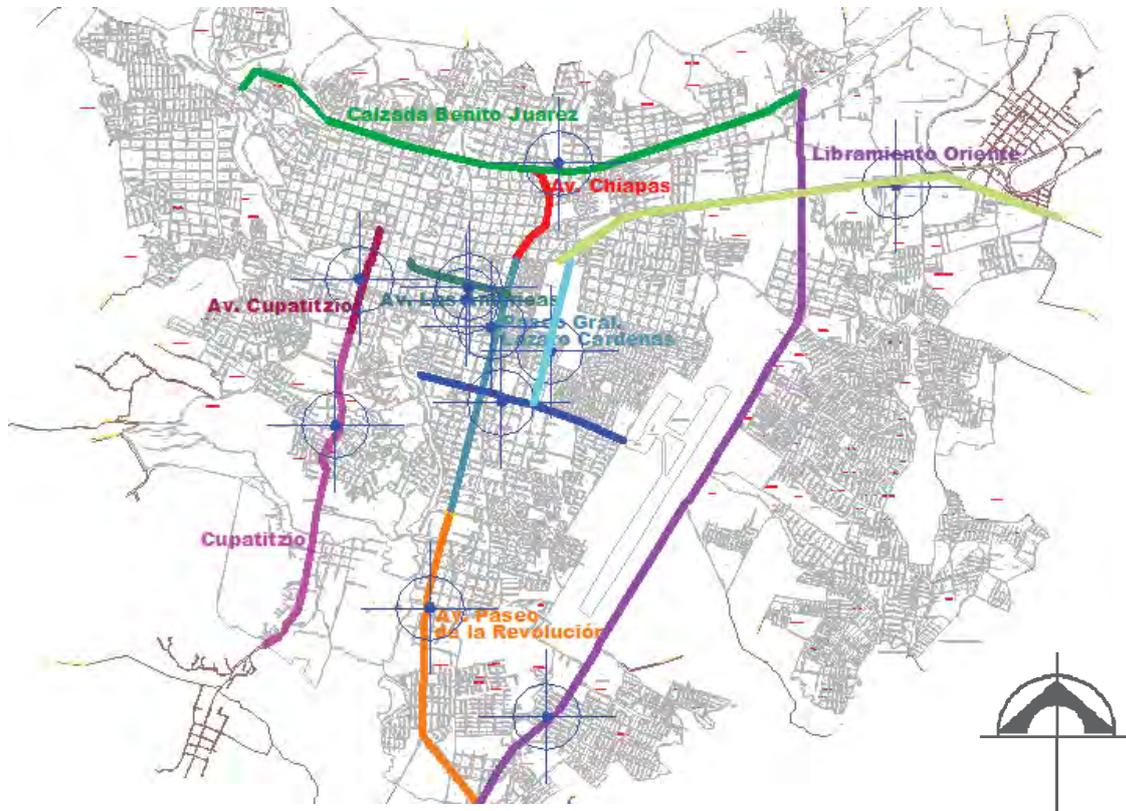


Figura 3.5 Ubicación de lecturas de velocidad vehicular.

### Equipo.

El Estudio se realizó mediante un método automático en el cual se empleó un radar de pistola Genesis Handheld Direccional (Portátil), el cual se puede observar en la Figura 3.6. El radar es utilizado para medir la velocidad instantánea del vehículo, y en nuestro caso se realizó en forma manual. Las mediciones de velocidad con el radar se hacen con todo el equipo montado dentro de un vehículo que está estacionado a un lado de la corriente del tránsito



Figura 3.6 Radar de Pistola

### Tamaño necesario de la muestra.

Un buen estudio de velocidad de punto requiere de un tamaño adecuado de la muestra, para satisfacer consideraciones estadísticas. En la siguiente ecuación se puede calcular el tamaño mínimo de la muestra;

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

Donde:

n = Tamaño mínimo de la muestra

K = No. de desviaciones estándar referidas al nivel de confianza deseado, que es de 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/hr)

En la Tabla 3.6 se muestra los diferentes valores para la desviación estándar según tipo de tránsito y tipo de camino.

**Tabla 3.6** “S” Estimado para determinar tamaños (n)

Tipo de tránsito	Tipo de Camino	“S” Estimado (km/hr)
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 del IMT, Querétaro.

Sustituyendo valores se tiene que;

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

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

En éste estudio, en forma práctica se considera el mismo tamaño de muestra para cada punto de estudio, el cual consta de **125 lecturas**, ya que estamos dentro del error permitido.

### Análisis estadístico de la información obtenida.

La información obtenida en cada punto de estudio se analizó con el Método Estadístico de Ingeniería de Tránsito<sup>27</sup>. Una vez que obtuvimos las 125 lecturas en cada punto de estudio se ordenan de menor a mayor, y se procede a calcular el intervalo de clase con la siguiente ecuación:

$$\text{Intervalo de clase} = \frac{\text{Rango} \left( \frac{\text{km}}{\text{h}} \right)}{1 + 3.322 \log N}$$

Donde:

Rango es el mayor valor observado menos el menor valor observado.

N; tamaño de la muestra

Una vez determinado el intervalo de clase se procede a llenar la Tabla 3.7 de la siguiente manera:

**Columna 1.** Se muestra los intervalos de clase calculados con la ecuación anterior.

**Columna 2.** Es el punto medio de cada intervalo de clase.

**Columna 3.** Denota la importancia de la clase, al expresarse en términos porcentuales.

Facilitan el análisis de los datos, en especial para comparar distribuciones de frecuencias basadas en diferentes números de observaciones.

- *Frecuencias absolutas:* Número de elementos u observaciones pertenecientes a una misma clase, de manera de registrar cuantas veces está presente esa lectura en cada uno de los intervalos.
- *Frecuencia relativa:* Se obtiene dividiendo la frecuencia absoluta entre el número de lecturas total, para nuestro caso 125 y se multiplica por 100 para expresarlo en porcentaje.
- *Frecuencia acumulada:* Se obtiene sumando las frecuencias (absolutas o relativas según sea el caso) en sentido descendente.

**Columna 4.** Se eleva el punto medio al cuadrado (Columna 2).

**Columna 5.** Se multiplica la frecuencia absoluta por el punto medio (fi [Xi]).

**Columna 6.** Se multiplica la frecuencia absoluta por el punto medio elevado al cuadrado (Columna 4).

<sup>27</sup>Johannes F., José Puy Huarte, 1975, "Métodos Estadísticos en Ingeniería de Tránsito", Publicado por Representaciones y Servicios de Ingeniería, S.A., México, pp 20,21, ISBN 968-6062-50-5



Es aquella velocidad cuya ubicación dentro de la serie de valores, determina que haya un número de vehículos que van más rápido igual al de vehículos que van más lento (su valor corresponde al 50 porcentual).

### Moda

La moda se define como el valor que ocurre con más frecuencia.

### Desviación estándar.

Para datos agrupados, la desviación estándar puede determinarse como sigue:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n f_i (x_i)^2 - \frac{1}{n} [\sum_{i=1}^n (f_i x_i)]^2}{n}}$$

### Porcentuales

La velocidad de un porcentual es la velocidad a la cual o debajo de la cual, opera un cierto porcentaje de conductores. En nuestro caso se utiliza el percentil 85.

El percentil 85 se obtiene de la curva de frecuencia acumulada mostrada en la Figura 3.7, el porcentaje acumulativo se dibuja contra los límites superiores de cada grupo de velocidades.

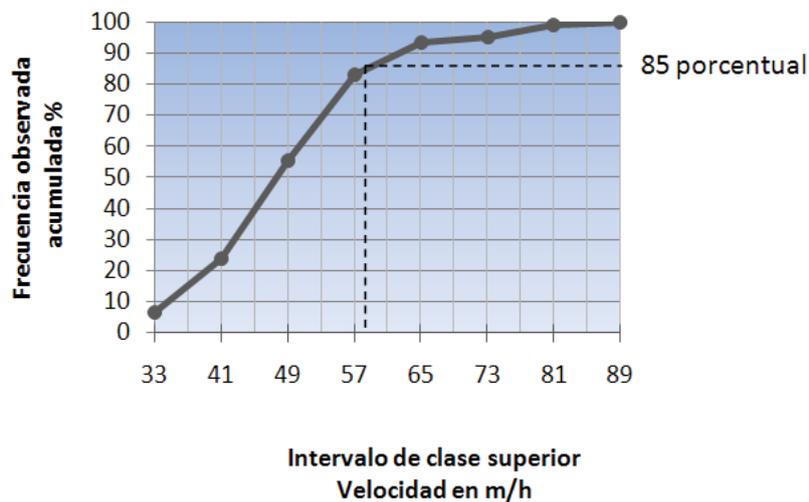


Figura 3.7 Curva de Frecuencia Acumulada

La media aritmética, mediana y moda son medidas de la tendencia central.

La desviación estándar, el 85 porcentual y rango son medidas de la dispersión de los datos.

## Resultados

**Lugar:** Avenida Américas

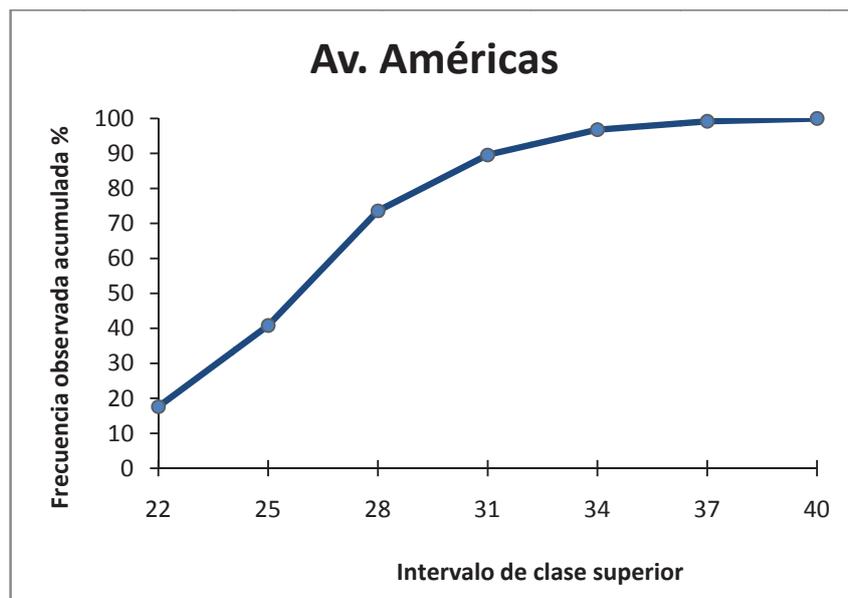
### Parámetros estadísticos

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

**Tabla 3.8** Datos agrupados de Velocidades de Punto

Intervalo de clase	Punto medio Xi	Frecuencia				Xi <sup>2</sup>	fi (Xi)	fi (Xi <sup>2</sup> )
		Relativa		Acumulativo				
		fi	%	ftc	%			
20 - 22	21	22	18	22.0	18	441	462	9702
23 - 25	24	29	23	51.0	41	576	696	16704
26 - 28	27	41	33	92.0	74	729	1107	29889
29 - 31	30	20	16	112.0	90	900	600	18000
32 - 34	33	9	7	121.0	97	1089	297	9801
35 - 37	36	3	2	124.0	99	1296	108	3888
38 - 40	39	1	1	125.0	100	1521	39	1521
<b>N=</b>		<b>125</b>	<b>100</b>	-	-		<b>3309</b>	<b>89505</b>

**Gráfica 3.1** Curva de Frecuencia Acumulada



**Lugar:** Av. Juárez

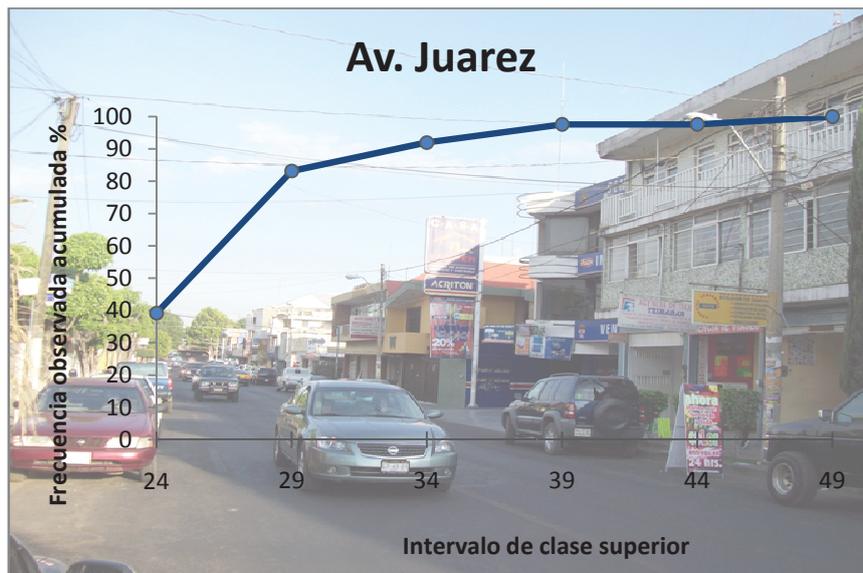
**Parámetros estadísticos**

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

**Tabla 3.9** Datos agrupados de Velocidades de Punto

Intervalo de clase	Punto medio Xi	Frecuencia				Xi <sup>2</sup>	fi (Xi)	fi (Xi <sup>2</sup> )
		Relativa		Acumulativo				
		fi	%	ftc	%			
20 - 24	22	49	39	49.0	39	484	1078	23716
25 - 29	27	55	44	104.0	83	729	1485	40095
30 - 34	32	11	9	115.0	92	1024	352	11264
35 - 39	37	7	6	122.0	98	1369	259	9583
40 - 44	42	0	0	122.0	98	1764	0	0
45 - 49	47	3	2	125.0	100	2209	141	6627
<b>N=</b>		<b>125</b>	<b>100</b>	-	-		<b>3315</b>	<b>91285</b>

**Gráfica 3.2** Curva de Frecuencia Acumulada



**Lugar:** Av. Cupatitzio

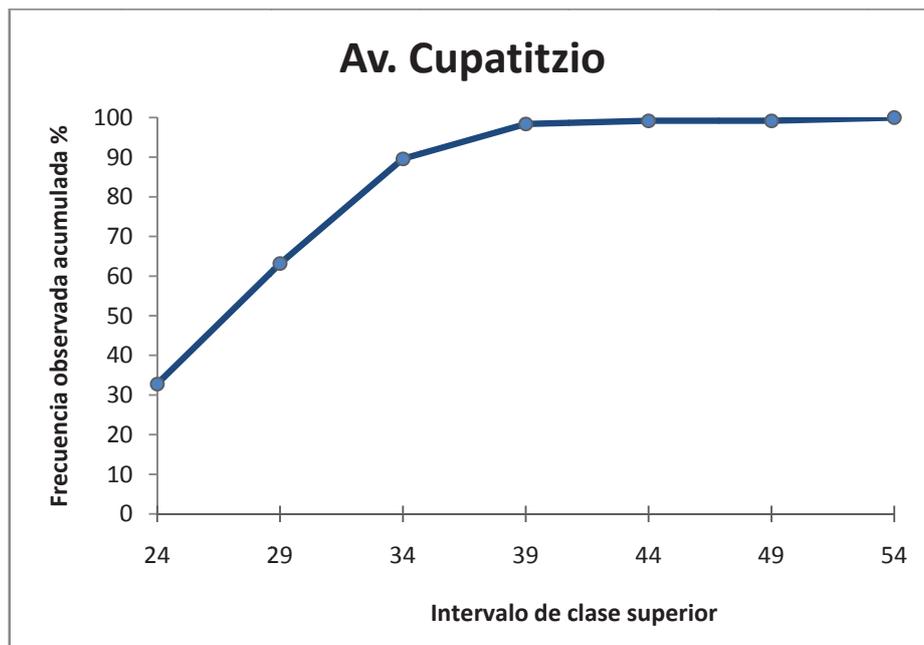
**Parámetros estadísticos**

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

**Tabla 3.10** Datos agrupados de Velocidades de Punto

Intervalo de clase	Punto medio	Frecuencia				Xi <sup>2</sup>	fi (Xi)	fi (Xi <sup>2</sup> )
		Relativa		Acumulativo				
	Xi	fi	%	ftc	%			
20 - 24	22	41	33	41.0	33	484	902	19844
25 - 29	27	38	30	79.0	63	729	1026	27702
30 - 34	32	33	26	112.0	90	1024	1056	33792
35 - 39	37	11	9	123.0	98	1369	407	15059
40 - 44	42	1	1	124.0	99	1764	42	1764
45 - 49	47	0	0	124.0	99	2209	0	0
50 - 54	52	1	1	125.0	100	2704	52	2704
<b>N=</b>		<b>125</b>	<b>100</b>	-	-		<b>3485</b>	<b>100865</b>

**Gráfica 3.3** Curva de Frecuencia Acumulada



**Lugar:** Calzada Benito Juárez

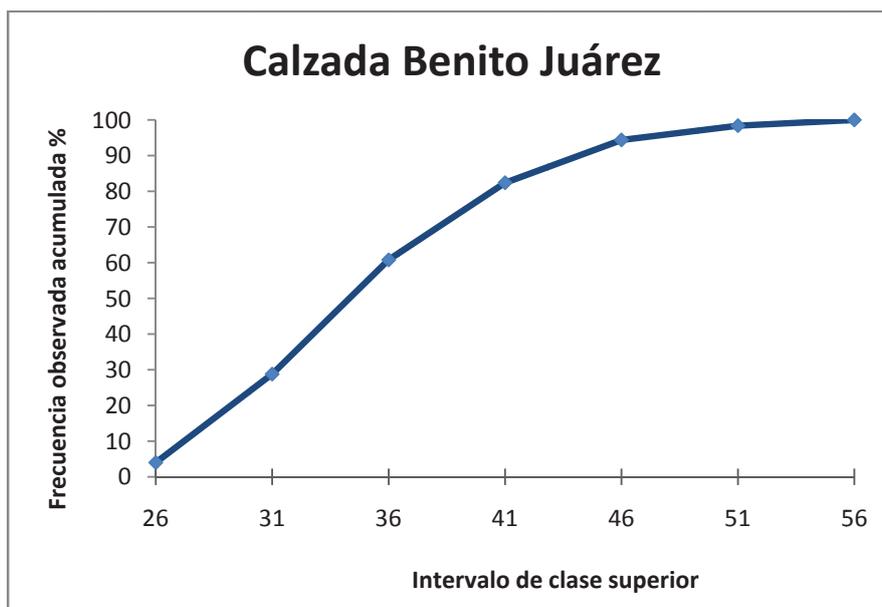
**Parámetros estadísticos**

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

**Tabla 3.11** Datos agrupados de Velocidades de Punto

Intervalo de clase	Punto medio Xi	Frecuencia				Xi <sup>2</sup>	fi (Xi)	fi (Xi <sup>2</sup> )
		Relativa		Acumulativo				
		fi	%	ftc	%			
22 - 26	24	5	4	5.0	4	576	120	2880
27 - 31	29	31	25	36.0	29	841	899	26071
32 - 36	34	40	32	76.0	61	1156	1360	46240
37 - 41	39	27	22	103.0	82	1521	1053	41067
42 - 46	44	15	12	118.0	94	1936	660	29040
47 - 51	49	5	4	123.0	98	2401	245	12005
52 - 56	54	2	2	125.0	100	2916	108	5832
<b>N=</b>		<b>125</b>	<b>100</b>	-	-		<b>4445</b>	<b>163135</b>

**Gráfica 3.4** Curva de Frecuencia Acumulada



**Lugar:** Calle del niño

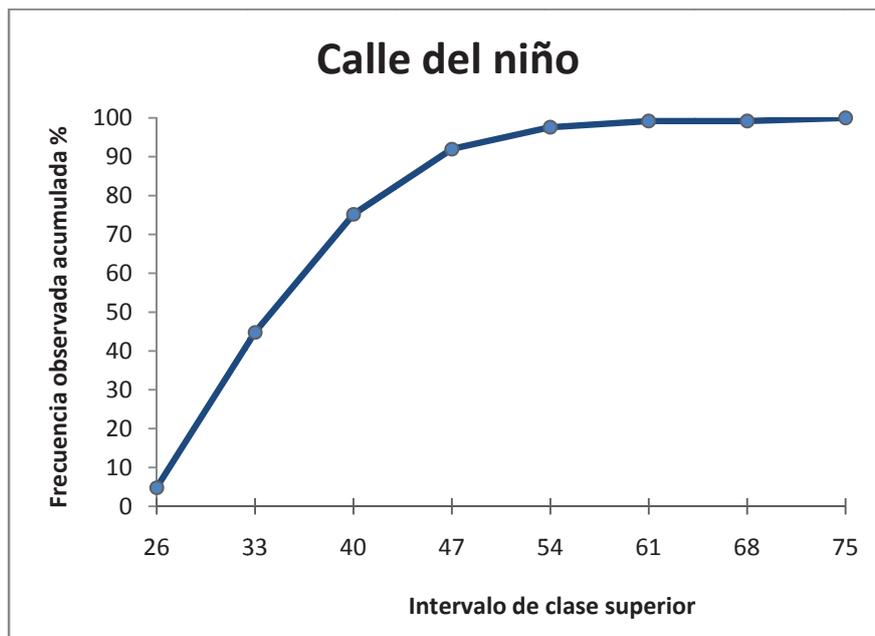
**Parámetros estadísticos**

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

**Tabla 3.12** Datos agrupados de Velocidades de Punto

Intervalo de clase			Punto medio Xi	Frecuencia				Xi <sup>2</sup>	fi (Xi)	fi (Xi <sup>2</sup> )
				Relativa		Acumulativo				
				fi	%	ftc	%			
20	-	26	23	6	5	6.0	5	529	138	3174
27	-	33	30	50	40	56.0	45	900	1500	45000
34	-	40	37	38	30	94.0	75	1369	1406	52022
41	-	47	44	21	17	115.0	92	1936	924	40656
48	-	54	51	7	6	122.0	98	2601	357	18207
55	-	61	58	2	2	124.0	99	3364	116	6728
62	-	68	65	0	0	124.0	99	4225	0	0
69	-	75	72	1	1	125.0	100	5184	72	5184
				<b>125</b>	<b>100</b>				<b>4513</b>	<b>170971</b>

**Gráfica 3.5** Curva de Frecuencia Acumulada



**Lugar:** Paseo Lázaro Cárdenas

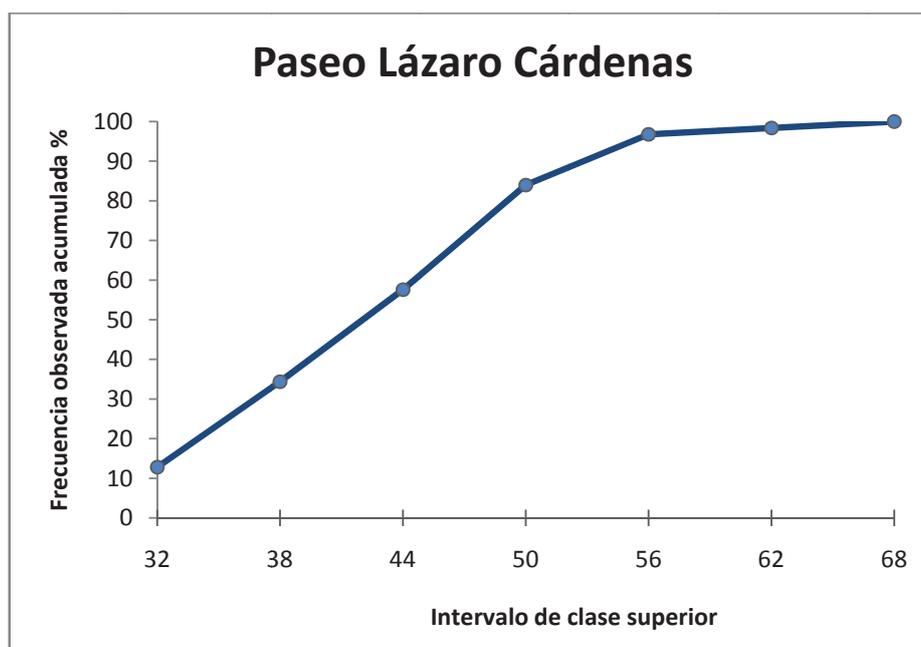
**Parámetros estadísticos**

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

**Tabla 3.13** Datos agrupados de Velocidades de Punto

Intervalo de clase	Punto medio Xi	Frecuencia				Xi <sup>2</sup>	fi (Xi)	fi (Xi <sup>2</sup> )
		Relativa		Acumulativo				
	fi	%	ftc	%				
27 - 32	29.5	16	13	16.0	13	870.25	472	13924
33 - 38	35.5	27	22	43.0	34	1260.25	958.5	34026.75
39 - 44	41.5	29	23	72.0	58	1722.25	1203.5	49945.25
45 - 50	47.5	33	26	105.0	84	2256.25	1567.5	74456.25
51 - 56	53.5	16	13	121.0	97	2862.25	856	45796
57 - 62	59.5	2	2	123.0	98	3540.25	119	7080.5
63 - 68	65.5	2	2	125.0	100	4290.25	131	8580.5
<b>N=</b>		<b>125</b>	<b>100</b>	-	-		<b>5307.5</b>	<b>233809.25</b>

**Gráfica 3.6** Curva de Frecuencia Acumulada



**Lugar:** Av. Latinoamericana

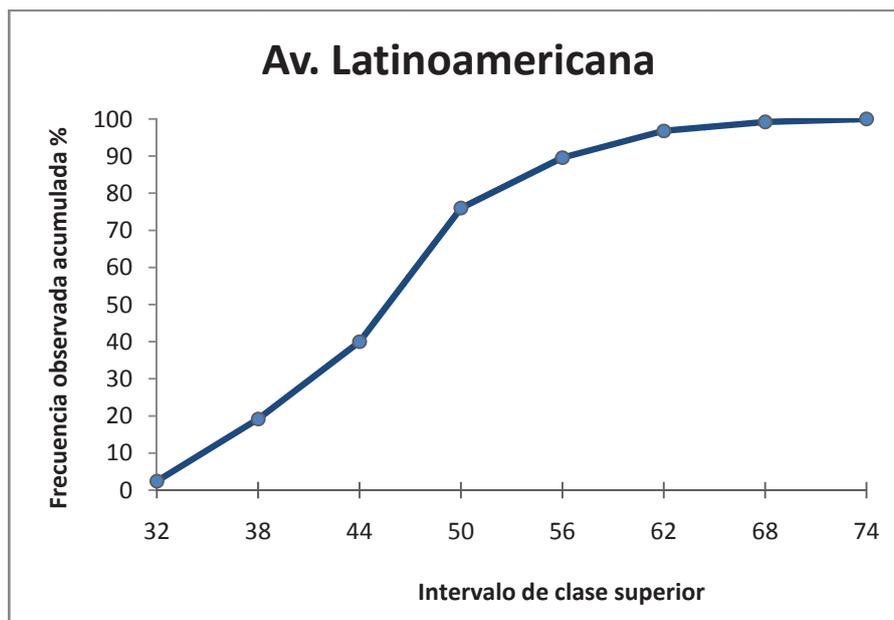
**Parámetros estadísticos**

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

**Tabla 3.14** Datos agrupados de Velocidades de Punto

Intervalo de clase	Punto medio Xi	Frecuencia				Xi <sup>2</sup>	fi (Xi)	fi (Xi <sup>2</sup> )
		Relativa		Acumulativo				
		fi	%	ftc	%			
27 - 32	29.5	3	2	3.0	2	870.25	88.5	2610.75
33 - 38	35.5	21	17	24.0	19	1260.25	745.5	26465.25
39 - 44	41.5	26	21	50.0	40	1722.25	1079	44778.5
45 - 50	47.5	45	36	95.0	76	2256.25	2137.5	101531.25
51 - 56	53.5	17	14	112.0	90	2862.25	909.5	48658.25
57 - 62	59.5	9	7	121.0	97	3540.25	535.5	31862.25
63 - 68	65.5	3	2	124.0	99	4290.25	196.5	12870.75
69 - 74	71.5	1	1	125.0	100	5112.25	71.5	5112.25
<b>N=</b>		<b>125</b>	<b>100</b>	-	-		<b>5763.5</b>	<b>273889.25</b>

**Gráfica 3.7** Curva de Frecuencia Acumulada



**Lugar:** Av. Paseo de la Revolución

**Parámetros estadísticos**

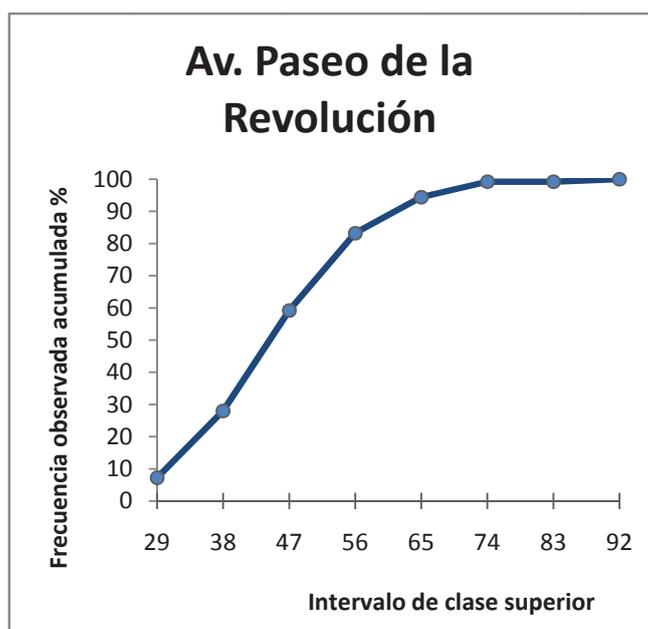
Media aritmética: 45.7  
 Error estándar de la media: 1.06  
 Mediana: 45.0  
 Moda: 39  
 Desviación estándar: 11.83  
 Rango: 66  
 P<sub>85</sub>: 57

**Tabla 3.15** Datos agrupados de Velocidades de Punto

Intervalo de clase	Punto medio Xi	Frecuencia				Xi <sup>2</sup>	fi (Xi)	fi (Xi <sup>2</sup> )
		Relativa		Acumulativo				
		fi	%	ftc	%			
21 - 29	25	9	7.2	9	7.2	625	225	5625
30 - 38	34	26	20.8	35	28	1156	884	30056
39 - 47	43	39	31.2	74	59.2	1849	1677	72111
48 - 56	52	30	24	104	83.2	2704	1560	81120
57 - 65	61	14	11.2	118	94.4	3721	854	52094
66 - 74	70	6	4.8	124	99.2	4900	420	29400
75 - 83	79	0	0	124	99.2	6241	0	0
84 - 92	88	1	0.8	125	100	7744	88	7744

N= 125 100 - - 5708 278150

**Gráfica 3.8** Curva de Frecuencia Acumulada



**Lugar:** Av. Lázaro Cárdenas, (pista vieja)

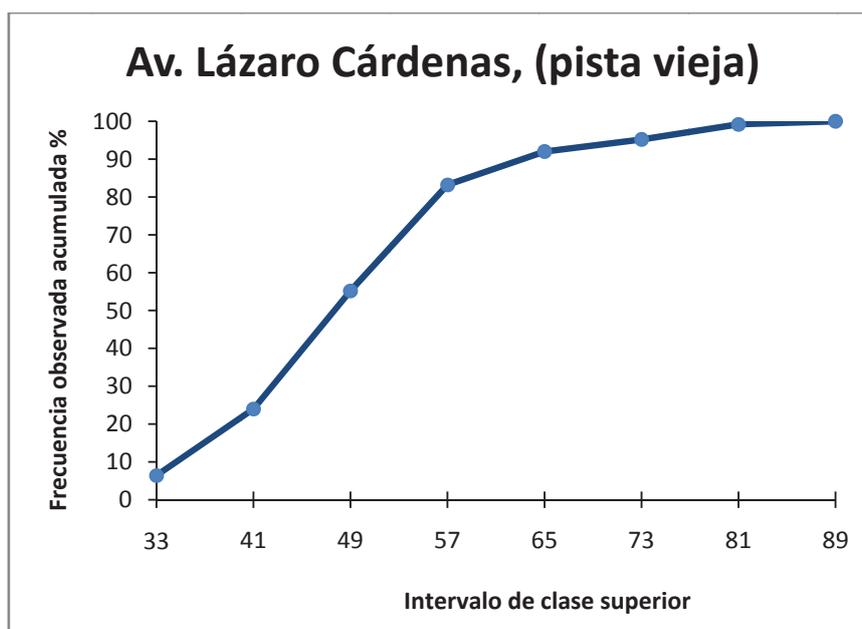
**Parámetros estadísticos**

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

**Tabla 3.16** Datos agrupados de Velocidades de Punto

Intervalo de clase	Punto medio Xi	Frecuencia				Xi <sup>2</sup>	fi (Xi)	fi (Xi <sup>2</sup> )
		Relativa		Acumulativo				
		fi	%	ftc	%			
26 - 33	29.5	8	6	8.0	6	870.25	236	6962
34 - 41	37.5	22	18	30.0	24	1406.25	825	30937.5
42 - 49	45.5	39	31	69.0	55	2070.25	1774.5	80739.75
50 - 57	53.5	35	28	104.0	83	2862.25	1872.5	100178.75
58 - 65	61.5	11	9	115.0	92	3782.25	676.5	41604.75
66 - 73	69.5	4	3	119.0	95	4830.25	278	19321
74 - 81	77.5	5	4	124.0	99	6006.25	387.5	30031.25
82 - 89	85.5	1	1	125.0	100	7310.25	85.5	7310.25
<b>N=</b>		<b>125</b>	<b>100</b>	-	-		<b>6135.5</b>	<b>317085.25</b>

**Gráfica 3.9** Curva de Frecuencia Acumulada



**Lugar:** Boulevard industrial

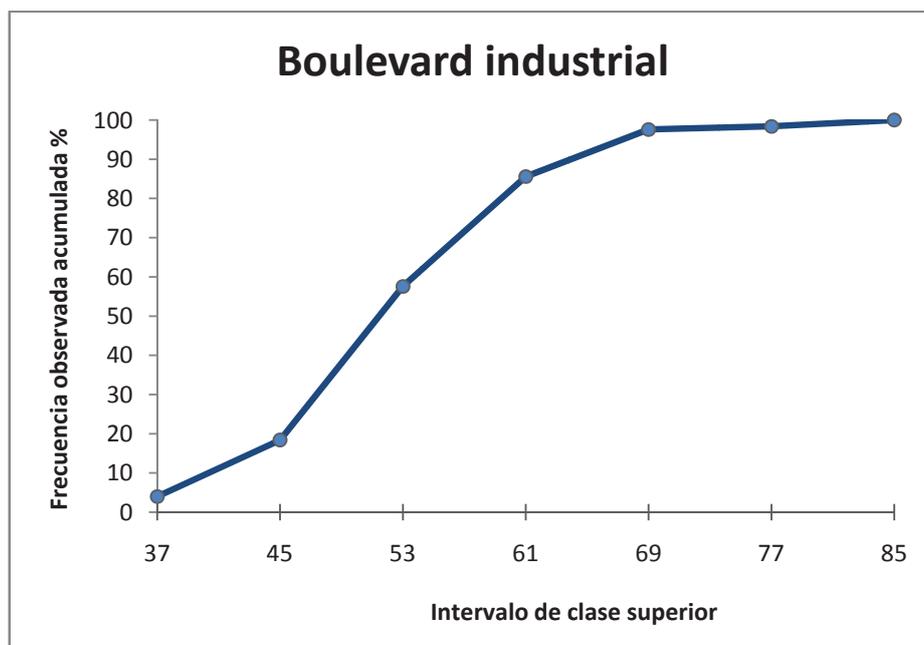
**Parámetros estadísticos**

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

**Tabla 3.17** Datos agrupados de Velocidades de Punto

Intervalo de clase	Punto medio	Frecuencia				Xi <sup>2</sup>	fi (Xi)	fi (Xi <sup>2</sup> )
		Relativa		Acumulativo				
	Xi	fi	%	ftc	%			
30 - 37	33.5	5	4	5.0	4	1122.25	167.5	5611.25
38 - 45	41.5	18	14	23.0	18	1722.25	747	31000.5
46 - 53	49.5	49	39	72.0	58	2450.25	2425.5	120062.25
54 - 61	57.5	35	28	107.0	86	3306.25	2012.5	115718.75
62 - 69	65.5	15	12	122.0	98	4290.25	982.5	64353.75
70 - 77	73.5	1	1	123.0	98	5402.25	73.5	5402.25
78 - 85	81.5	2	2	125.0	100	6642.25	163	13284.5
		<b>N= 125</b>	<b>100</b>	-	-		6571.5	355433.25

**Gráfica 3.10** Curva de Frecuencia Acumulada



**Lugar:** Libramiento Oriente entre la calle Lusio cabañas en la Col. Magisterial

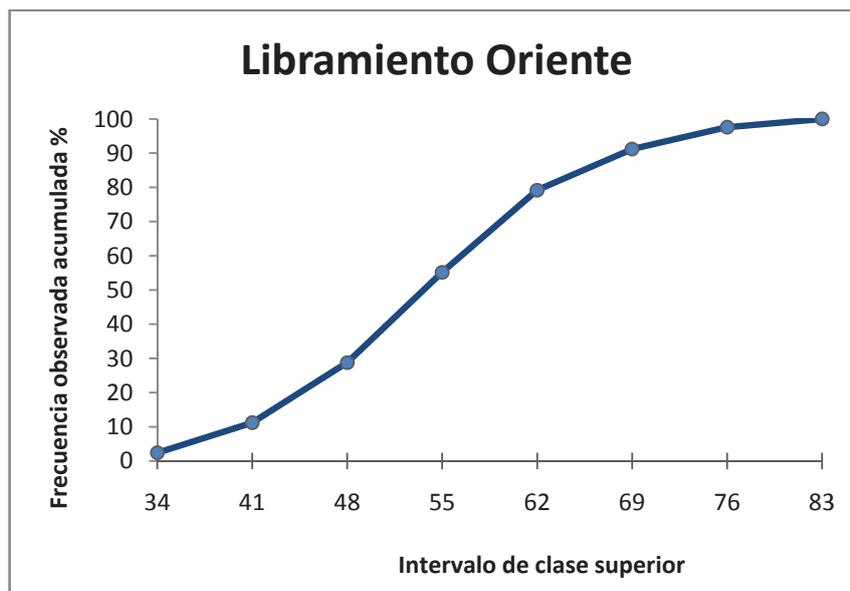
**Parámetros estadísticos**

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

**Tabla 3.18** Datos agrupados de Velocidades de Punto

Intervalo de clase	Punto medio Xi	Frecuencia				Xi <sup>2</sup>	fi (Xi)	fi (Xi <sup>2</sup> )
		Relativa		Acumulativo				
		fi	%	ftc	%			
28 - 34	31	3	2	3.0	2	961	93	2883
35 - 41	38	11	9	14.0	11	1444	418	15884
42 - 48	45	22	18	36.0	29	2025	990	44550
49 - 55	52	33	26	69.0	55	2704	1716	89232
56 - 62	59	30	24	99.0	79	3481	1770	104430
63 - 69	66	15	12	114.0	91	4356	990	65340
70 - 76	73	8	6	122.0	98	5329	584	42632
77 - 83	80	3	2	125.0	100	6400	240	19200
<b>N=</b>		<b>125</b>	<b>100</b>	-	-		<b>6801</b>	<b>384151</b>

**Gráfica 3.11** Curva de Frecuencia Acumulada



El resumen de los datos obtenidos se muestra la Tabla 3.19.

**Tabla 3.19** Resumen de datos obtenidos del análisis estadístico para velocidades de vehículo

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

### 3.4.2.2 Caracterización vehicular.

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

El tamaño de la flota vehicular depende de la actividad económica de la ciudad, la población e ingresos *per cápita*, la infraestructura urbana, precios de los combustibles e infraestructura de estaciones de servicio, oferta y calidad del transporte público<sup>28</sup>. La flota vehicular de servicio privado, federal y de transporte público se encuentra registrada en base de datos obtenidas por Dirección de Ingresos de la Secretaría de Finanzas y Administración en el Estado de Michoacán, que contiene parámetros tales como: año modelo, tipo de vehículo por marca o por uso, entre otros parámetros como se observa en la tabla 3.19 que permiten establecer la caracterización vehicular de la flota. En base a los datos obtenidos se procede a clasificar tomando en cuenta una vigencia de 5 años, esto significa que la base de datos obtenida en el 2008 se tomó en cuenta

<sup>28</sup> Memorias y Conclusiones del Taller Emisiones Vehiculares en México, *Intervención Ing. Adriana de Almeida Lobo, CTS* INE

vehículos que dejaron de pagar la tenencia en el año 2004, según la Dirección de Ingresos después de 5 años es muy probable que ese vehículo no exista.

Por otro lado la caracterización vehicular se agrupo de la siguiente manera:

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

La base de datos proporcionada se analizó y se obtuvo la clasificación como se muestra en la Tabla 3.20, 3.21 y 3.22.

**Tabla 3.20** Base de datos obtenido por la Dirección de Ingresos de la Secretaría de Finanzas y Administración en el Estado de Michoacán.

Placa	Municipio	Localidad	Marca	Línea	Tipo	Clase	Modelo	Capacidad	Combustible	Servicio	Vigencia
PHH5839	Uruapan	Uruapan	Renault	Clío	Sedan	Automóvil	2008	5	Gasolina	Publico	2008

**Tabla 3.21** Caracterización vehicular de la Ciudad de Uruapan, Mich. del servicio privado y federal.

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 3.22** Caracterización vehicular de la Ciudad de Uruapan, Mich., del servicio publico.

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
	3323	276

### 3.4.2.3 Datos de 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 tráfico
- -Estadísticas del consumo de combustible.

En nuestro caso la actividad vehicular se determina a partir de los datos de uso 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, combustible, condiciones topográficas y otros factores

### Causas que afectan el rendimiento de combustible de un automóvil<sup>29</sup>.

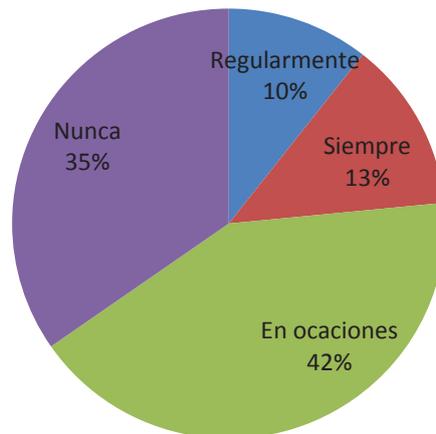
- Hábitos de una conducción común.** Una de las causas más importantes de un pobre rendimiento de combustible son los propios hábitos del automovilista y, entre los más frecuentes se encuentran los siguientes:

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/hr 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.

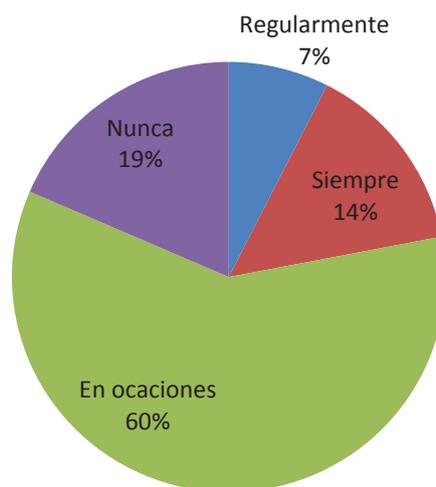
<sup>29</sup> Portal de Indicadores de Eficiencia Energética y Emisiones Vehiculares (<http://www.ecovehiculos.gob.mx/>).

Datos arrojados por las encuestas se tiene que el 71% de autos tiene aire acondicionado, así como el 38% y las camionetas pick up como los vehículos ligeros coinciden con los autos con el 71%. En el grafico 3.12, 3.13 y 3.14 se muestra la frecuencia con que se utiliza el aire acondicionado para cada categoría vehicular en la Ciudad de Uruapan, Mich.

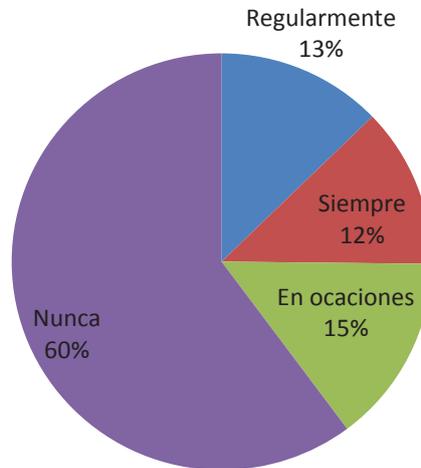
**Gráfica 3.12** Frecuencia del uso de aire acondicionado en Autos de la Cd. De Uruapan, Mich.



**Gráfica 3.13** Frecuencia del uso de aire acondicionado en Taxis de la Cd. De Uruapan, Mich.



**Gráfica 3.14** Frecuencia del uso de aire acondicionado en Vehículos ligeros y pick up de la Cd. De Uruapan, Mich.



**2. Estado mecánico del automóvil.** Otro aspecto fundamental que afecta sensiblemente el rendimiento son las condiciones mecánicas del automóvil, que ocasionan:

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.	Puede aumentar 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 de un periodo de asentamiento de las partes internas del motor, este ajuste suele darse entre los primeros 5 000 y los 8 000 kilómetros.

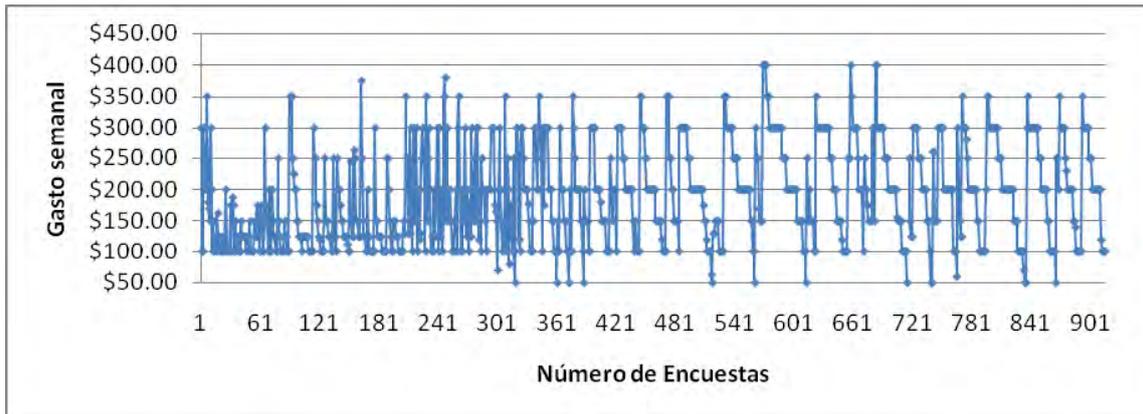
Durante este periodo, el rendimiento de combustible del automóvil será inferior al reportado por el fabricante.

**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 la Ciudad de Uruapan que tiene una Altura sobre el Nivel del Mar de 1260 la pérdida de rendimiento es en un 16% según la Comisión Nacional para el uso eficiente de la energía.

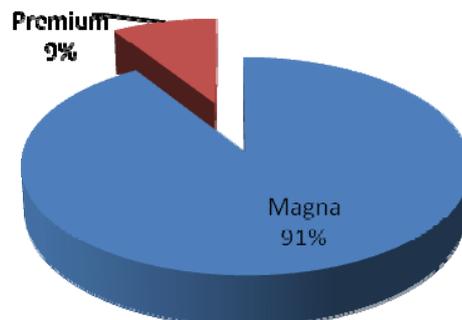
### Autos ligeros.

En la Tabla 3.23 y las Gráficas 3.15 y 3.16 se muestra el análisis de la información obtenida en las encuestas

**Gráfica 3.15** Análisis de consumo de combustible por semana en Autos ligeros.



**Gráfica 3.16** Análisis 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 realizaron en el mes de Junio del 2008 y el precio del combustible en el momento de realizar las encuestas de acuerdo a PEMEX se presenta como sigue:

Gasolina Magna: \$6.94 por litro

Gasolina Premium: \$8.52 por litro

Diesel: \$5.87 por litro

Calculo del promedio ponderado:

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

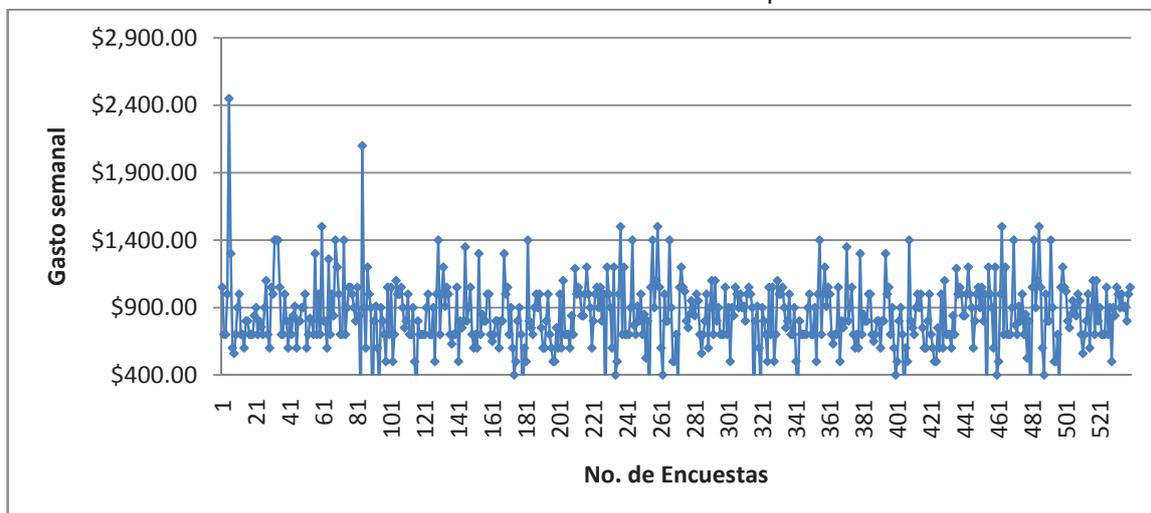
**Tabla 3.23** Cálculo de kilómetros recorridos por año en Autos ligeros.

<b>Autos ligeros</b>	
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
<b>Kilómetros recorridos anualmente = (Kilómetros recorridos semanalmente) x (52 semana que tiene un año)</b>	<b>15142 km por año</b>

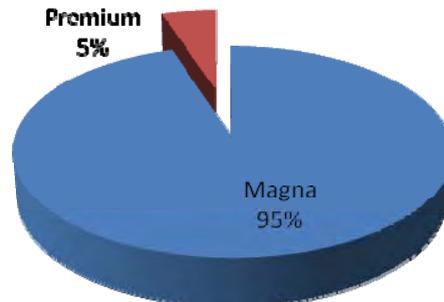
### Taxi.

En la Tabla 3.24 y los Gráficos 3.17 y 3.18 se muestra el análisis de la información obtenida en las encuestas

**Gráfica 3.17** Análisis de consumo de combustible por semana en Taxis



**Gráfica 3.18** Análisis uso de combustible Magna y Premium en Taxis.



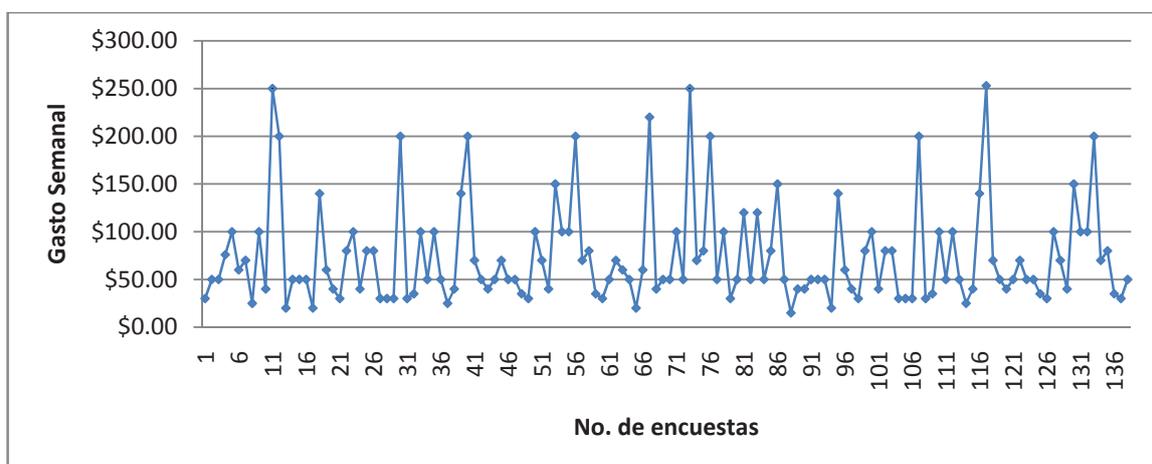
**Tabla 3.24** Cálculo de kilómetros recorridos por año en Taxis

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)	1289.29 km
<b>Kilómetros recorridos anualmente = (Kilómetros recorridos semanalmente) x (52 semana que tiene un año)</b>	<b>67043 km por año</b>

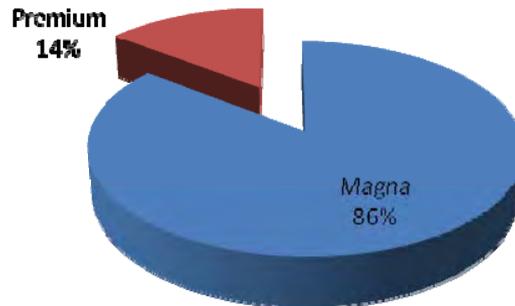
### Motocicletas

En la Tabla 3.25 y los Gráficos 3.18 y 3.19 se muestra el análisis de la información obtenida en las encuestas

**Gráfico 3.18** Análisis de consumo de combustible por semana en Motocicletas.



**Gráfico 3.19** Análisis uso de combustible Magna y Premium en Motocicletas.



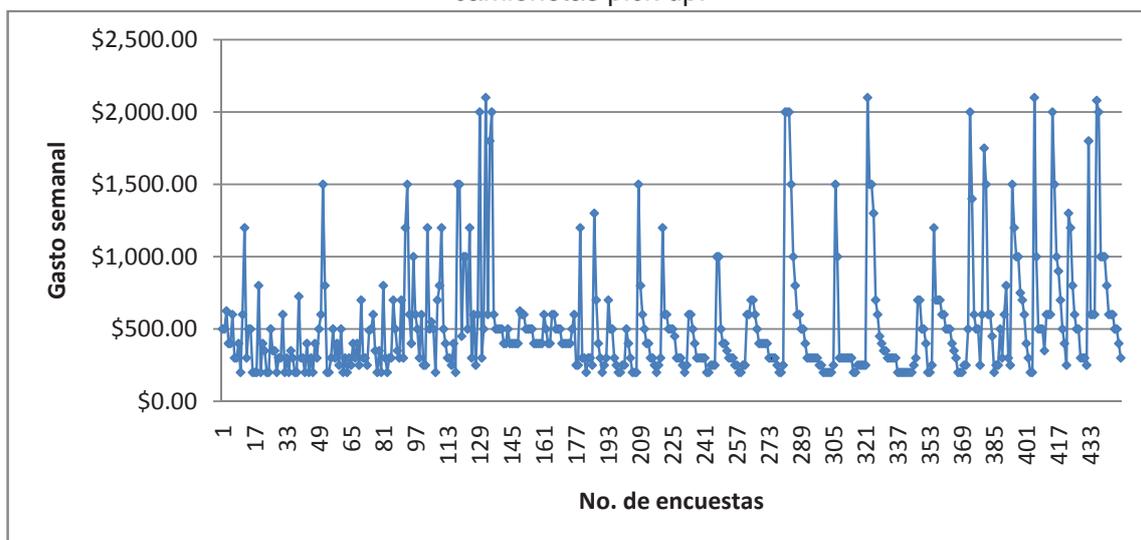
**Tabla 3.25** Cálculo de kilómetros recorridos por año en Motocicletas.

<b>Motocicletas</b>	
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
<b>Kilómetros recorridos anualmente = (Kilómetros recorridos semanalmente) x (52 semana que tiene un año)</b>	<b>13,321 km por año</b>

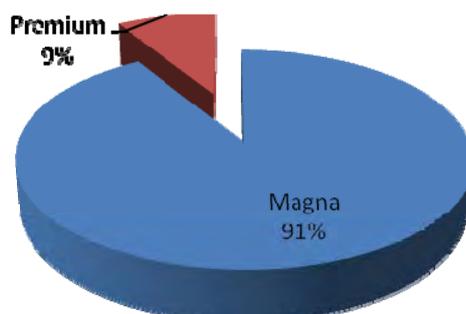
### Vehículos ligeros y pick up

En la Tabla 3.26 y los Gráficos 3.20 y 3.21 se muestra el análisis de la información obtenida en las encuestas

**Gráfica 3.20** Análisis de consumo de combustible por semana en vehículos ligeros y camionetas pick up.



**Gráfica 3.21** Análisis uso de combustible Magna y Premium en vehículos ligeros y camionetas pick up.



**Tabla 3.26** Calculo de kilómetros recorridos por año en vehículos ligeros y camionetas pick up.

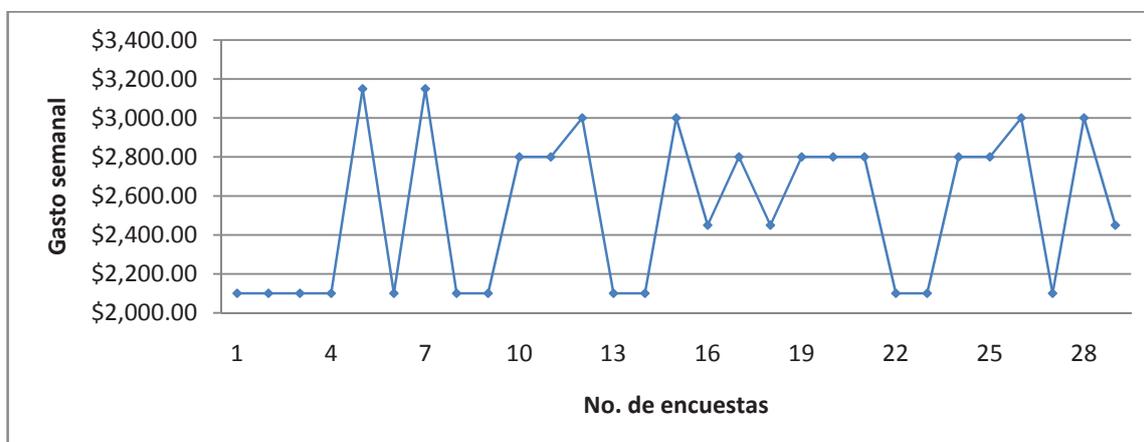
<b>Camionetas ligeras</b>	
Desviación estándar del consumo de combustible semanal	402.4
Rendimiento promedio	6 km/lt
Consumo de combustible semanal promedio	\$522.31
Precio de gasolina ponderado por litro	\$7.08
Cantidad en litros semanales = (Promedio de consumo de combustible semanal en \$) / (Precio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

### 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 dato proporcionado por el Señor Juan Manuel Valencia Ramos Presidente de la Sociedad Cooperativa Tata Lázaro.

En la Tabla 3.27 y la Gráfico 3.22 se muestra el análisis de la información obtenida en las encuestas

**Gráfica 3.22** Análisis de consumo de combustible por semana en Camión Urbano.



**Tabla 3.27** Calculo de kilómetros recorridos por año en Camiones urbanos.

<b>Camiones urbanos</b>	
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
<b>Kilómetros recorridos anualmente = (Kilómetros recorridos semanalmente) x (52 semana que tiene un año)</b>	<b>78,315 km por año</b>

### Autobuses y Vehículos pesados.

Para el caso de el transporte de carga y pasajeros el valor que se ha considerado como ideal para los transportes en México, cuando no se tiene un kilometraje anual establecido como ideal, 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<sup>30</sup>.

<sup>30</sup> Mercedes Yolanda Rafel Morales y Armando Zavala Ponce, Publicación Técnica No. 128 del IMT, 1999, Selección del tren motriz de vehículos pesados (carga y pasajeros) destinados al servicio publico federal , Sanfandila, Qro,

## Resumen de los datos de actividad

**Tabla 3.28** 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 3.29** Datos de actividad vehicular para cada categoría vehicular del servicio publico.

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

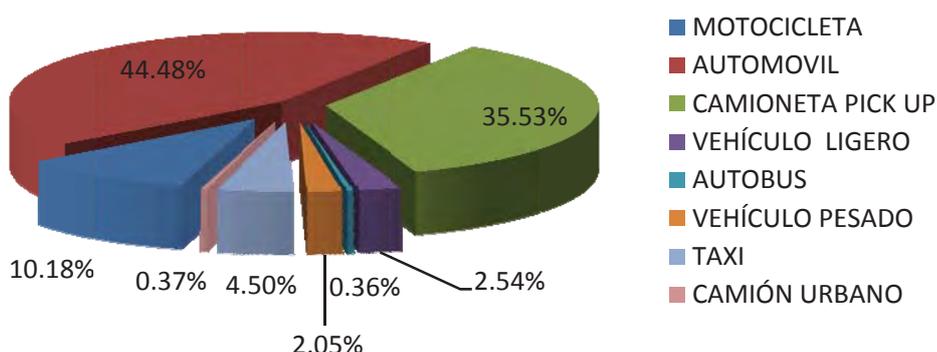
### 3.5 Resultados.

En ésta sección se presentan las emisiones totales (evaporativas y del escape) de los contaminantes CO, NOx y PM<sub>10</sub>, sin considerar las emisiones por desgaste de llanta y frenos.

Los resultados obtenidos de las emisiones y factores de emisión vehicular se dividen en dos escenarios el primero para velocidades de la Zona Centro (36 km/hr) y el segundo escenario es para velocidades de las Avenidas Rápidas (56 km/hr).

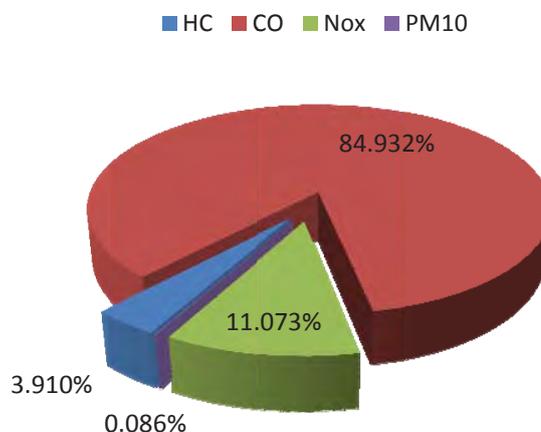
En la Gráfica 3.23 se muestra la distribución vehicular por clase, se observa que la mayor cantidad de población vehicular corresponde a los automóviles seguida de las camionetas pick up.

**Gráfica 3.23** Distribución del parque vehicular por clase en el año 2007

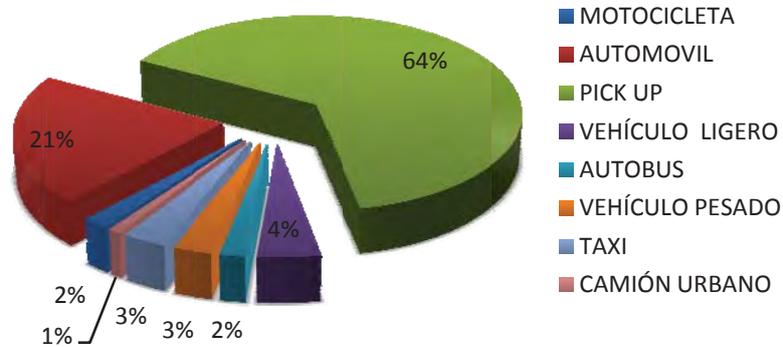


**Escenario 1:** Velocidades en la Zona Centro, 36 km/hr

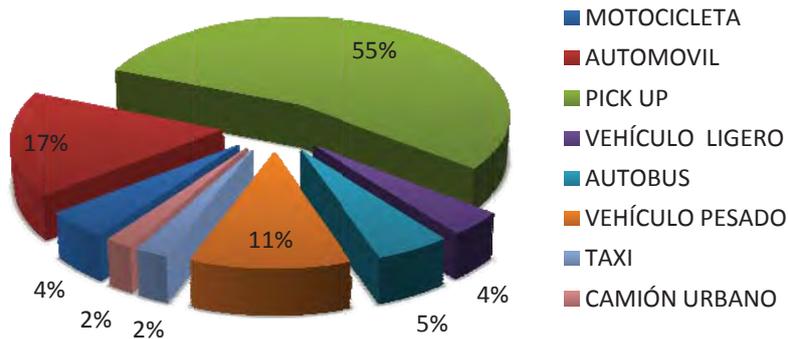
**Gráfica 3.24** Contribución de contaminantes para velocidades de 36 km/hr



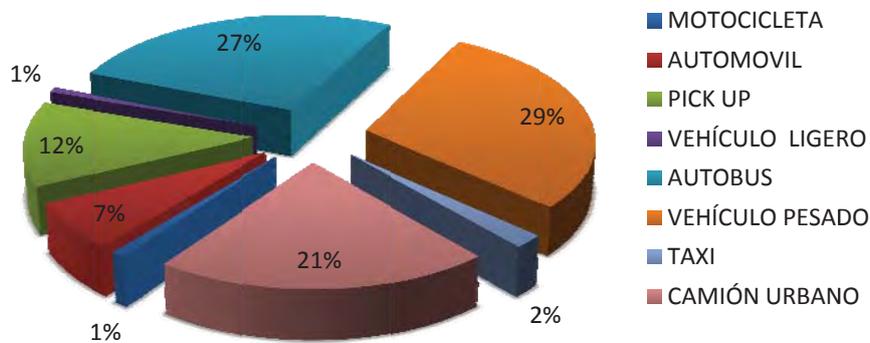
**Gráfica 3.25** Emisiones de CO por clase vehicular en Uruapan, Mich., 2007: Velocidad vehicular de 36 km/hr



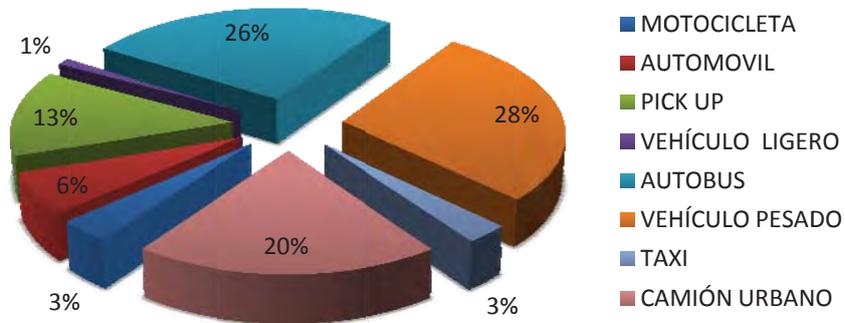
**Gráfica 3.26** Emisiones de HC en Uruapan, Mich., en 2007: Velocidad vehicular de 36 km/hr



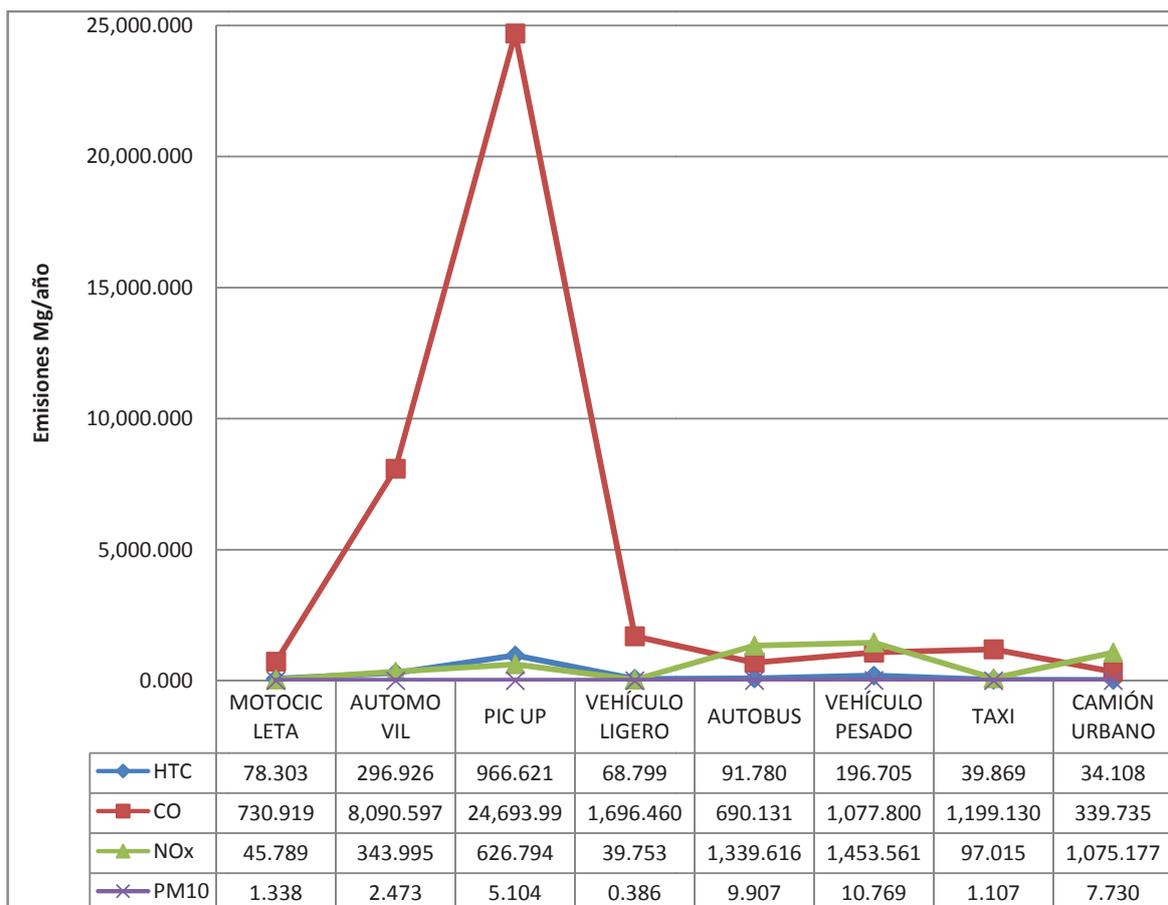
**Gráfica 3.27** Emisiones de NOx por clase vehicular en Uruapan, Mich., 2007: Velocidad vehicular de 36 km/hr



**Gráfica 3.28** Emisiones de PM<sub>10</sub> por clase vehicular en Uruapan, Mich., 2007: Velocidad vehicular de 36 km/hr



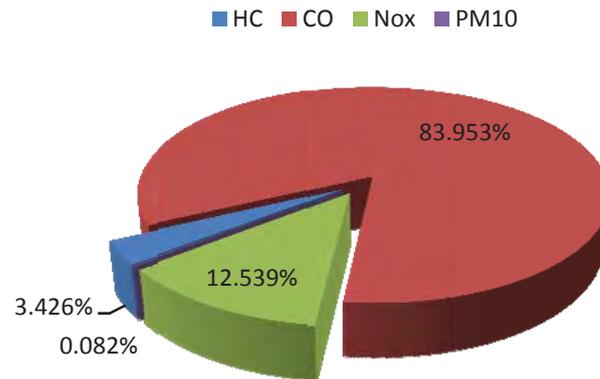
**Gráfica 3.29** Emisiones anuales de los contaminantes Co, HC, NOx y PM<sub>10</sub> para velocidades de 36 km/hr en las 8 clases vehiculares de la Ciudad de Uruapan, Mich., del año 2007 (Mg/año)\*



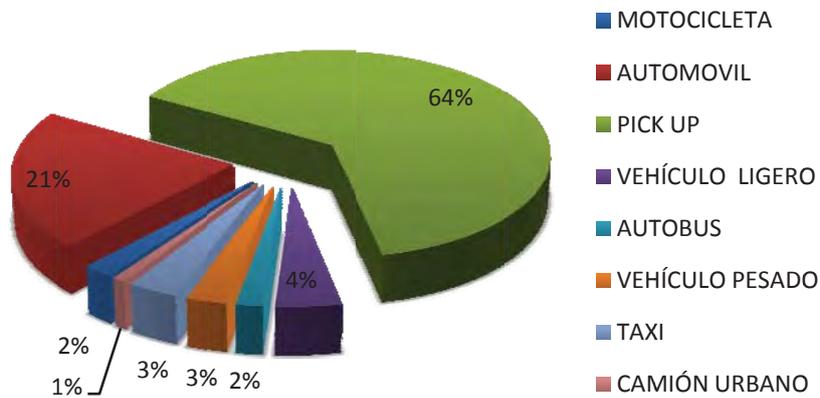
\*1 Mg = 1000 kg

**Escenario 2:** Velocidades en las Avenidas Rápidas, 56 km/hr.

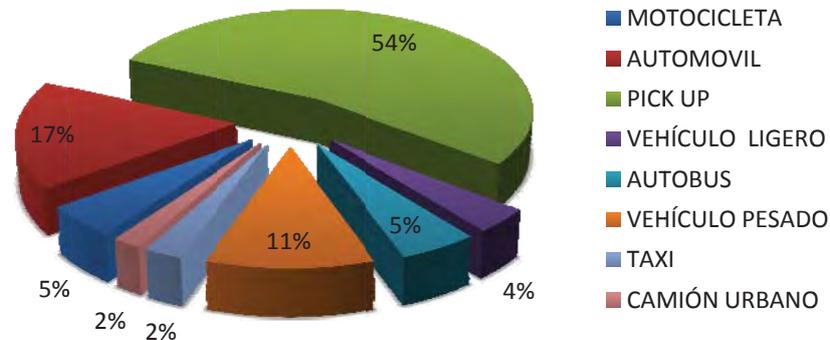
**Gráfica 3.30** Contribución de contaminantes para velocidades de 36 km/hr



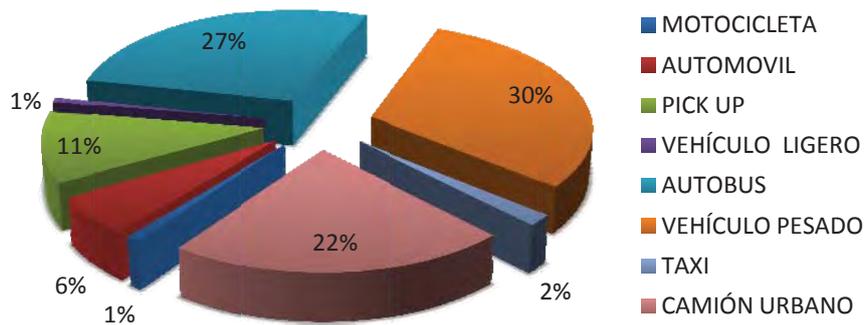
**Gráfica 3.31** Emisiones de CO por clase vehicular en Uruapan, Mich., 2007: Velocidad vehicular de 56 km/hr



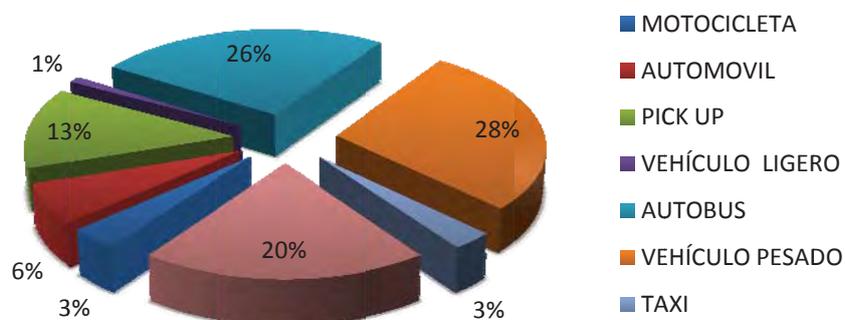
**Gráfica 3.32** Emisiones de HT por clase vehicular en Uruapan, Mich., 2007: Velocidad vehicular de 56 km/hr



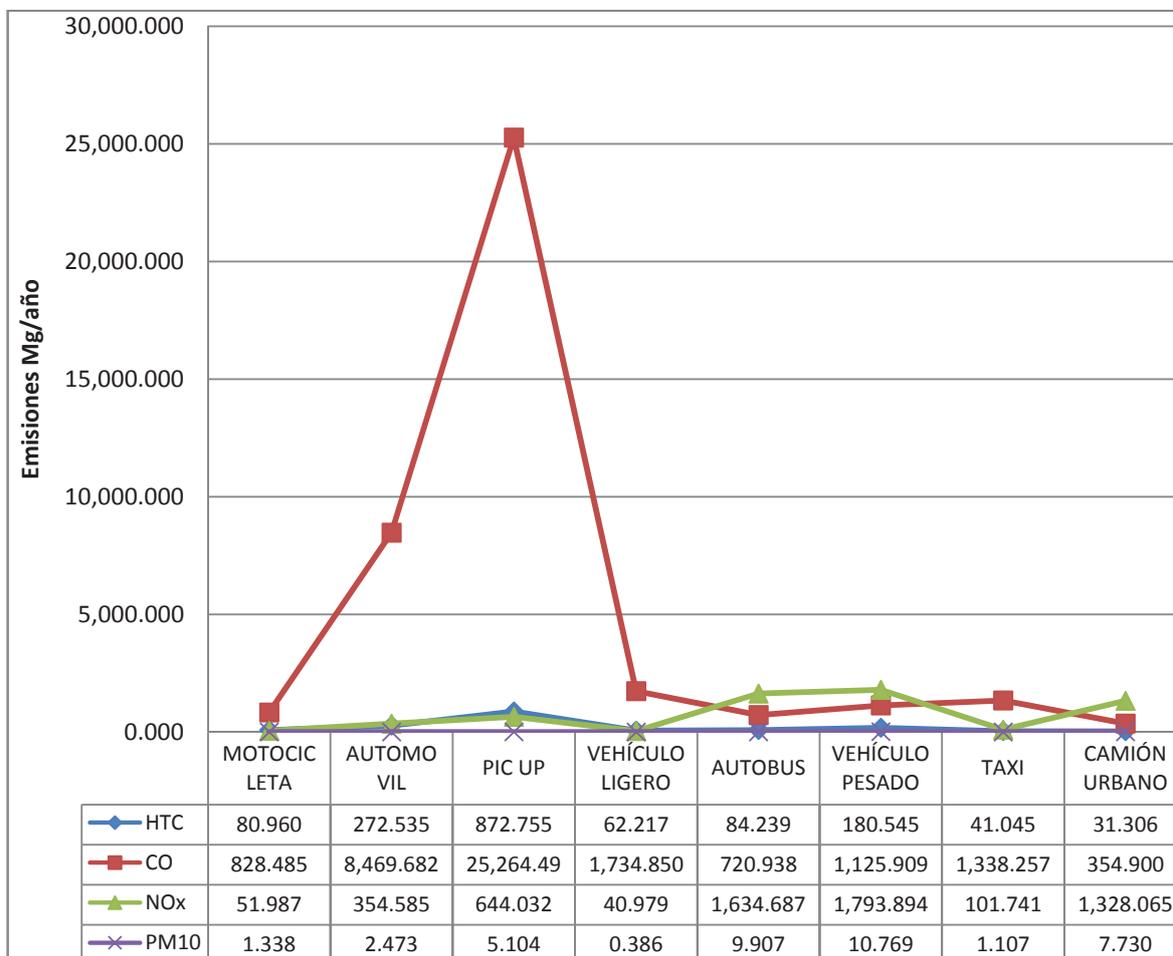
**Gráfica 3.33** Emisiones de NOx por clase vehicular en Uruapan, Mich., 2007: Velocidad vehicular de 56 km/hr



**Gráfica 3.34** Emisiones de PM<sub>10</sub> por clase vehicular en Uruapan, Mich., en 2007: Velocidad vehicular de 56 km/hr



**Gráfica 3.35** Emisiones anuales de los contaminantes Co, HC, NOx y PM<sub>10</sub> para velocidades de 56 km/hr en las 8 clases vehiculares de la Ciudad de Uruapan, Mich., del año 2007 (Mg/año)\*



\*1 Mg = 1000 kg

### 3.6 Discusión de los resultados.

En el estudio realizado se encuentra que los CO representan en promedio el 84% de las emisiones generadas principalmente por las camionetas Pick up y automóviles.

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 son la categoría de fuente más significativa en cuanto a emisiones de NOx, y PM10. 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.

En la Tabla 3.30 y 3.31 se presentan los factores de emisión para los dos escenarios de velocidades.

**Tabla 3.30** Factores de emisión para el escenario 1 (velocidad vehicular de 36 km/hr)

Promedio/Modelo	HC	CO	NOx	Vehículos (%)
1990 - 1983	3.065	39.355	14.496	27
1991 -1992	1.562	15.345	14.232	7
1993 - 1998	1.100	12.667	10.476	29
1999 - posteriores	0.492	5.695	9.802	37

**Tabla 3.31** Factores de emisión para el escenario 2 (velocidad vehicular de 56 km/hr)

Promedio/Modelo	HC	CO	NOx	Vehículos (%)
1990 - 1983	2.816	40.594	17.758	27
1991 -1992	1.449	16.491	17.326	7
1993 - 1998	1.027	13.685	12.734	29
1999 - posteriores	0.475	6.215	12.059	37

En unidades 1983 y anteriores, en donde los automotores son unidades de carburador con encendido de platinos. El encendido con platinos provoca desgaste de la baquelita lo cual modifica el ángulo de contacto y esto altera las emisiones.

En el primer grupo, son unidades 1983 a 1990 en donde la mayoría de unidades cuentan con encendido electrónico y, los modelos más recientes de este estrato cuentan con sistemas de inyección electrónica en circuito abierto lo cual mejora el control de la mezcla aire - combustible, abatiendo los niveles de emisión.

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 a los resultados el monóxido de carbono pasó de 14.028 a 5.939 gramos por kilómetro.

## CONCLUSIONES

- 1.- Las emisiones de CO representa el principal contaminante ocupando un 84% del total.
- 2.- Los camionetas pick up y automóviles las son los principales generadores de CO en la Ciudad, debido a que representan el 80% del total de la flota vehicular.
- 3.- Los vehículos pesados, los autobuses y camiones urbanos a diesel son la categoría de fuente más significativa en cuanto a emisiones de NOx, y PM10.
- 4.- Debido a que en la Ciudad el uso de camionetas pick up representa el mayor número de flota vehicular y emisiones de CO se propone que las autoridades locales empleen un sistema de verificación para automóviles ostensiblemente contaminantes, para contener la invasión de automotores usados en malas condiciones, procedentes de Estados Unidos.
- 5.- Se plantea que se penalicen a los automóviles más contaminantes.
- 6.- La disminución de la velocidad en una avenida provoca más emisiones de CO por lo que se propone evitar en lo posible obstáculos, tales como topes, ya que implica un gasto adicional de combustible, se tiene un desperdicio de energía y una contaminación adicional.
- 7.- Los ciudadanos tiene la obligación de hacer un uso eficiente del transporte, dando preferencia al transporte público.

## BIBLIOGRAFÍA

- <sup>1</sup> Mar, E. 2007, Artículo: “Transporte y Medio Ambiente, Un futuro incierto”, Publicación del Instituto Mexicano del Petróleo, México, ISBN: 978-970-31-0785-8
- <sup>2</sup> Fuentes Gustavo A., 2007, Artículo: Sobre la formación de partículas y otros contaminantes al emplear gasolinas de bajo azufre en automóviles, Publicación del Departamento Ing. de Procesos e Hidráulica de la Universidad Autónoma Metropolitana – Iztapalapa, México, ISBN: 978-970-31-0785-8
- <sup>3</sup> Pérez Cisneros Eduardo S., 2007, Artículo: “Desarrollo de Tecnología Para la Producción de Combustibles Limpios”, Publicación del Departamento de Ingeniería de Procesos e Hidráulica de la Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa., México, ISBN: 978-970-31-0785-8
- <sup>4</sup> Gutiérrez H. J., Romieu I. Corey G., Fortoul T., 1997, “Contaminación del Aire”, Editorial El Manual Moderno, México, D.F. – Santafé de Bogotá, pp 2, ISBN 968-426-749-5
- <sup>5</sup> INE, 1997, “Manuales del programa de inventarios de emisiones de México”, Volumen VI - Desarrollo de Inventarios de emisiones de vehículos automotores.
- <sup>6</sup> Racero Moreno J., Ortíz J. D., Galán de Vega R., Villa Caro G., 2006, “Estimación de la emisión de contaminantes debida al tráfico urbano mediante modelos de asignación de tráfico”, Publicación del X Congreso de Ingeniería de Organización Universidad de España, pp 2
- <sup>7</sup> USEPA: US Environmental Protection Agency (2005). <http://www.epa.gov> (marzo 2006).
- <sup>8</sup> Adame Romero A., Salín Pascual D. A., 2000, “Contaminación Ambiental”, Segunda Edición, Editorial Trillas, México, pp 22
- <sup>9</sup> 8, Ibidem, pp 24
- <sup>10</sup> Damián Hernández S. A., Camacho Pérez M., 2000, “El impacto ambiental generado por la Infraestructura Carretera. Estudio Piloto del Ruido, Caso Querétaro”, Publicación Técnica No. 154 del Instituto Mexicano del Transporte (IMT), Sanfandila, Querétaro, México, pp 3, ISSN 0188-7297
- <sup>11</sup> 10, Ibidem, pp 11, 12
- <sup>12</sup> Herce J. A., Del Valle M., 2004, Noviembre 2004, “Petróleo y consumo energético mundial: varias posturas ante una misma realidad”, Revista de Estadística y Sociedad (Índice), No. 7, Publicada por la Universidad de Autónoma de Madrid., pp 1

- <sup>13</sup> IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2001. Technical Summary of Climate Change. Disponible en: <http://www.ipcc.ch/pub/wg3spm.pdf>.
- <sup>14</sup> IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2000. Methodological and Technological Issues in Technology Transfer. Working Group III. New York.
- <sup>15</sup> IEA (International Energy Agency). 2001. Saving Oil and Reducing CO2 Emissions in Transport: Options & Strategies. París: IEA, OECD.
- <sup>16</sup> Cuatecontzi D. H., Gasca J., González U. y Guzmán F., Opciones para mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero del sector transporte, Instituto Mexicano del Petróleo. Artículo publicado por el INE y se puede encontrar en la página: <http://www.ine.gob.mx/publicaciones/libros/437/dick2.html>
- <sup>17</sup> Quintanilla Martínez J., Escenarios de emisiones futuras en el sistema energético mexicano, Instituto Mexicano del Petróleo., Artículo publicado por el INE y se puede encontrar en la página: <http://www.ine.gob.mx/publicaciones/libros/437/quintanilla.html>
- <sup>18</sup> Molina L. T, Molina M. J., 2005, "La calidad del aire en la megaciudad de México, Un enfoque integral", Editorial Fondo de Cultura Económica, México, pp 118, ISBN 968-16-7580-0.
- <sup>19</sup> Secretaría de Planeación Energética y Desarrollo Tecnológico (SENER), Balance General de Energía 2007, disponible en la página: [http://www.sener.gob.mx/webSener/res/PE\\_y\\_DT/pub/Balance\\_2007.pdf](http://www.sener.gob.mx/webSener/res/PE_y_DT/pub/Balance_2007.pdf)
- <sup>20</sup> Torras Ortiz S., Mendoza Sánchez J. F., Téllez Gutiérrez, 2005, "Análisis Paramétricos del Submodelos Efectos Ambientales del HDM-4", Publicación Técnica No. 266 del Instituto Mexicano del Transporte (IMT), Querétaro, México, pp 29, 34-37, 40,41
- <sup>21</sup> ARB, 1993. *Methodology for Estimating Emissions from On-Road Motor Vehicles, Volume I: EMFAC7F*, California Air Resources Board, Sacramento, California, USA.
- <sup>22</sup> "Los Municipios del Estado de Michoacán" de la *Enciclopedia de los Municipios de México*, editada en los años de 1987 y 1988 por el entonces Centro Nacional de Estudios Municipales de la Secretaría de Gobernación, en coordinación con los estados y municipios del país.
- <sup>23</sup> INE, 1997, "Manuales del programa de inventarios de emisiones de México", Volumen VI - Desarrollo de Inventarios de emisiones de vehículos automotores.
- <sup>24</sup> MONTGOMERY C. D, 1996, "Probabilidad y Estadística aplicada a la Ingeniería". Editorial Mc. Graw Hill, México, pp 895.

- <sup>25</sup> Anderson David R., Sweeney Dennis J. y Williams Tomas A., 2005, "Estadística para administración y economía", 8 Edición, Editorial Thomson, México, pp 307, 308, ISBN 0-324-06671-6
- <sup>26</sup> Box Paul C., Oppenlander Joseph C., Ph. D., 1985, "Manual de Estudios de Ingeniería de Tránsito", Cuarta Edición, Publicado por Representaciones y Servicios de Ingeniería S.A. de C.V., México, pp 85, ISBN 968-6062-85-8
- <sup>27</sup> Johannes F., José Puy Huarte, 1975, "Métodos Estadísticos en Ingeniería de Tránsito", Publicado por Representaciones y Servicios de Ingeniería, S.A., México, pp 20,21, ISBN 968-6062-50-5
- <sup>28</sup> Memorias y Conclusiones del Taller Emisiones Vehiculares en México, *Intervención Ing. Adriana de Almeida Lobo, CTS INE*
- <sup>29</sup> Portal de Indicadores de Eficiencia Energética y Emisiones Vehiculares (<http://www.ecovehiculos.gob.mx/>).
- <sup>30</sup> Mercedes Yolanda Rafel Morales y Armando Zavala Ponce, Publicación Técnica No. 128 del IMT, 1999, Selección del tren motriz de vehículos pesados (carga y pasajeros) destinados al servicio publico federal , Sanfandila, Qro,