Centro Queretano de Recursos Naturales

Reporte Técnico Nº 18

Estimación de las Emisiones Atmosféricas de Fuentes Móviles en el Municipio de San Juan del Río, Querétaro

CONCYTEQ

Noviembre de 2014

PODER EJECUTIVO DEL ESTADO DE QUERÉTARO

Lic. José Eduardo Calzada Rovirosa
GOBERNADOR CONSTITUCIONAL

Dr. Fernando De la Isla Herrera
SECRETARIO DE EDUCACIÓN

CONSEJO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DEL ESTADO DE QUERÉTARO

Ing. Ángel Ramírez Vázquez
DIRECTOR GENERAL

© Derechos reservados. Se prohíbe la reproducción parcial o total de este reporte sin la previa autorización por escrito del autor.

CENTRO QUERETANO DE RECURSOS NATURALES

ISBN 968-5402-01-9 (Toda la obra)

ISBN 968-5402- 02-7 (Tomo I: Mejoramiento de la Red Carretera del Centro y Norte del Estado de Querétaro, un Soporte para su Desarrollo Integral y Sustentable)

ISBN 968-5402- 03-5 (Tomo II: Planeación de los Libramientos Carreteros de la Ciudad de Querétaro)

ISBN 968-5402- 04-3 (Tomo III: Uso del Suelo y Vegetación de la Zona Sur del Estado de Querétaro)

ISBN 968-5402- 05-1 (Tomo IV: Diagnóstico del Sistema de Transporte Público de Pasajeros en la Zona Metropolitana de Querétaro)

ISBN 968-5402-07-8 (Tomo V: Uso Actual y Potencial del Suelo en los Municipios Conurbados de Querétaro)

ISBN 968-5402-09-4 (Tomo VI: Sistemas Acuáticos Sustentables. Estudio para la Ciudad de Querétaro y sus Alrededores)

ISBN 968-5402-10-8 (Tomo VII: El Sistema de Agua en la Región Querétaro de la Cuenca Lerma-Chapala, Diagnóstico Proyecto: Sustentabilidad del Sistema de Agua en el Estado de Querétaro)

ISBN 968-5402-11-6 (Tomo VIII: Reordenamiento del Sistema de Transporte Público de Pasajeros en la Zona Metropolitana de Querétaro, Primer Reporte: Estudio de Campo)

ISBN 968-5402- 15-9 (Tomo IX: Medición y Análisis del Volumen de Tránsito en las Principales Vialidades de la Ciudad de Querétaro)

ISBN 968-5402- 17-5 (Tomo X: Estudio Exploratorio de las Condiciones Isotópicas e Hidrogeoquímicas de Afloramientos en la Comunidad de El Arbolito, Municipio de Cadereyta, Qro.)

ISBN 968-5402- 18-3 (Tomo XI: Estimación de la Demanda de Transporte en la Ciudad de San Juan del Río)

ISBN 968-5402- 19-1/ 968-5402- 19-4 (Tomo XII: Caracterización de los Ecosistemas, Cambios de Uso de Suelo y Unidades Paisajísticas en la Reserva de la Biosfera "Sierra Gorda" de Querétaro)

ISBN 968-5402-20-5 / 978-968-5402-20-0 (Tomo XIII: Medición y Análisis del Volumen de Tránsito en las Principales Vialidades de la Ciudad de San Juan del Río)

ISBN 978-607-7710-00-4 (Tomo XIV: Propuestas para la Conservación de Suelos y la Reforestación en el Municipio de Huimilpan)

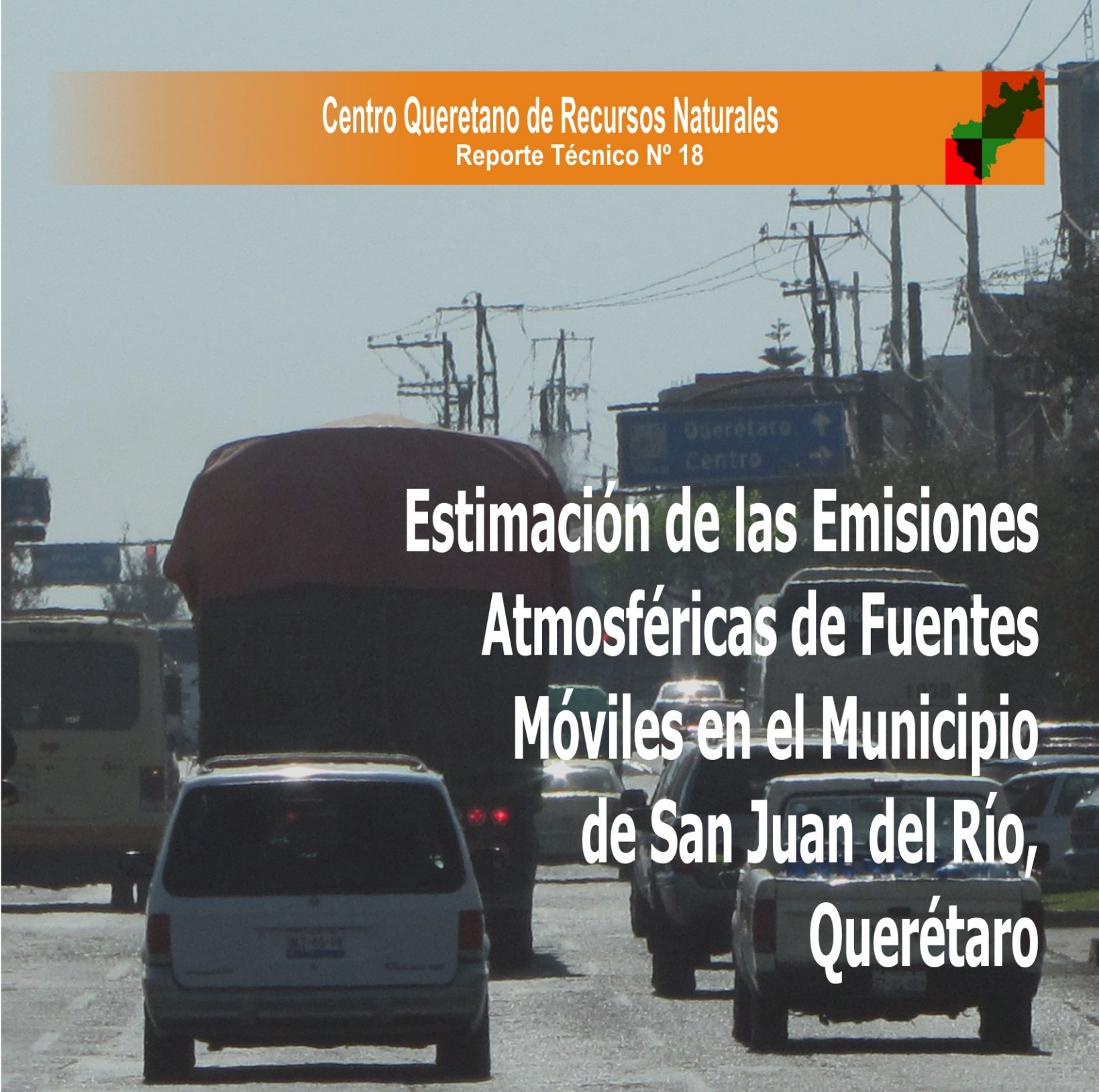
ISBN 978-607-7710-03-5 (Tomo XV: Diagnóstico y propuestas de solución. Problemática del Sistema de Transporte. Zona Rural de la Región Centro del Estado de Querétaro)
E-Book **ISBN 978-607-7710-03-5**

ISBN 978-607-7710-28-08 (Tomo XVI: Escenarios de Abasto y Uso de Agua en la Zona Metropolitana de Querétaro)
ISBN 978-607-7710-31-8 (Tomo XVII: Diagnóstico Ambiental Integral de la Ciudad de San Juan del Río, Querétaro)

ISBN 978-607- 7710-35-6 (Tomo XVIII: Estimación de las Emisiones Atmosféricas de Fuentes Móviles en el Municipio de San Juan del Río, Querétaro.

Octubre de 2014
Publicación del Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Querétaro
Luis Pasteur Sur No. 36, Centro Histórico, C.P. 76000 / Tel. (442) 212 7266, 214 3685
Santiago de Querétaro, Qro., México

Centro Queretano de Recursos Naturales
Reporte Técnico Nº 18



Estimación de las Emisiones Atmosféricas de Fuentes Móviles en el Municipio de San Juan del Río, Querétaro

Miguel Ángel Toral Luna
Susana Elisa Medina Lezama
Wendy Erika Martínez Reséndiz
Roberto de la Llata Gómez

CONCYTEQ

Noviembre de 2014

CONTENIDO

Índice de tablas…… i
Índice de figuras…….. ii
Abreviaturas……..... iii

1 INTRODUCCIÓN……... 1

2 Revisión de literatura…… 2

3 ÁREA DE ESTUDIO…… 7
3.1 Localización geográfica……..... 7
3.2 Infraestructura para el transporte……... 7
3.3 Aspectos demográficos…… 8
3.4 Aspectos económicos……..... 10
3.5 Aspectos meteorológicos…… 11
3.6 Composición del parque vehicular de San Juan del Río…… 11

4 ESTIMACIÓN DE EMISIONES DE FUENTES MÓVILES EN SAN JUAN DEL RÍO…… 15
4.1 Introducción…… 15
4.2 Información local requerida de entrada al modelo MOBILE6.2-México…….. 15
4.2.1 Condiciones ambientales locales…… 15
4.2.2 Estudios de medición vehicular en la ciudad de San Juan del Río……..... 16
4.3 Tipos de contaminantes a considerar en el estudio…… 17
4.3.1 Contaminantes criterio…….. 17
4.3.2 Contaminantes tóxicos…… 18
4.3.3 Gases de efecto invernadero (GEI)…… 18
4.4 Obtención de datos de actividad del parque vehicular…… 19
4.4.1 Caracterización vehicular…… 19
4.4.2 Datos de actividad…… 19
4.4.3 Diseño de la encuesta…….. 21
4.4.4 Estimación de los kilómetros recorridos anuales por clase vehicular…….. 21
4.5 Resultados…… 22
4.5.1 Contaminantes criterio…….. 23
4.5.2 Contaminantes tóxicos…… 28
4.5.3 Gases de efecto invernadero (GEI)…… 30
4.6 Análisis de resultados…….. 29

5 CONCLUSIONES…… 32
REFERENCIAS…… 33
Apéndice A. Descripción del modelo MOBILE6.2-México……... 35
Apéndice B. Descripción de un archivo de entrada al modelo MOBILE6.2-México…… 41
Apéndice C. Formato de encuesta……..... 55

Índice de tablas

Tabla 2.1	Contribución por contamínate (ton/año)……..	5
Tabla 2.2	Emisiones anuales de los contaminantes CO, HC, NO_x y PM_{10} para velocidades de 36 km/h en las ocho clases vehiculares de la ciudad de Uruapan, para el año 2007 (Mg/año)…….	7
Tabla 2.3	Emisiones anuales de los contaminantes CO, HC, NO_x y PM_{10} para velocidades de 56 km/h en las ocho clases vehiculares de la ciudad de Uruapan, para el año 2007 (Mg/año)…….	7
Tabla 3.1	Población en la ciudad y municipio de San Juan del Río (2000-2010)……....	10
Tabla 3.2	TCMA (%) en la ciudad y municipio de San Juan del Río (2000-2010)……..	10
Tabla 3.3	Comparativo de dos variables económicas en el municipio de San Juan del Río….....	12
Tabla 3.4	Parque vehicular registrado en el municipio de San Juan del Río……..	12
Tabla 3.5	Tasa de motorización en el municipio de San Juan del Río y estado de Querétaro....	14
Tabla 3.6	Motivos de viaje en la Zona Conurbada de San Juan del Río…….	14
Tabla 3.7	Modos de transporte en la Zona Conurbada de San Juan del Río…….	14
Tabla 3.8	Modos de transporte a la hora pico en la Zona Conurbada de San Juan del Río……	15
Tabla 4.1	Especificaciones de gasolinas……...	17
Tabla 4.2	Velocidades promedio en las principales vialidades de la ciudad de San Juan del Río……...	18
Tabla 4.3	Kilómetros recorridos por clase vehicular en San Juan del Río……...	23
Tabla 4.4	Contaminantes criterio por clase vehicular……..	24
Tabla 4.5	Principales contaminantes tóxicos por clase vehicular……..	29
Tabla 4.6	Gases de efecto invernadero (GEI)……...	30
Tabla 4.7	Comparativo de datos y parámetros de entrada al modelo MOBILE6.2-México……..	32
Tabla A.1	Definición de hidrocarburos…….....	37
Tabla A.2	Categorías vehiculares del MOBILE6……...	39

Índice de figuras

Figura 3.1	Localización geográfica de San Juan del Río…….	8
Figura 3.2	Crecimiento de la zona urbana de San Juan del Río desde inicios de la década de 1970 hasta el año 2010……..	10
Figura 3.3	Distribución del parque vehicular en el municipio de San Juan del Río…….	12
Figura 4.1	Pasos para la obtención de los kilómetros recorridos por tipo de vehículo (KRV)……..	20
Figura 4.2	Ubicación de las estaciones de gasolina encuestadas en San Juan del Río…	21
Figura 4.3	Distribución porcentual por tipo de contaminante……..	22
Figura 4.4	Contribución por contaminante……..	23
Figura 4.5	Estimación de CO por clase vehicular……..	24
Figura 4.6	Estimación de NO_x por clase vehicular……	24
Figura 4.7	Estimación de SO_2 por clase vehicular……	25
Figura 4.8	Estimación de COV por clase vehicular……..	25
Figura 4.9	Estimación de NH_3 por clase vehicular……	26
Figura 4.10	Estimación de CN por clase vehicular…….	26
Figura 4.11	Estimación de $PM_{2.5}$ por clase vehicular……..	27
Figura 4.12	Estimación de PM_{10} por clase vehicular……..	27
Figura 4.13	Contribución por contaminante tóxico……..	28
Figura 4.14	Combustible utilizado por vehículos en San Juan del Río……	30
Figura 4.15	Edad del parque vehicular en San Juan del Río……	30
Figura A.1	Correspondencia de los nuevos estándares de emisión de México con las clases vehiculares del modelo MOBILE……..	40
Figura A.2	Tasas de emisiones básicas hipotéticas (BERs)……	42
Figura C.1	Formato del cuestionario……	57

Abreviaturas

CEA	Comisión Estatal de Aguas
CONUEE	Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía
CQRN	Centro Queretano de Recursos Naturales
CTS	Centro de Transporte Sustentable
IMT	Instituto Mexicano del Transporte
INE	Instituto Nacional de Ecología
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
INEM	Inventario Nacional de Emisiones de México
PEMEX	Petróleos Mexicanos
PROAIRE	Programa de Gestión de la Calidad del Aire
PROFEPA	Procuraduría Federal para la Protección del Ambiente
SEMARNAT	Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales
SMADF	Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal
USEPA	United States, Environmental Protection Agency (Agencia para la Protección - Ambiental de los Estados Unidos)
UTSJR	Universidad Tecnológica de San Juan del Río
ZCSJR	Zona Conurbada de San Juan del Río

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente la estimación de emisiones de fuentes vehiculares presenta un reto en cuanto a que las emisiones varían dependiendo de numerosos factores, y que a diferencia de las fuentes puntuales no es factible medir las emisiones provenientes de cada una de las fuentes móviles, dada la cantidad y variedad de vehículos en circulación. En este contexto, una adecuada estimación de este tipo de emisiones es indispensable si se pretende emplear el inventario para la identificación de cambios provocados por la implementación de un programa o una medida de control de calidad del aire (INE-SEMARNAT, 2006).

A este respecto, el estado de Querétaro se encuentra en la primera etapa (Diagnóstico) del Programa de Gestión de la Calidad del Aire (PROAIRE Querétaro), por lo que la generación de información resulta crucial para implementar estrategias y medidas que, efectivamente, redunden en la mejora de la calidad atmosférica.

El presente proyecto consiste en estimar las emisiones atmosféricas producidas durante la operación del parque vehicular que circula en la ciudad de San Juan del Río. Para llevar a cabo el estudio, se solicitó a las autoridades competentes información referente al registro del parque vehicular que circula en el municipio, así como estadísticas de unidades con verificación vehicular y de contaminantes registrados en tales verificaciones. Para determinar los datos de actividad, se aplicaron encuestas a usuarios en estaciones de carga de gasolina. Para el cálculo de los factores de emisión se utilizó el modelo MOBILE6.2-México, adaptado para nuestro país y desarrollado por la Agencia para la Protección del Ambiente de los Estados Unidos (USEPA, por sus siglas en inglés), y posteriormente se estimaron las emisiones del parque automotor.

La estructura del documento comprende cinco capítulos y tres apéndices. En el capítulo I se ofrece una introducción al tema. En el capítulo II se describe el área de estudio, así como aspectos demográficos, metrológicos, económicos y de parque vehicular en el municipio de San Juan del Río. En el capítulo III se mencionan y revisan trabajos similares acerca de inventarios de emisiones de fuentes móviles efectuados en otras ciudades de la República mexicana. En el capítulo IV se desarrolla la metodología utilizada para la estimación de las emisiones de fuentes móviles, presentando al final los resultados correspondientes. En el capítulo V se presentan las conclusiones.

Por su parte, en el apéndice A se describe el modelo MOBILE6.2 utilizado para la generación de los factores de emisión. En el apéndice B se describe la estructura del programa de inicio que emplea el modelo MOBILE6.2 con los valores empleados en la corrida. El apéndice C muestra el formato de encuesta aplicado para la recopilación de información en campo.

2. Revisión de literatura

En el año 1999 la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), a través del Instituto Nacional de Ecología (INE), llevó a cabo el 'Inventario de Nacional de Emisiones en México' (INEM), (INE-SEMARNAT, 2006).

Los contaminantes incluidos en el INEM son seis: óxidos de nitrógeno (NO_x), óxidos de azufre (SO_x), compuestos orgánicos volátiles (COV), monóxido de carbono (CO), partículas suspendidas (PM_{10} y $PM_{2.5}$) y amoniaco (NH_3).

El INEM incluye las emisiones calculadas para cinco tipos de fuentes de emisión; a saber: fuentes fijas, fuentes de área, vehículos automotores, fuentes móviles que no circulan por carreteras (maquinaria agrícola y de construcción) y fuentes naturales (emisiones naturales de COV generadas por la vegetación, de NO_x provenientes de suelos y de SO_2 y PM producidas por actividad volcánica). Los resultados, en particular para las fuentes móviles, mostraron que los vehículos automotores ocupan el primer sitio en cuanto a emisiones de NO_x y CO, y el segundo lugar en emisiones de compuestos orgánicos volátiles.

Para este estudio, los vehículos fueron clasificados en siete clases:

1. Vehículos ligeros a gasolina (VLG).
2. Camiones ligeros a gasolina (CLG).
3. Vehículos pesados a gasolina (VPG).
4. Vehículos ligeros a diesel (VLD).
5. Camiones ligeros a diesel (CLD).
6. Vehículos pesados a diesel (VPD).
7. Motocicletas (MC).

Las emisiones vehiculares de NO_x, SO_x, COV, CO, PM_{10}, $PM_{2.5}$ y NH_3 se calcularon con base en tasas de emisión diaria por habitante, derivadas de modelos de demanda de transporte (MDT) para siete zonas urbanas representativas, así como en factores de emisión generados por el modelo MOBILE6-México.

Los MDT fueron elegidos para generar estimaciones de kilómetros recorridos por tipo de vehículo (KRV) para siete áreas urbanas representativas, y luego extrapolados para el país entero.

Los factores de emisión específicos para México se calcularon mediante el modelo MOBILE6-México, desarrollado a partir del modelo MOBILE6.2 de Environmental Protection (EPA, por sus siglas en inglés). El documento señala que los resultados de las emisiones de SO_x, PM_{10} y $PM_{2.5}$ se ajustaron para responder a los contenidos de azufre en gasolina y diesel reportados por Petróleos Mexicanos (PEMEX).

En el año 2004 se llevó a cabo el 'Taller sobre emisiones vehiculares en México' por parte del Instituto Nacional de Ecología y el Centro de Transporte Sustentable (INE-CTS, 2004). El objetivo general fue obtener insumos para un diagnóstico sobre la información y las herramientas utilizadas para la estimación de emisiones de fuentes móviles en los distintos estados y ciudades del país. Asimismo, establecer las bases para la elaboración de procedimientos para generar, recopilar y procesar información para la estimación de dichas emisiones, a fin de elaborar una Guía metodológica.

Se establece que para cuantificar las emisiones generadas por las fuentes móviles, deben considerarse tres parámetros:

$$Eij = NVj * DAj*FEij$$

Ei,j = Emisión del contaminante i, del tipo de vehículo j
NVj = Número de vehículos del tipo j
DAj = Datos de actividad de vehículos del tipo j
FEi,j = Factor de emisión de contaminante i del tipo de vehículo j

Para determinar el número de vehículos, la metodología considera que los parámetros críticos relacionados con la caracterización vehicular son:

a) La definición de la flota activa (servicio privado, de pasajeros o de carga).

- Tipo de vehículo.
- Tipo de combustible.
- Tecnología de control de emisiones.
- Edad del vehículo.
- Tamaño de motor.

b) La tasa anual de motorización y renovación.
c) La curva de vida por tipo de vehículo.

Las principales fuentes de información que se citaron en el 'Taller sobre emisiones vehiculares en México' para obtener los datos anteriores, son:

- Registros vehiculares.
- Tenencia vehicular.
- Verificación vehicular.
- Ventas de vehículos.
- Compañías aseguradoras.
- Sondeos de campo.

En cuanto a la obtención de los datos de actividad de vehículos que por lo general se utilizan para la estimación de emisiones vehiculares, son: kilómetros recorridos por tipo de vehículo y consumo de combustible.

El uso de los datos KRV a partir de modelos de demanda de recorrido (MDR) o de estimaciones regionales, es preferible al uso de los datos de consumo de combustible. Sin embargo, en ausencia de estimaciones de KRV basados en tráfico, los kilómetros recorridos por tipo de vehículo pueden ser estimados indirectamente a partir de los datos de consumo de combustible. Si las fuentes para la estimación de KRV directa están disponibles, los datos de consumo de combustible también pueden usarse para verificar la certidumbre de las estimaciones.

Las principales fuentes de información identificadas para cada uno de los datos de actividad, son:

a) Kilómetros recorridos.

- Autoridades de transporte.
- Estudios de origen-destino.
- Inventarios de emisiones.
- Programas de verificación vehicular.

b) Consumo de combustible.

- Secretaría de Energía.
- Petróleos Mexicanos (PEMEX).
- Empresas de Transporte Público.
- Encuestas.

Para el cálculo de los factores de emisión se considera determinar los parámetros críticos, como son:

- Tamaño total de la flota.
- Acumulación anual del kilometraje por clase de vehículo.
- Distribución de kilómetros viajados por la clase del vehículo.
- Distribución del año modelo (edad) de los vehículos por clase de vehículo.
- Distribución media de la velocidad por tipo de camino.
- Distribución de kilómetros viajados por tipo del camino.
- Temperatura (mínima/máxima).
- Características del combustible (presión del vapor de Reid).

Otros parámetros que influyen sustancialmente en la estimación de factores de emisión, son: altitud, humedad relativa, carga solar y uso del aire acondicionado, así como arranques diarios por clase de vehículo.

No todas estas variables tienen el mismo valor en los cálculos. Mientras que para algunas se pudieran asumir valores predeterminados, en otras son críticas y cualquier incertidumbre o error en los datos provocarían un error del mismo o una mayor magnitud en el resultado final.

Finalmente, en el 'Taller sobre emisiones vehiculares en México' se discutieron los diferentes modelos para la estimación de los factores de emisión. A continuación se mencionan estos modelos:

MOBILE [6.2]. El modelo de factores de la emisión de la EPA para predecir las emisiones de los vehículos en circulación (en gramos por milla).

MOVES [2004]. El modelo más reciente de la EPA de inventario de emisiones.

COPERT [III-IV beta]. Modelo de la Unión Europea de inventario de emisiones para vehículos en circulación, diseñado para desarrollar un dato consistente en todo el continente europeo. Sólo se emplea para macro análisis e inventarios nacionales.

IVEM [1.1.1a]. Modelo UC-Riverside (de la Universidad de California) diseñado para predecir las emisiones de vehículos en circulación en países en vías de desarrollo. Se trata de un modelo

sencillo para la toma de decisiones políticas. Se emplea como una herramienta para orientar las decisiones de una ciudad o de un país.

En el año 2006 el Instituto de Ecología del Estado de Guanajuato realizó el inventario de emisiones móviles para la entidad, empleando el modelo MOBILE5-México (IEEG, 2006). En este inventario incluye las emisiones atmosféricas en los 46 municipios del estado. Presenta las estimaciones en toneladas de emisión de partículas menores a 10µm (PM_{10}), bióxido de azufre (SO_2), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO_x) y compuestos orgánicos totales (COT).

Se emplearon y seleccionaron técnicas y métodos de estimación de emisiones que determinaron y recopilaron todos los datos relacionados con las fuentes de emisiones de contaminantes y su actividad.

Para estimar las fuentes móviles se empleó la metodología establecida en el Manual VI *Desarrollo de Inventario de Emisiones de Vehículos Automotores*, del Programa de Inventarios de Emisiones para México. Los factores utilizados para estimar las emisiones de PM_{10}, CO, NO_x, COT y SO_2 se obtuvieron del MOBILE5-México, desarrollado por la EPA. Se realizaron 46 corridas correspondientes a cada uno de los municipios evaluados, introduciendo para cada uno sus temperaturas máximas y mínimas, así como la respectiva distribución vehicular.

En cuanto al factor de emisión, es una relación entre la cantidad de contaminante emitido a la atmósfera y una unidad de actividad. Los datos de actividad incluyen consumo de combustibles, población, kilómetros recorridos, etcétera.

Los datos de flota vehicular y su distribución por año modelo fueron proporcionados por la Secretaría de Finanzas y Administración (SFA) de Gobierno del Estado de Guanajuato. El documento señala que los KRV se obtuvieron de lo reportado en el 'Inventario de Emisiones de Fuentes Móviles 2002' de Guanajuato. La flota que se empleó para este inventario fue de 1,010,806 vehículos. El 51.75 % son autos particulares y 41.67 % vehículos pick up.

Como resultado del 'Inventario' del estado de Guanajuato, las emisiones totales de contaminantes estimadas por las fuentes móviles en el año 2006 fueron de 1,023,173 toneladas, de las cuales 90.7 % corresponde al monóxido de carbono, 5.5 % a compuestos orgánicos totales, 3.64 % a óxidos de nitrógeno, 0.1 % a partículas menores a 10 micras y 0.1 % a óxidos de azufre. La **Tabla 2.1** muestra estos resultados.

Tabla 2.1 Contribución por contaminante (ton/año).

Fuentes móviles	PM_{10}	SO_2	CO	NO_x	COT
Autos particulares	67	271	85,216	3,097	9,119
Taxis	16	72	27,276	2,653	1,736
Pick up y vehículos ligeros de carga	75	323	126,810	2,913	15,098
Camiones de carga a gasolina menores a 3.5 t	17	38	93,181	1,297	3,924
Camiones de carga a gasolina mayores a 3.5 t	58	146	547,013	5,380	21,021
Autobús a gasolina	8	5	2,987	94	151
Camiones de carga a diesel menores a 3.5 t	8	5	233	178	48
Camiones de carga a diesel mayores a 3.5 t	270	372	30,765	15,181	3,460
Autobús a diesel	129	228	10,216	5,647	1,013
Motocicletas	6	7	4,689	94	564
Total	**29,234**	**87,275**	**960,251**	**60,695**	**288,321**

Fuente: (IEEG, 2007).

En el año 2009 el Instituto Mexicano del Transporte (IMT), en su publicación técnica número 322 (IMT, 2009), plantea una propuesta metodológica para la estimación de emisiones vehiculares en ciudades de la República, derivada de la necesidad de tener un análisis más fino de las cantidades y tipos de contaminantes emitidos hacia la atmósfera por la operación vehicular. Esta propuesta se basa en los trabajos realizados en México sobre inventarios de emisiones para algunas ciudades de la República, usando como herramienta el modelo MOBILE6, desarrollado por Environmental Protection Agency.

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 sobre el tipo de combustible, el uso de aire acondicionado, el monto de consumo de combustible, el kilometraje acumulado, etcétera.

La metodología empleada incluye, principalmente, tres aspectos:

1. Condiciones locales (altitud, temperatura, humedad relativa y características de los combustibles).
2. Caracterización de la flota vehicular total (edad, tipo de combustible y clasificación vehicular).
3. Datos de la operación vehicular (obtenidos del análisis de las encuestas).

En el estudio efectuado en la ciudad de Uruapan se definieron dos escenarios para la estimación de emisiones, en función a la velocidad media en arterias que conforman la zona centro y las arterias denominadas 'vías rápidas'. Y para la generación de factores de emisión para MOBILE se parte de dos archivos de entrada. La diferencia entre ellos radica, sobre todo, en que uno aplica para vehículos de transporte público de pasajeros y el otro para el resto de la flota.

Los resultados obtenidos en el estudio, para ambos escenarios, se muestran en las **Tablas 2.2** y **2.3**:

Tabla 2.2 Emisiones anuales de los contaminantes CO, HC, NO_x y PM_{10} para velocidades de 36 km/h en las ocho clases vehiculares de la ciudad de Uruapan, para el año 2007 (Mg/año).

	Motocicleta	Automóvil	Pick up	Veh. ligero	Autobús	Veh. pesado	Taxi	Camión urbano
HTC	78.303	296.926	966.621	68.799	91.780	196.705	39,869.000	34.108
CO	730.919	8,090.597	24,693.993	1,696.460	690.131	1,077.800	1,199.130	339.735
NO_x	45.789	343.995	626.794	39.753	1,453.561	1,453.561	97.015	1,075.177
PM_{10}	1.338	2.473	5.104	0.386	9.907	10.769	1.107	7.730

Fuente: (IMT, 2009).

Tabla 2.3 Emisiones anuales de los contaminantes CO, HC, NO_x y PM_{10} para velocidades de 56 km/h, en las ocho clases vehiculares de la ciudad de Uruapan, para el año 2007 (Mg/año).

	Motocicleta	Automóvil	Pick up	Veh. ligero	Autobús	Veh. pesado	Taxi	Camión urbano
HTC	80.960	272.535	872.755	62.217	84.239	180.545	41.045	31.306
CO	828.485	8,469.682	25,264.491	1,734.850	720.938	1,125.909	1,338.257	354.900
NOx	51.987	354.585	644.032	40.979	1,634.687	1,793.894	101.741	1,328.065
PM_{10}	1.338	2.473	5.104	0.386	9.907	10,769	1.107	7.730

Fuente: (IMT, 2009).

3. ÁREA DE ESTUDIO

3.1 Localización geográfica del municipio de San Juan del Río

La ciudad de San Juan del Río se ubica en la parte sur del estado de Querétaro. El municipio, de acuerdo con los límites marcados en el Plano Oficial, tiene un área total de 79,632.174 hectáreas, de modo que es el cuarto más grande de la entidad por superficie. Se localiza entre las coordenadas extremas: al Norte 20° 32' 50.43"; al Sur 20° 12' 24.00"; al Oriente 99° 49' 22.52" y al Oeste 100° 11' 45.68" (CQRN, 2011). En la **Figura 3.1** se ubica al estado de Querétaro en la República mexicana. En azul se aprecia el municipio de San Juan del Río y la ciudad del mismo nombre, en el territorio municipal.

Para el año 2010 la superficie total (ha) es de 4,968.69. El crecimiento para el periodo 2005-2010 fue de 1,662.86 hectáreas.

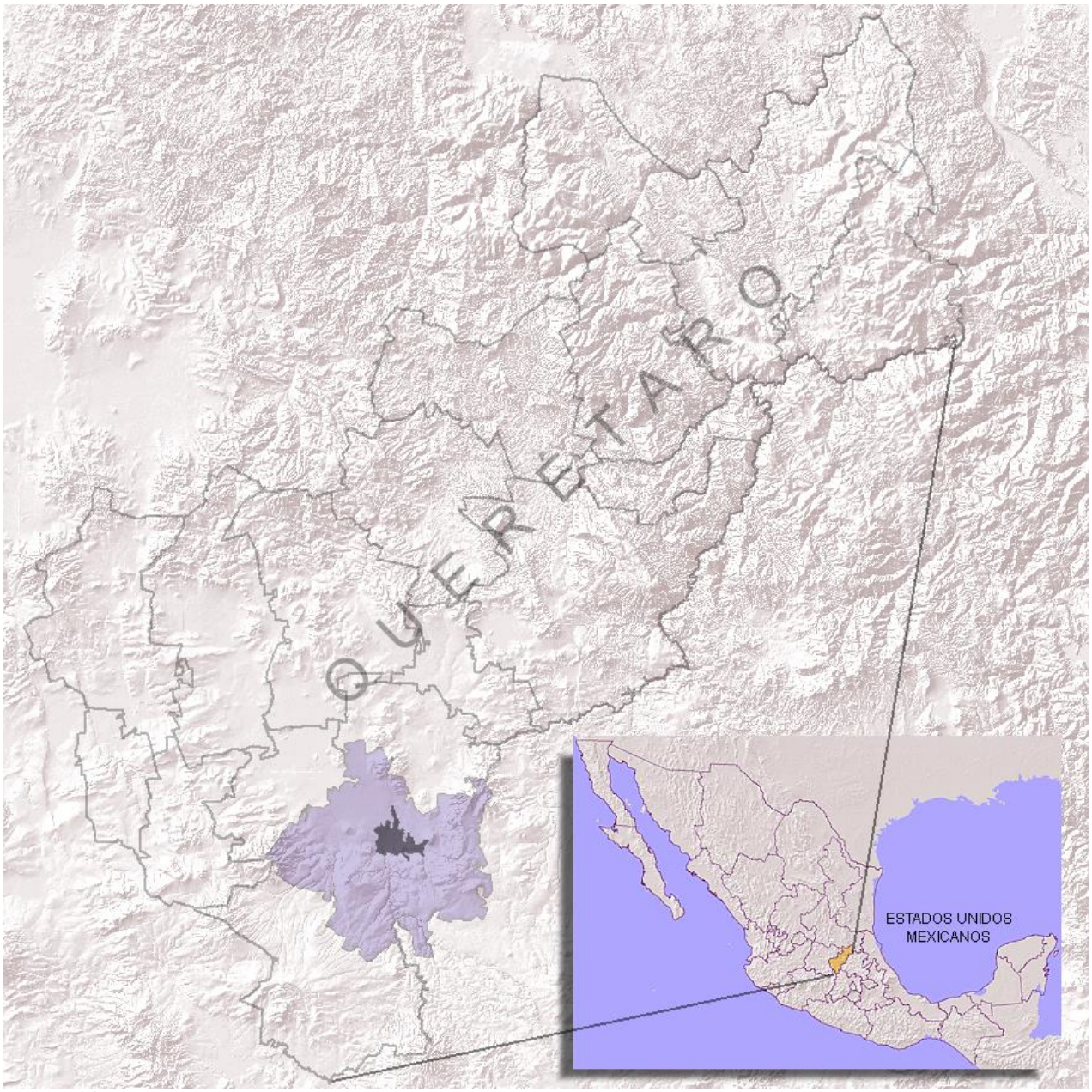
De acuerdo con el modelo de elevación y la mancha conurbada de San Juan del Río, los puntos más bajos se encuentran en la parte norte de la mancha, con una altitud de 1,889 msnm ('La Llave'). La altitud promedio es de 2,011.5 msnm y los puntos más altos están hacia el sureste, rumbo a 'Paso de Mata', con una altitud de 2,134 metros sobre el nivel del mar (msnm).

3.2 Infraestructura para el transporte

El municipio de San Juan del Río, de acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), cuenta con una red carretera de 190 Km distribuida del siguiente modo: 44 Km corresponden a troncal federal, 62 Km de carreteras alimentadoras del estado y 84 Km son caminos rurales (de los cuales 31 % son pavimentados y 69 % de terracería). La Carretera Federal 57 cruza, en su recorrido, la parte sur de la ciudad. El paso de esta carretera por la ciudad ha influido, en parte y a través del tiempo, para convertirla en un polo de desarrollo industrial. La Carretera Federal 120 San Juan del Río-Xilitla cruza a la ciudad de Sureste a Noreste, en su tramo urbano de 5.13 Km de longitud, conocido como 'Paseo Central', considerado como un corredor industrial y de servicios. Por el lado sur de la ciudad se ubica la carretera San Juan del Río-Amealco.

La infraestructura y operación de los ferrocarriles dentro de la Zona Conurbada de San Juan del Río (ZCSJR) presentan una barrera física, pues han limitado la continuidad vial. En una parte de su trayecto, la red ferroviaria cruza la ZCSJR debido a la ubicación de industrias que emplean el modo ferrocarril para el transporte de sus insumos y productos terminados. Hay intersecciones dentro de la ciudad donde confluyen la red vial y la red ferroviaria. Durante el paso del tren en estos cruceros, se ocasionan interrupciones al flujo vehicular que provocan retrasos, consumo de combustible, accidentes, además del ruido generado por las locomotoras.

Figura 3.1 Localización geográfica de San Juan del Río.



Fuente: CQRN.

3.3 Aspectos demográficos

El municipio de San Juan del Río está experimentando un aumento de la población, relativamente rápido. Esta dinámica, que se aceleró a partir de la década 1970-1980, ha resultado en un incremento de casi siete veces el número de habitantes en los últimos 60 años. Este crecimiento es un poco mayor, en proporción, al que ha experimentado el estado, el cual se ha comportado de manera similar al municipio (CQRN, 2011).

En el estado, el municipio de San Juan del Río es el segundo más poblado después del municipio de Querétaro. La población del municipio de San Juan del Río, de acuerdo con datos del INEGI,

ha mostrado un incremento, en el periodo 2005-2010, de 33,237 habitantes, lo que representa un tasa de crecimiento media anual (TCMA) del 3.1 %, superior a la del estado, que es de 2.7 % para el mismo periodo.

Las **Tablas 3.1** y **3.2** muestran el crecimiento de la población en la ciudad y municipio de San Juan del Río, según datos del INEGI (Censo de Población 2000, Conteo 2005 y Censo de Población 2010).

Tabla 3.1 Población en la ciudad y municipio de San Juan del Río (2000-2010).

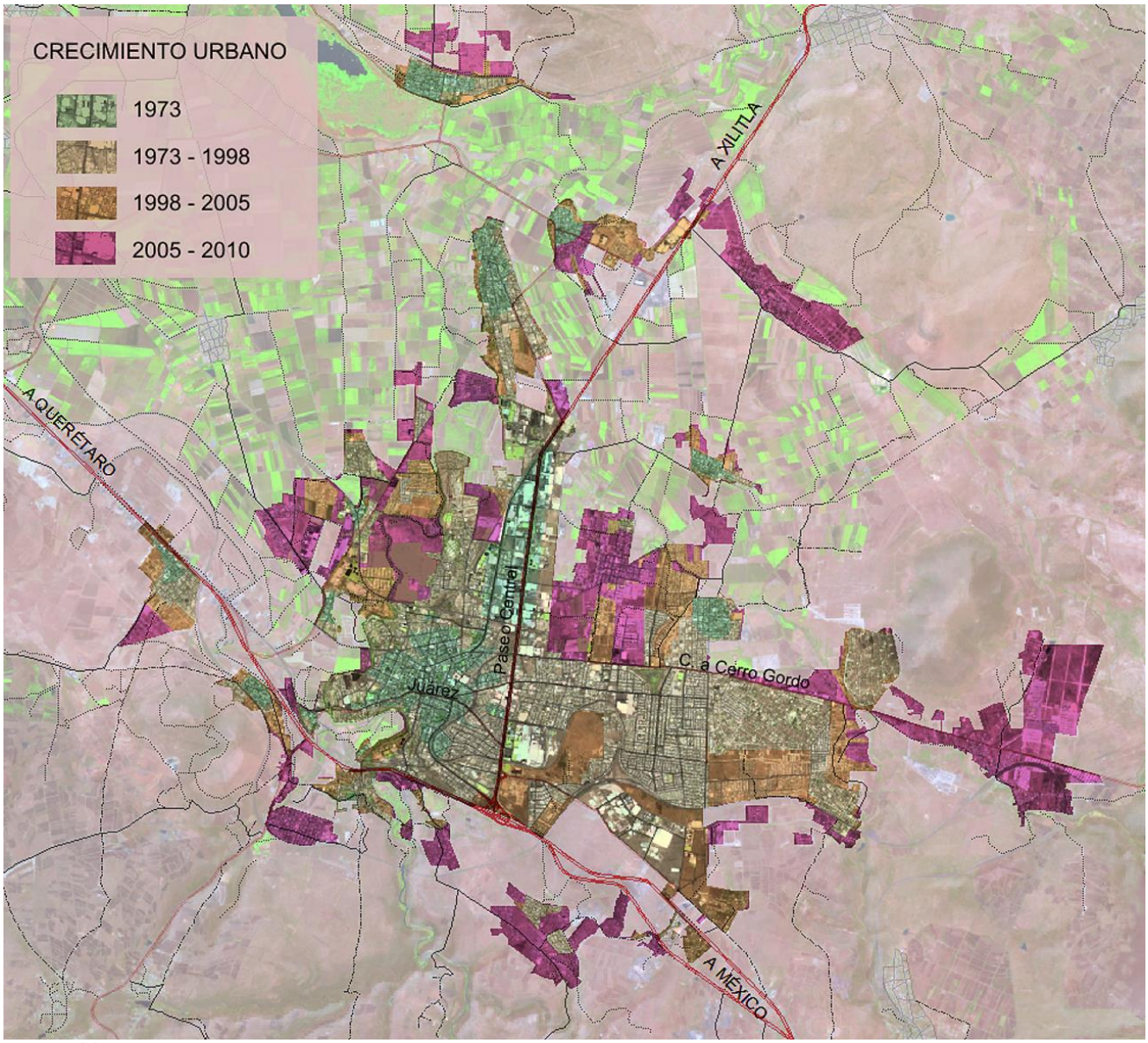
Entidad	Año		
	2000	**2005**	**2010**
Ciudad de San Juan del Río	99,483	120,984	138,878
Municipio de San Juan del Río	179,668	208,462	241,699

Tabla 3.2 TCMA (%) en la ciudad y municipio de San Juan del Río (2000-2010).

Entidad	Periodo	
	2000-2005	**2005-2010**
Ciudad de San Juan del Río	3.6 %	2.5 %
Municipio de San Juan del Río	2.7 %	3.1 %
Estado de Querétaro	2.3 %	2.7 %

La **Figura 3.2** representa el crecimiento de la zona urbana del municipio de San Juan del Río en las últimas tres décadas. Se observa la expansión de asentamientos urbanos, abarcando a la conurbación pequeñas localidades antes rurales. También se modernizan vialidades y crean nuevos accesos para los recientes asentamientos habitacionales, industriales y comerciales. El conjunto de vialidades que abarca la mancha urbana forman la red vial, de acuerdo a la función de conexión que desempeñan.

Figura 3.2 Crecimiento de la zona urbana de San Juan del Río, desde inicios de la década de 1970 hasta el año 2010.



Fuente: CQRN.

3.4 Aspectos económicos

La actividad económica en el municipio de San Juan del Río se refleja en los resultados de los Censos Económicos del INEGI, entre los años 2003 y 2008. La **Tabla 3.3** muestra un comparativo entre dos variables: el número de personal ocupado y el número de unidades económicas.

En cuanto al personal ocupado, se registró un incremento de 6,148, que representa una TCMA de 1.5 %, mientras que las unidades económicas registraron un aumento de 1,763 con una TCMA de 4.9 %. El municipio de San Juan del Río ocupa, en estos periodos, el segundo lugar en actividad económica a nivel estatal, abajo del municipio de Querétaro.

Tabla 3.3 Comparativo de dos variables economicas en el municipio de San Juan del Río.

Entidad	Año					
	2003	2008	2003	2008	TCMA	TCMA
	Personal ocupado		Unidades económicas		Personal ocupado	Unidades económicas
San Juan del Río	50,297	54,280	6,535	8,354	1.5 %	4.9 %

Fuente: (INEGI, 2005a), (INEGI, 2009a).

El incremento de la actividad económica en una ciudad implica mayor movilidad de personas, bienes y servicios, así como un incremento en los niveles económicos de la población. En este contexto, el medio ambiente se ve afectado por la generación de mayores niveles de contaminación.

3.5 Aspectos meteorológicos

El clima en esta región es principalmente templado, subhúmedo, con lluvias veraniegas, con temperatura media anual de 15 a 17ºC, en un gradiente de Sur a Norte, alcanzando en Amealco temperaturas de 14ºC, y precipitaciones de 750 a 630 mm anuales, también en un gradiente de Sur a Norte. En las partes más bajas este clima se va tornando más seco y cálido, hasta dar lugar al clima semiseco templado.

3.6 Composición del parque vehicular en San Juan del Río

El parque vehicular en el municipio de San Juan del Río ha mostrado un incremento anual, según el INEGI, en congruencia con el aumento poblacional y las actividades socio-económicas. Lo anterior ha contribuido a recorrer mayores distancias debido al aumento en vialidades de acceso a nuevos centros de trabajo, habitacionales y de recreación, entre otros.

La **Tabla 3.4** presenta la conformación del parque vehicular que circula en el municipio de San Juan del Río, siendo la cabecera municipal la que concentra el mayor porcentaje de ese parque, por ser la sede de los principales centros educativos, laborales, comerciales y de salud.

Tabla 3.4 Parque vehicular registrado en el municipio de San Juan del Río.

Año	Total	Automóviles		Camiones de Pasajeros		Camiones de carga	Motocicletas
		Servicio Público	Oficial y Particular	Servicio Público	Oficial y Particular		
2004	28,246	834	15,331	408	36	11,186	451
2005	30,384	689	16,656	383	42	12,135	479
2006	33,111	732	19,090	366	46	12,429	448
2007	38,730	715	22,889	348	38	14,237	503
2008	47,537	729	28,476	372	43	17,333	584
2009	51,750	753	31,269	374	45	18,539	770
2010	55,600	763	34,281	405	42	19,229	880
2011	57,404	651	36,082	387	43	19,285	956

Fuente: Anuario Estadístico Querétaro, INEGI.

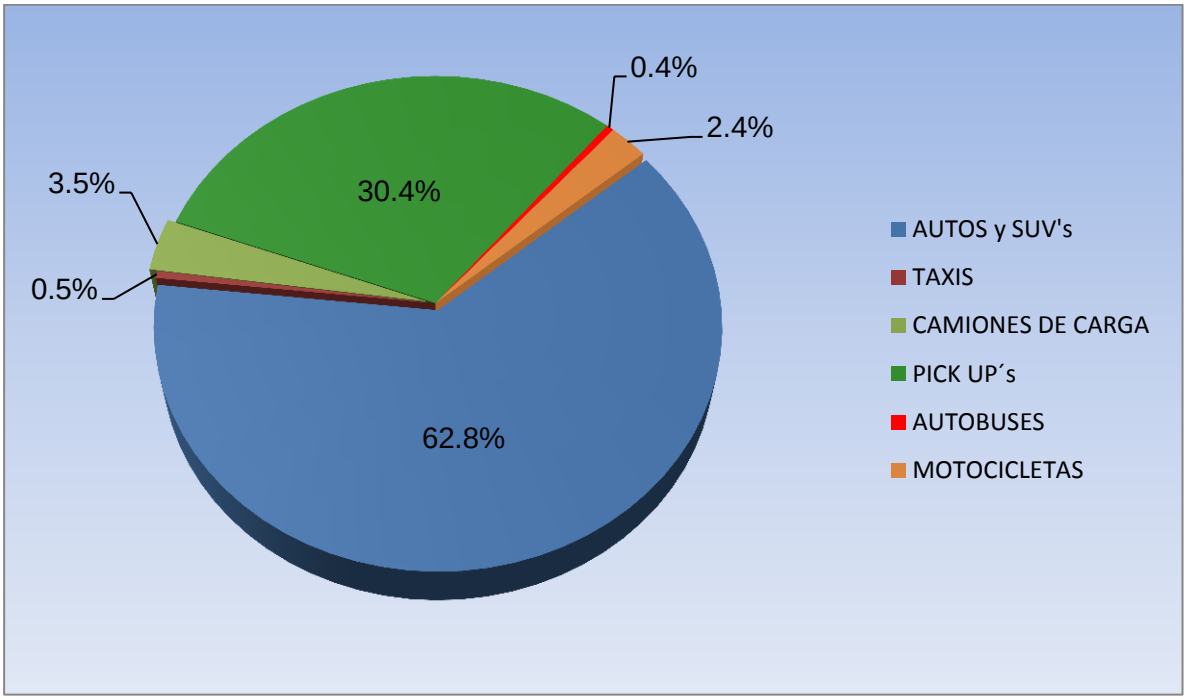
En el periodo 2004-2011 el parque vehicular tuvo un incremento en el registro de 29,158 vehículos; esto es, poco más del 100 %, con una tasa de crecimiento media anual de 10.7 %

Cabe señalar que el Anuario Estadístico del INEGI para el estado (2007) enuncia la siguiente nota al final de la tabla titulada “Vehículos de motor registrados en circulación por municipio según tipo de servicio”. (La información sólo considera vehículos cuyos propietarios realizaron sus contribuciones en el presente ejercicio.)

Para el desarrollo del presente trabajo se solicitó a la Secretaria de Planeación y Finanzas del Estado de Querétaro información sobre el parque vehicular (2012) en el municipio de San Juan del Río. La **Figura 3.3** muestra la distribución vehicular del parque proporcionado, del cual 62.8 % corresponde a automoviles y SUV´s, 30.4% a pick up´s, 3.5% a camiones de carga, 0.4% autobuses y el restante 2.4 % a motocicletas.

Esta información servirá de base para caracterizar el parque vehicular, de acuerdo con los requerimientos del modelo MOBILE6.2-México.

Figura 3.3 Distribución del parque vehicular en el municipio de San Juan del Río.



Fuente: Elaboración propia, con datos de la Secretaría de Planeación y Finanzas del Estado de Querétaro.

La tasa de motorización es un indicador del crecimiento del parque automotor, calculado en este estudio como el número de vehículos particulares por cada 1000 habitantes. La **Tabla 3.5** muestra una comparación de datos de población y número de automóviles particulares, a nivel estatal y en el municipio de San Juan del Río. En el periodo 2005-2010 el municipio registró un incremento de 62 vehículos por cada 1000 habitantes, pasando de 80 a 142 vehículos/1000 habitantes. A nivel estatal, el indicador fue de 60 vehículos/1000 habitantes.

Tabla 3.5 Tasa de Motorización en el municipio de San Juan del Río y en el estado de Querétaro.

Año	Estado de Querétaro			Municipio de San Juan del Río		
	Población	Automóviles particulares	Veh/1000 hab.	Población	Automóviles particulares	Veh/1000 hab.
2005	1,598,139	161,280	101	208,462	16,644	80
2010	1,827,937	295,793	161	241,699	34,247	142

Fuente: Anuario Estadístico Querétaro 2006-2011.

En cuanto a la movilidad urbana, el Centro Queretano de Recursos Naturales (CQRN) llevó a cabo un estudio sobre la 'Demanda de transporte en la ciudad de San Juan del Río' en el año 2006. Los resultados de la encuesta domiciliaria origen-destino se muestran en las **Tablas 3.6** y **3.7** (número de viajes realizados por modo de transporte y motivos de viaje, respectivamente).

Los principales motivos de viaje son 'trabajo' y 'estudios'. Otros motivos, como 'compras', 'salud' o 'recreación', pueden ser significativos, en mayor o menor medida.

Tabla 3.6 Motivos de viaje en la ZCSJR.

Motivo	Viajes	
Trabajo	104,037	36.2 %
Estudios	88,575	30.8 %
Compras	30,872	10.8 %
Llevar pasajeros	25,848	9.0 %
Otros	37,870	13.2 %

Fuente: CQRN, 2006.

El principal modo de transporte es aún el público (microbús o autobús) con poco más de 38 % de los viajes realizados, seguido muy de cerca por el automóvil, con casi 30 % de los viajes, como consecuencia del acelerado crecimiento de la motorización en la zona.

Tabla 3.7 Modos de transporte en la ZCSJR.

Modo	Viajes	
Camión	109,711	38.2 %
Automóvil	85,586	29.8 %
A pie	73,524	25.6 %
Taxi	8,329	2.9 %
Bicicleta	8,042	2.8 %
Motocicleta	2,010	0.7 %
Total	287,202	100 %

Fuente: CQRN, 2006.

El citado estudio del CQRN muestra que la hora de máxima demanda ('hora pico') se dio a las 7:00 (entre 7:00 y 8:00 horas), con poco más de 13 % del total de viajes diarios. La **Tabla 3.8** muestra los modos más utilizados a esa hora en la ZCSJR, observándose que el transporte público es superado por el uso del automóvil, e inclusive por los viajes a pie.

Tabla 3.8 Modos de transporte a la hora pico, en la ZCSJR.

Modo	Viajes	
Automóvil	15,364	40.1 %
Camión	9,197	24 %
A pie	12,737	33.2 %
Bicicleta	1,063	2.8 %
Total	38,361	100 %

Fuente: CQRN, 2006.

Para mitigar los altos índices de contaminación en grandes y medianas urbes, una buena medida es concientizar a la población en cuanto a disminuir el uso del automóvil y fomentar el uso del transporte urbano de pasajeros y/o medios no automotores, como la bicicleta o el caminar.

4. ESTIMACIÓN DE EMISIONES DE FUENTES MÓVILES EN EL MUNICIPIO DE SAN JUAN DEL RÍO

4.1 Introducción

El presente capítulo tiene como objetivo estimar las emisiones atmosféricas del parque vehicular que circula por vialidades del municipio. Los tipos a estimar comprenden a los contaminantes (CO, NO_x, COV, SO_2, PM_{10}, $PM_{2.5}$, NH_3 y CN), contaminantes tóxicos (benceno, etilbenceno, tolueno y xileno) y gases de efecto invernadero (GEI).

Para alcanzar el objetivo se empleará información procedente de encuestas aplicadas a transportistas y automovilistas, para la determinación de los datos de actividad (kilómetros recorridos por tipo de vehículo). Las encuestas se aplicarán en centros de recarga de gasolina ubicadas en la ciudad. También se buscará información local meteorológica, datos de velocidad promedio, información del programa de verificación vehicular en el municipio, y datos del combustible utilizado (gasolina y diesel). Se empleará el modelo MOBILE6.2-México, adaptado para nuestro país y desarrollado por la Agencia para la Protección del Ambiente de los Estados Unidos (USEPA, por sus siglas en inglés), para la determinación de los factores de emisión. Posteriormente se estimarán las emisiones que se emite hacia la atmosfera por el parque registrado en el municipio de San Juan del Río.

En el **Apéndice A** se describe el modelo MOBILE6.2-México.

4.2 Información local requerida de entrada al modelo MOBILE6.2-México

El modelo MOBILE6.2-México permite, a través de un archivo de entrada, ingresar datos locales a ciertos comandos o instrucciones del programa, de modo que los resultados sean más confiables y acordes a las características de la zona. Los datos locales que permite el modelo modificar, se refieren al clima (temperatura, humedad, altitud). También permite modificar datos sobre las características del combustible empleado en la zona, sobre velocidad promedio e información relativa a programas de inspección y mantenimiento.

En el **Apéndice B** se describe un archivo de entrada al modelo MOBILE6.2-México.

4.2.1 Condiciones ambientales locales

Algunas de las características regionales que pueden afectar las emisiones producidas por los vehículos automotores, incluyen las características físicas (temperatura o altitud) y del combustible utilizado. A continuación se describen las condiciones físicas del área y de combustible que intervienen en el modelo:

- Temperatura.- Es una magnitud referida a las nociones comunes de calor o frío.

El modelo MOBILE6.2-México permite ingresar, en el archivo de entrada, la temperatura promedio máxima y mínima. De acuerdo con la Comisión Estatal de Aguas (CEA, 2013) la temperatura mínima para San Juan del Río fue de 9.98°C y la máxima de 26.5°C. Las temperaturas son ingresadas al modelo en grados Fahrenheit.

- Altitud.- Se entiende por altitud la distancia vertical a un origen determinado. A nivel del mar, el valor se considera de cero (0).

Tiene un efecto significativo sobre las emisiones de los vehículos automotores. A medida en que la altitud se incrementa, la densidad del aire disminuye. El valor de la altitud promedio en la ciudad de San Juan del Río es de 2,011.5 msnm.

- Características del combustible.

Dado que las emisiones de los vehículos automotores son el resultado final de la combustión de la gasolina y el diesel, las características del combustible pueden afectar significativamente la cantidad de contaminantes emitidos. La volatilidad del combustible, en particular, afecta directamente la cantidad de las emisiones de un vehículo automotor. Para el modelo MOBILE6.2-México --así como para otras muchas aplicaciones-- la volatilidad del combustible se expresa como presión de vapor de Reid (PVR). La PVR estándar para gasolina utilizada en la determinación de las tasas básicas de emisión para el modelo MOBILE, es 9.0 libras por pulgada cuadrada (PSI). El uso de cualquier otra PVR para gasolina requiere la aplicación de factores de ajuste.

El dato de PVR que se muestra en la **Tabla 4.1** se obtuvo del estudio realizado en la ciudad de Uruapan por parte del IMT. Dado que ésta y la de Querétaro pertenecen a las zonas de distribución geográfica de gasolina Centro y Bajío, respectivamente, y de acuerdo a la NOM-086-SEMANART-SENER-SCFI-2005 (especificaciones de los combustibles fósiles para la protección ambiental), la clase de volatilidad de gasolinas para las zonas geográficas y época del año es la misma.

Tabla 4.1 Especificaciones de gasolinas.

Gasolina	PVR
Magna	9,82
Premium	7,71
Promedio ponderado	9,65

Fuente: IMT, 2009.

4.2.2 Estudios de medición vehicular en la ciudad de San Juan del Río

El Centro Queretano de Recursos Naturales ha realizado, en años anteriores, mediciones vehiculares en las principales vialidades de la ciudad de San Juan del Río (CQRN, 2007) mediante el uso de dos equipos de conteo modelo Delta-NT, marca 'Time Mark'. Los reportes que genera el software del equipo muestran el número de vehículos que pasan por un punto determinado y registran la velocidad de los vehículos que cruzan por los sensores del equipo.

La **Tabla 4.2** muestra los valores de velocidad promedio registrados en diferentes fechas y vialidades de la ciudad de San Juan del Río.

Tabla 4.2 Velocidades promedio en las principales vialidades de la ciudad de San Juan del Río.

Periodo		Vialidad	Sentido	Velocidad promedio del periodo (km/hr)
22/11/2012	29/11/2012	Uno Pte.	Poniente-Oriente	34.2
22/11/2012	29/11/2012	Uno Pte.	Oriente-Poniente	30.9
08/03/2011	15/03/2011	Belisario Domínguez	Poniente-Oriente	28.2
23/02/2011	01/03/2011	Corregidora	Oriente-Poniente	27.5
02/02/2011	08/02/2011	Francisco Villa	Oriente-Poniente	38.0
24/03/2011	27/03/2011	Guerrero	Oriente-Poniente	23.1
16/03/2011	23/03/2011	Tecnológico	Oriente-Poniente	51.5
16/03/2011	23/03/2011	Tecnológico	Poniente-Oriente	43.0
07/04/2011	13/04/2011	Ayuntamiento	Norte-Sur	23.2
24/01/2011	01/02/2011	Moctezuma	Oriente-Poniente	47.8
24/01/2011	31/01/2011	Universidad	Poniente-Oriente	32.7
02/02/2011	09/02/2011	Arteaga	Poniente-Oriente	32.7
13/04/2010	13/04/2010	Juárez	Oriente-Poniente	26.0
22/05/2009	24/05/2009	Hidalgo Sur	Norte-Sur	23.4
14/05/2009	21/05/2009	Lomas de San Juan	Norte-Sur	40.8
25/05/2009	29/05/2009	20 de Noviembre	Oriente-Poniente	24.9
02/06/2009	10/06/2009	Paseo Central	Sur-Norte	53.3
02/06/2009	10/06/2009	Paseo Central	Norte-Sur	49.2

Fuente: Elaboración propia, con datos del CQRN 2007.

De acuerdo con estos registros de velocidades, se obtuvo un promedio para la ciudad de San Juan del Río de 35 km/hora.

El valor de velocidad promedio servirá como dato de referencia en la elaboración del archivo de entrada al modelo MOBILE6.2-México.

4.3 Tipos de contaminantes a considerar en el estudio

4.3.1 Contaminantes criterio

Para cada contaminante criterio se han desarrollado Guías y Normas. Las Guías son recomendaciones que establecen los niveles de exposición a contaminantes atmosféricos, a fin de reducir los riesgos o proteger de los efectos nocivos. Las Normas establecen las concentraciones máximas de los contaminantes atmosféricos que se permiten durante un periodo definido. Estos valores límite son diseñados con un margen de protección ante los riesgos y tienen la finalidad de proteger la salud humana y el medioambiente.

Actualmente, el término ‘contaminantes criterio’ ha sido adoptado en diferentes países. A continuación se mencionan los más significativos:

Contaminante	Descripción
Hidrocarburos (HC)	Conjunto de sustancias químicas orgánicas compuestas únicamente de hidrógeno y carbono. Las emisiones de hidrocarburos se presentan cuando no se queman completamente las moléculas del combustible en el motor, o sólo se queman parcialmente.
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, generando ozono a nivel del suelo.
Monóxido de carbono (CO)	Es un gas incoloro e inodoro que resulta de la combustión incompleta de combustibles fósiles. La mayor proporción del CO emitido en áreas urbanas es generada por los vehículos automotores.
Óxidos de nitrógeno (NO_x)	El término es un concepto amplio que incluye al monóxido de nitrógeno (NO), al bióxido de nitrógeno (NO_2) y a otros óxidos de nitrógeno menos comunes. Se forman en condiciones de alta temperatura y presión con exceso de aire. El producto primario de la combustión es el NO. Sin embargo, el NO_2 y otros óxidos de nitrógeno son emitidos usualmente al mismo tiempo, por lo que pueden ser no distinguibles en datos de monitoreo de emisiones.
Óxidos de azufre (SO_x)	Es el término general que se refiere al bióxido de azufre (SO_2) y a otros óxidos de este elemento. El SO_2 es un gas incoloro de fuerte olor que se forma por la combustión de combustibles fósiles que contienen azufre.
Material particulado (PM)	Se refiere a cualquier partícula sólida o líquida de hollín, polvo, aerosoles, humos y nieblas. El término PM_{10} describe emisiones de partículas primarias con un diámetro aerodinámico menor que 10 µm. De manera similar, el término $PM_{2.5}$ se refiere a las partículas primarias con un diámetro aerodinámico menor que 2.5 µm.

4.3.2 Contaminantes tóxicos

Son sustancias tóxicas que pueden encontrarse en el aire y a las que algunas veces se les denomina ‘contaminantes peligrosos del aire’ (Hazardous Air Pollutants, HAPs, por las siglas en inglés). Son considerados contaminantes tóxicos del aire porque pueden tener efectos de corto plazo (agudos) o de largo plazo (crónicos) en la salud. Los contaminantes tóxicos del aire pueden presentarse en forma gaseosa o en partículas. Algunos ejemplos incluyen benceno, tolueno, xileno y etilbenceno.

4.3.3 Gases de efecto invernadero (GEI)

El efecto invernadero se presenta cuando la radiación solar, que es reflejada por la superficie de la tierra, queda atrapada en la atmósfera por gases con actividad radiante. Gases como bióxido de carbono (CO_2), vapor de agua, ozono (O_3) metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O) y los clorofluorocarbonos (CFCs). Las concentraciones de estos gases en la atmósfera son tan pequeñas, que se conocen como 'gases traza'.

4.4 Obtención de datos de actividad del parque vehicular

Esta etapa consiste en determinar los KRV. Existen varios métodos que se emplean como fuente de información para estimarlos. Por ejemplo, la estimación basada en tráfico, como son las mediciones vehiculares en vialidades (aforos) y modelos de demanda de recorrido (MDR), además de las estimaciones de los KRV derivadas de los datos de consumo de combustible. Con base en el rendimiento promedio (kilómetros/litro) de la flota vehicular y el consumo de combustible en una región determinada, se estiman los kilómetros recorridos por la flota vehicular o, incluso, por tipo de vehículo. De acuerdo al Taller del INE-CTS (2004), el uso de los datos KRV --a partir de modelos de la demanda de recorridos o de estimaciones regionales-- es preferible al uso de los datos de consumo de combustible.

4.4.1 Caracterización vehicular

La caracterización vehicular permite contar con información ordenada y clasificada del parque vehicular, de acuerdo a las necesidades de la metodología a seguir y del modelo MOBILE6.2-México, para la estimación de las emisiones vehiculares. La clasificación más básica utilizada es la de transporte de carga, privado y público (INE-CTS, 2004). Los registros del parque vehicular proporcionados por la fuente requieren de cierto nivel de procesamiento, por errores encontrados y/o por falta de información en campos del registro. Otro aspecto a considerar es la falta del dato correspondiente al peso bruto vehicular en los registros del parque vehicular. Esto último se investigó en la Internet, sobre todo en las hojas técnicas del fabricante del vehículo donde aparecen las características técnicas de la unidad.

4.4.2 Datos de actividad

Para obtener los datos de actividad, se eligió el método de encuesta mediante la aplicación de un cuestionario en estaciones de gasolina. El objetivo de la aplicación del formato de encuesta fue el de obtener información de los usuarios con respecto al gasto por compra de combustible, datos del vehículo (marca, modelo y año), o la lectura de odómetro (la cual presentaba datos no confiables por causas como el no funcionamiento).

De la página web 'Eco-Vehículos, Portal de Indicadores de Eficiencia Energética y Emisiones Vehiculares' (INECC-CONUEE-PROFECO, 2013) se obtuvieron los rendimientos ajustados (kilómetros por litro) para cerca de 45 marcas de vehículos, entre automóviles (subcompactos, compactos, de lujo y deportivos), SUV (Sport Utility Vehicle, por sus siglas en inglés) y camionetas tipo Pick up (pequeña, mediana y grande). Los datos consultados comprenden modelos 2008, 2009, 2010, 2011, 2012 y 2013.

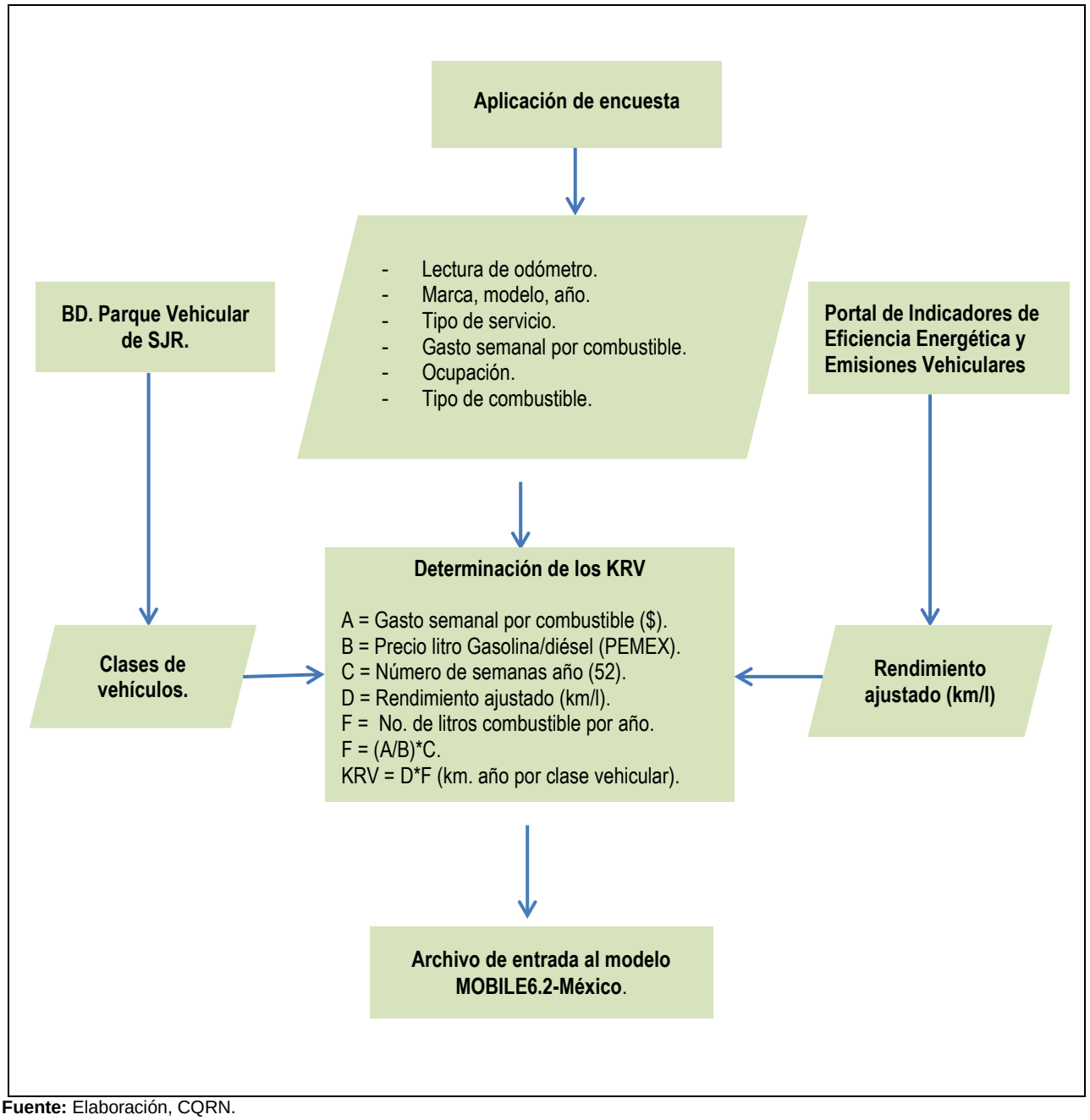
En la **Figura 4.1** se muestra la secuencia para obtener los datos de actividad para las siguientes clases vehiculares:

- Automóviles.

- Camionetas tipo Pick up (chica, mediana y grande).
- Camionetas de pasajeros.
- Vehículos tipo SUV y VAN.
- Camiones de carga.
- Motocicletas.

Para la clase de autobuses urbanos de pasajeros, el dato de los KRV se obtuvo del estudio realizado en el año 2012 por parte del CQRN: *Diagnostico y restructuración del transporte público de pasajeros en la ciudad de San Juan del Río*.

Figura 4.1 Pasos para la obtención de los KRV.



Fuente: Elaboración, CQRN.

4.4.3 Diseño de la encuesta

Se diseñó un cuestionario que se aplicó en una encuesta piloto en la estación de gasolina No. 3332, ubicada sobre la vialidad 'Paseo Central' de la ciudad de San Juan del Río. Una vez analizados los resultados, se hicieron pequeños ajustes al cuestionario definitivo.

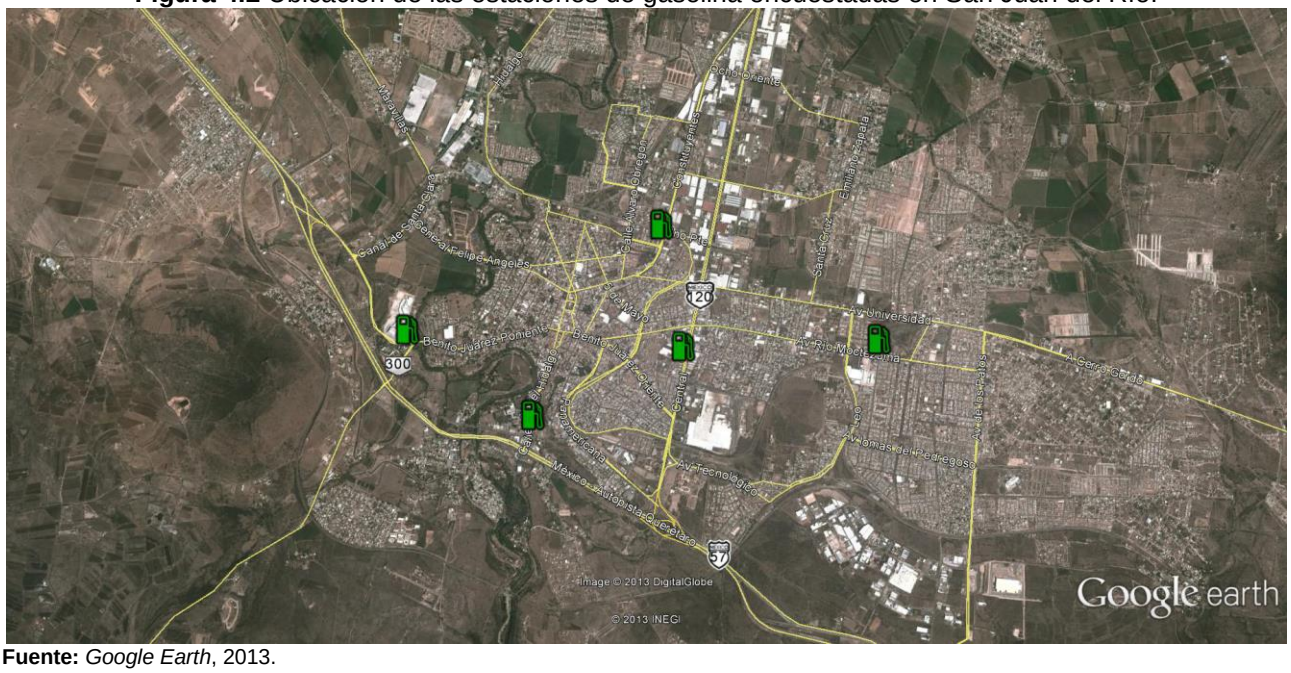
En el **Apéndice C** se presenta el formato del cuestionario.

Se aplicaron 1,437 formatos de encuesta en cinco estaciones de gasolina. Previamente se elaboraron oficios para obtener el permiso de los propietarios o encargados de las respectivas gasolineras, con buena respuesta, en general. La encuesta se llevó a cabo del 12 al 15 de noviembre del año 2012.

Inicialmente se contó con la participación de alumnos de la Universidad Tecnológica de San Juan del Río (UTSJR), previamente capacitados. En la fase intermedia y final, los cuestionarios sólo se aplicaron con personal del Centro Queretano de Recursos Naturales.

La **Figura 4.2** muestra la localización geográfica de las gasolineras que se encuestaron en la ciudad de San Juan del Río.

Figura 4.2 Ubicación de las estaciones de gasolina encuestadas en San Juan del Río.



Fuente: *Google Earth*, 2013.

4.4.4 Estimación de los kilómetros recorridos anuales por clase vehicular

Con datos recabados en las encuestas aplicadas a los usuarios de gasolineras, fue posible estimar --de acuerdo al método antes descrito-- los kilómetros recorridos anuales. La **Tabla 4.3** muestra las clases vehiculares con sus respectivos KRV. Asimismo se muestra el número de encuestas levantadas por clase vehicular.

Tabla 4.3 Kilómetros recorridos por clase vehicular en San Juan del Río.

Clase vehicular	KRV/promedio-año	Núm. de encuestas
Automóvil	20,913	712
Automóvil utilitario	50,252	6
Taxi	79,486	106
Pick up	29,423	299
SUV/VAN	21,784	233
Camioneta de pasajeros	101,693	12
Camión de carga local	72,473	21
Camión de carga federal	151,321	17
Camión de pasajeros	61,560	*CQRN
Motocicleta	14,525	31

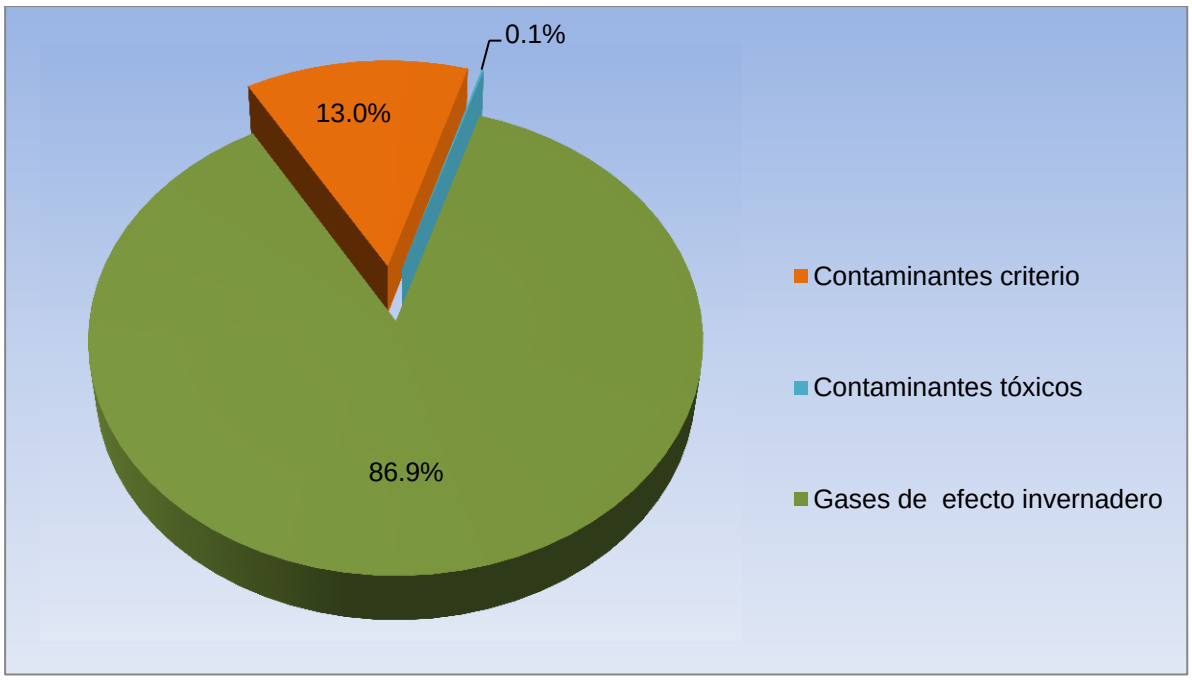
Fuente: Elaboración, CQRN. *Estudio, CQRN 2012.

4.5 Resultados

Las emisiones estimadas por fuentes móviles para el municipio de San Juan del Río fueron de 561,733.45 toneladas-año, de las cuales 72,974.65 ton/año corresponden a contaminantes criterio (CO, SO_2,NO_X, COV, $PM_{10,}$ $PM_{2.5}$, NH_3 y CN), 783.80 ton/año a contaminantes tóxicos (benceno, etilbenceno, tolueno y xileno) y 487,975.00 a gases de efecto invernadero.

La **Figura 4.3** ilustra los porcentajes de emisiones de los tipos de contaminantes.

Figura 4.3 Distribución porcentual por tipo de contaminante.



Fuente: Elaboración, CQRN.

4.5.1 Contaminantes criterio

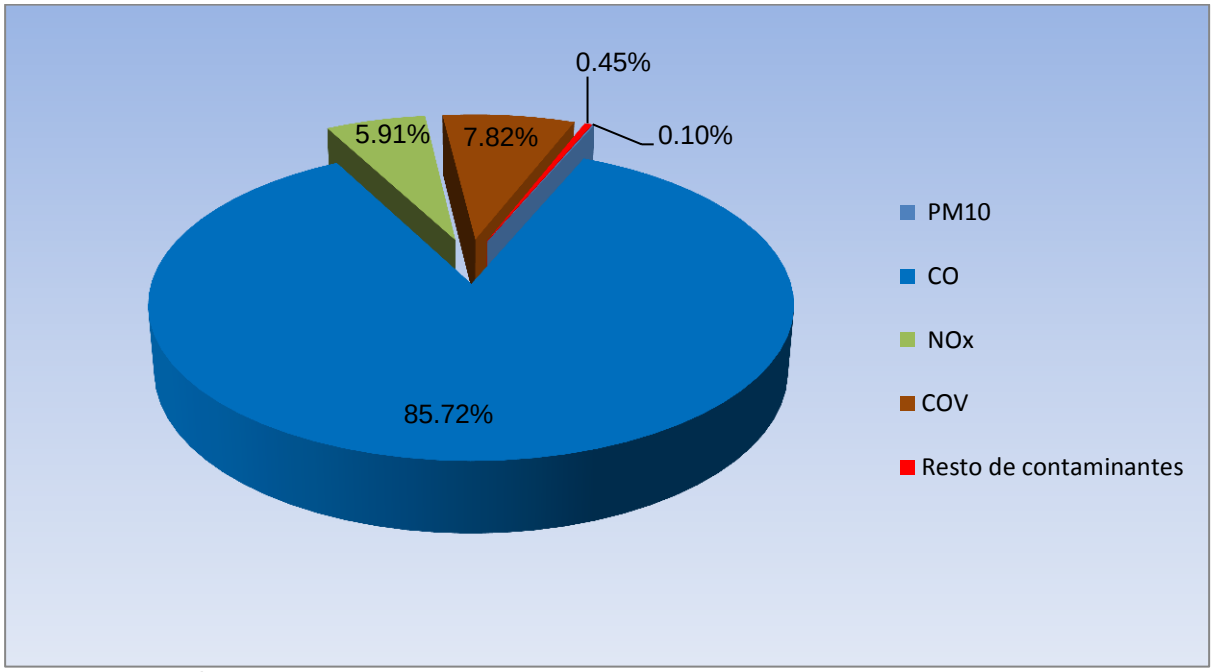
A partir de los factores de emisión por contaminante generados en el modelo MOBILE6.2-México, en la **Tabla 4.4** se muestra la cantidad de contaminantes criterio para cada clase vehicular, y en la **Figura 4.4** la contribución por contaminante.

Tabla 4.4 Contaminantes criterio por clase vehicular.

Clase vehicular	Tipo de contaminante (Ton/Año)							
	PM_{10}	$PM_{2.5}$	SO_2	CO	NO_x	COV	NH_3	CN
Automóviles	11	5	3	12,990	1,042	1,602	1.4	44
SUV´s	4	2	2	6,156	497	632	0.53	17
Taxis	0	0	0	699	79	43	0.05	2
Camionetas de pasajeros	0	0	0	13	1	1	0	0
Microbuses particulares	0	0	0	9	7	6	0.13	0
Pick up´s	12	6	5	27,496	1,221	2,248	1.72	40
Vehículos ≤ 3.8 ton	2	2	1	3,750	155	255	0.43	4
Tractocamiones	10	9	0	310	182	39	6.81	0
Autobuses	2	2	0	307	280	149	0	31
Vehículos > 3 ton.	29	25	1	10,167	827	605	13.49	104
Motocicletas	1	0	0	658	19	129	0.09	0
Total	71	51	12	62,555	4,310	5,709	24.65	242

Fuente: Elaboración, CQRN.

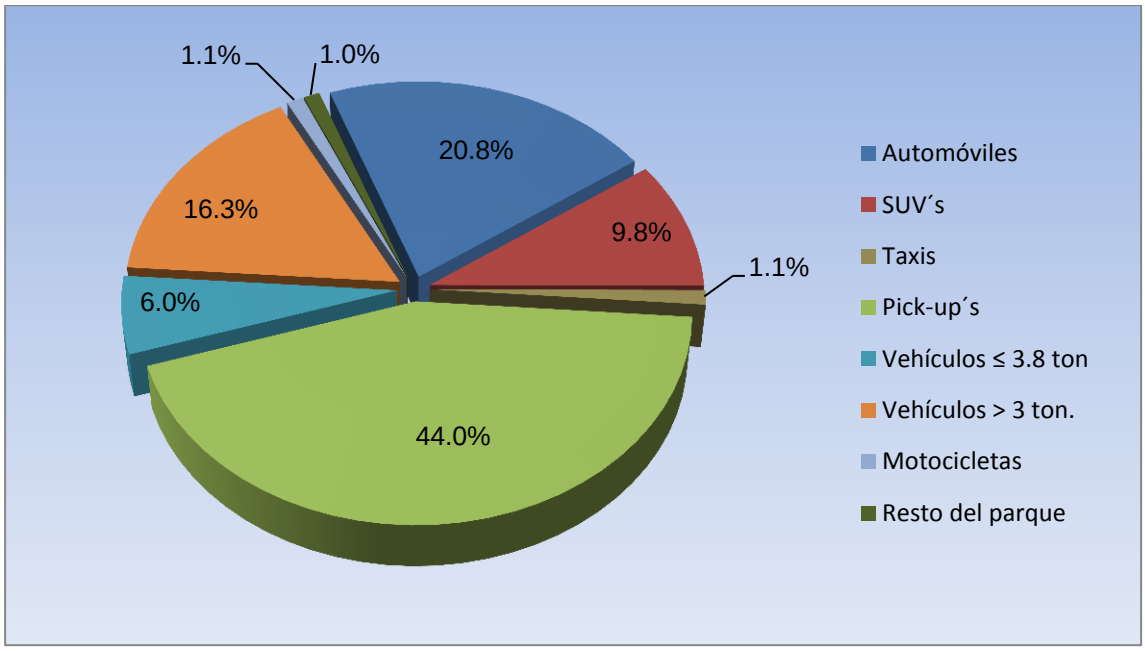
Figura 4.4 Contribución por contaminante.



Fuente: Elaboración, CQRN.

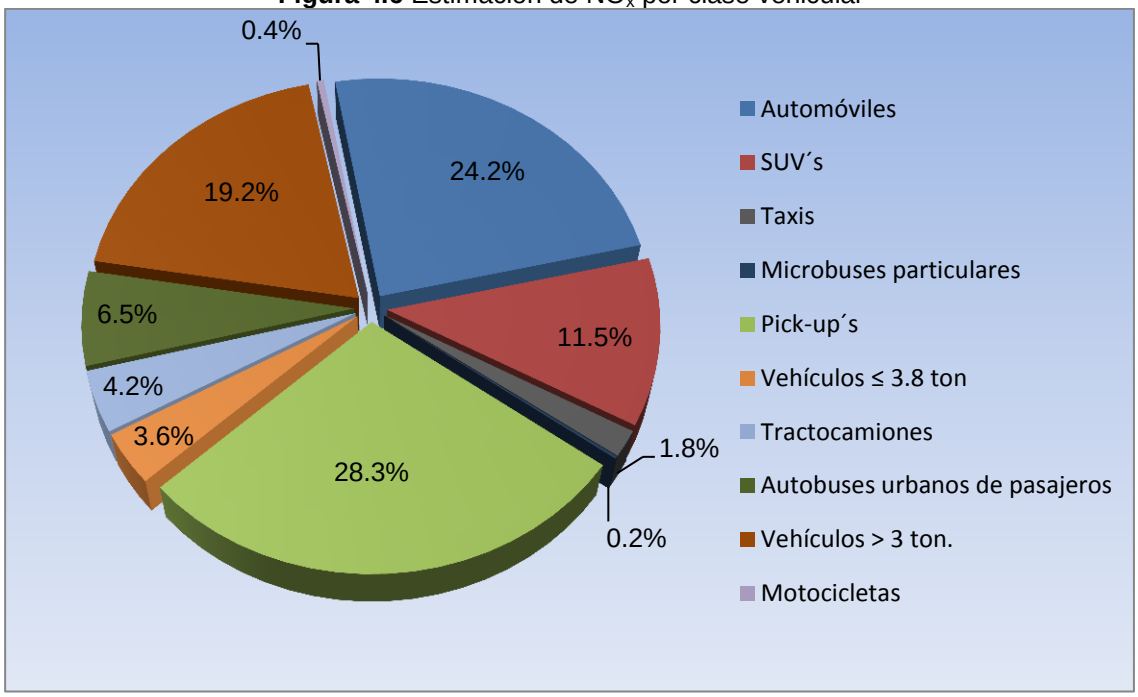
Por lo que se refiere a la contribución de cada contaminante por clase vehicular, las **Figuras 4.5, 4.6, 4.7, 4.8, 4.9, 4.10, 4.11** y **4.12** muestran el porcentaje de aportación del contaminante por clase vehicular.

Figura 4.5 Estimación de CO por clase vehicular.



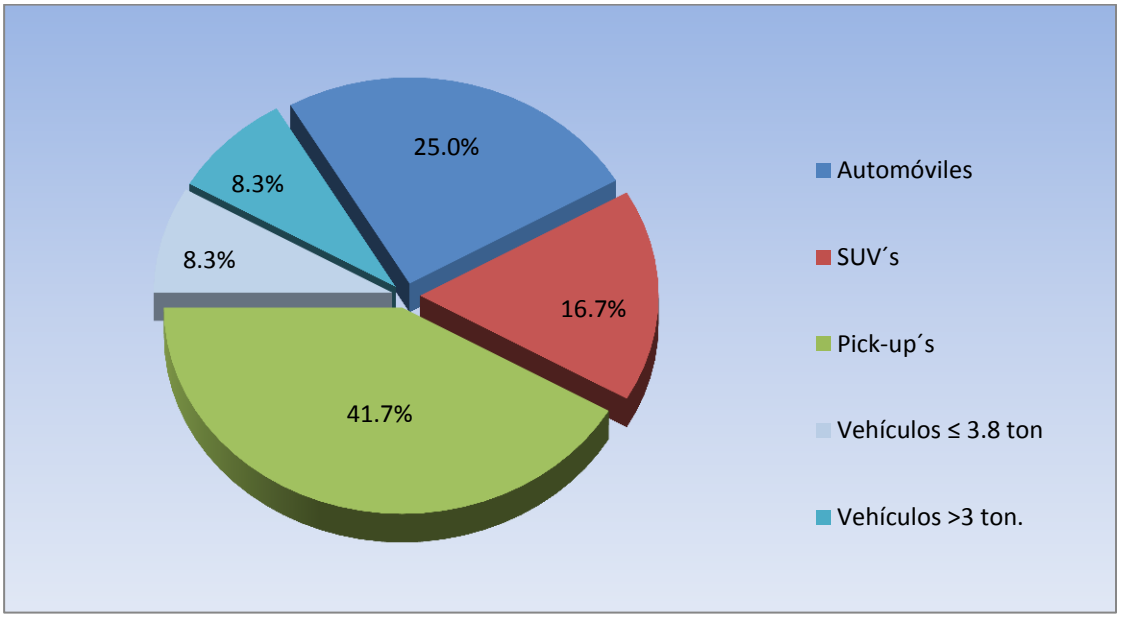
Fuente: Elaboración, CQRN.

Figura 4.6 Estimación de NO_x por clase vehicular



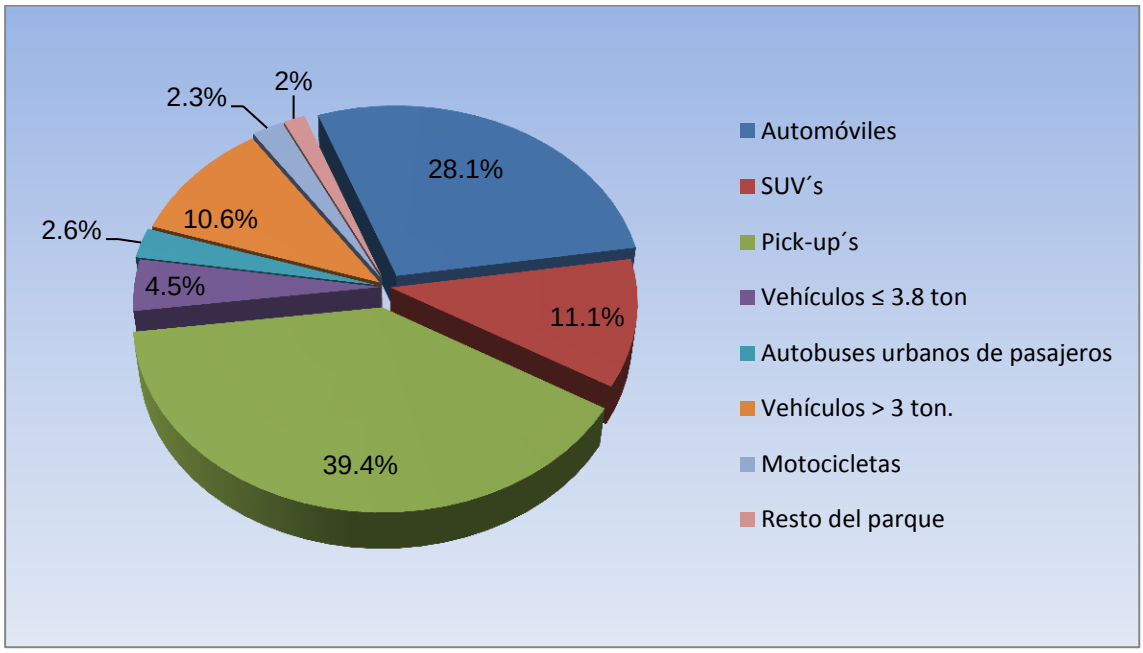
Fuente: Elaboración, CQRN

Figura 4.7 Estimación de SO_2 por clase vehicular.



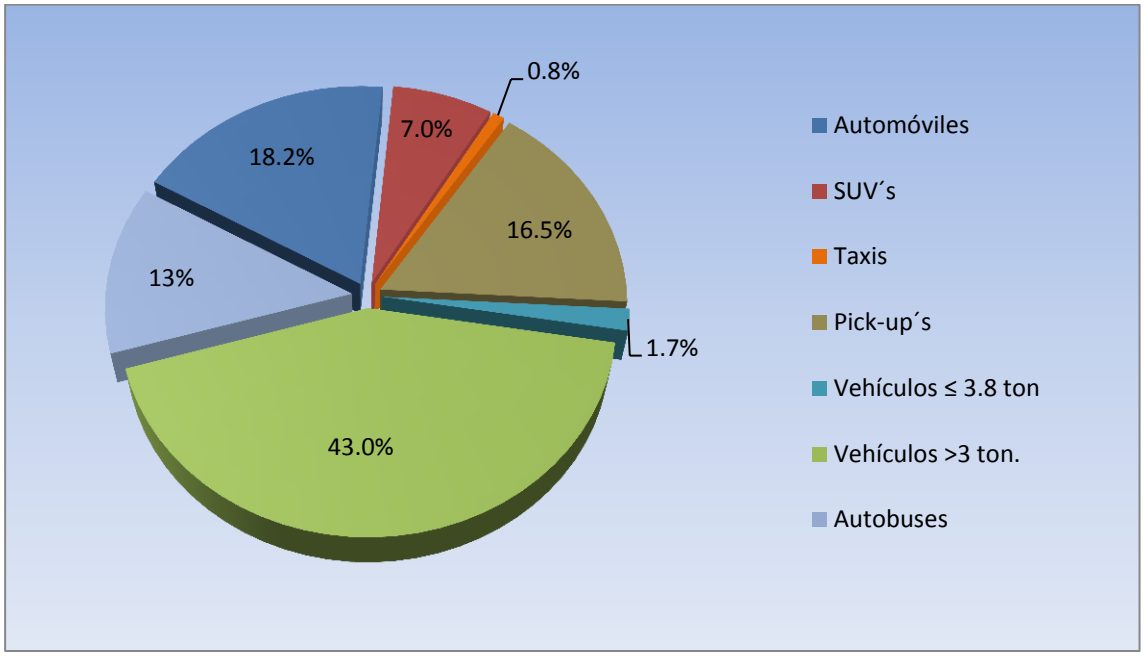
Fuente: Elaboración, CQRN..

Figura 4.8 Estimación de COV por clase vehicular.



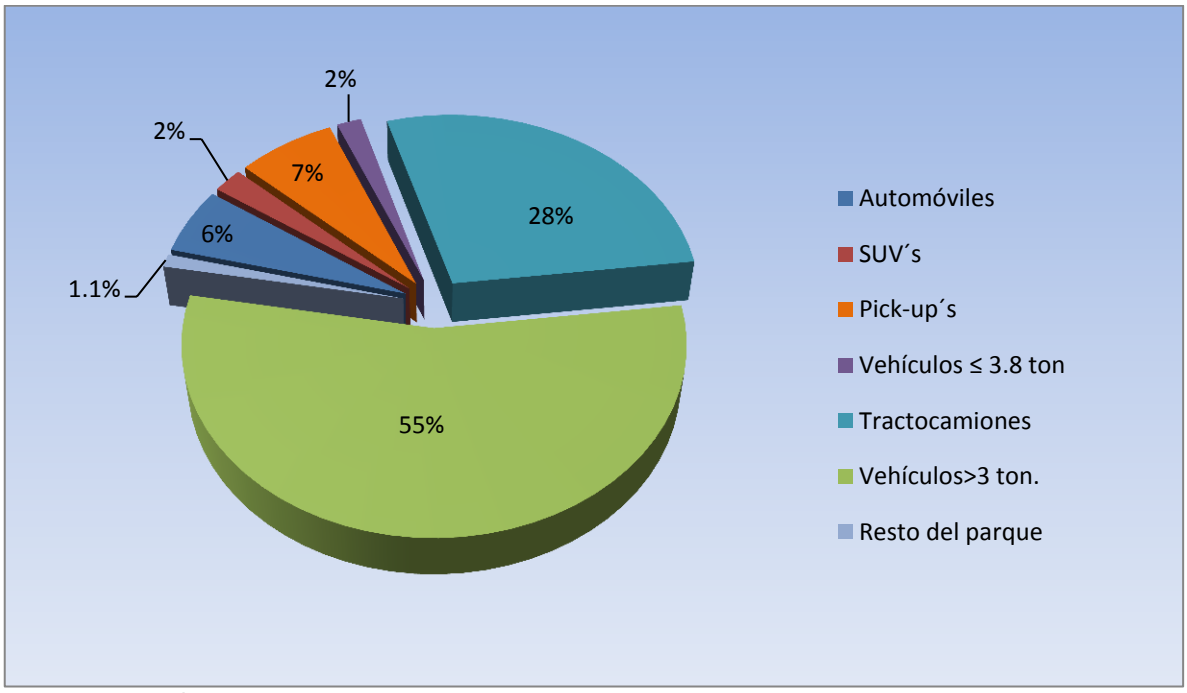
Fuente: Elaboración, CQRN.

Figura 4.9 Estimación de NH_3 por clase vehicular.



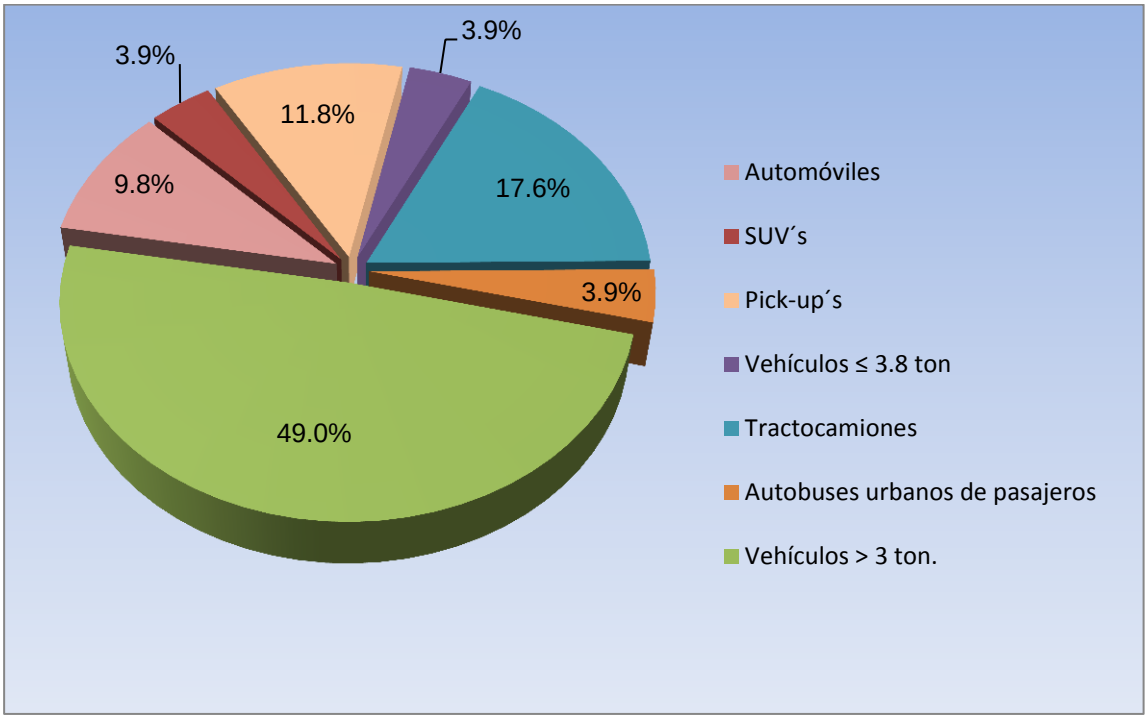
Fuente: Elaboración, CQRN.

Figura 4.10 Estimación de CN por clase vehicular.



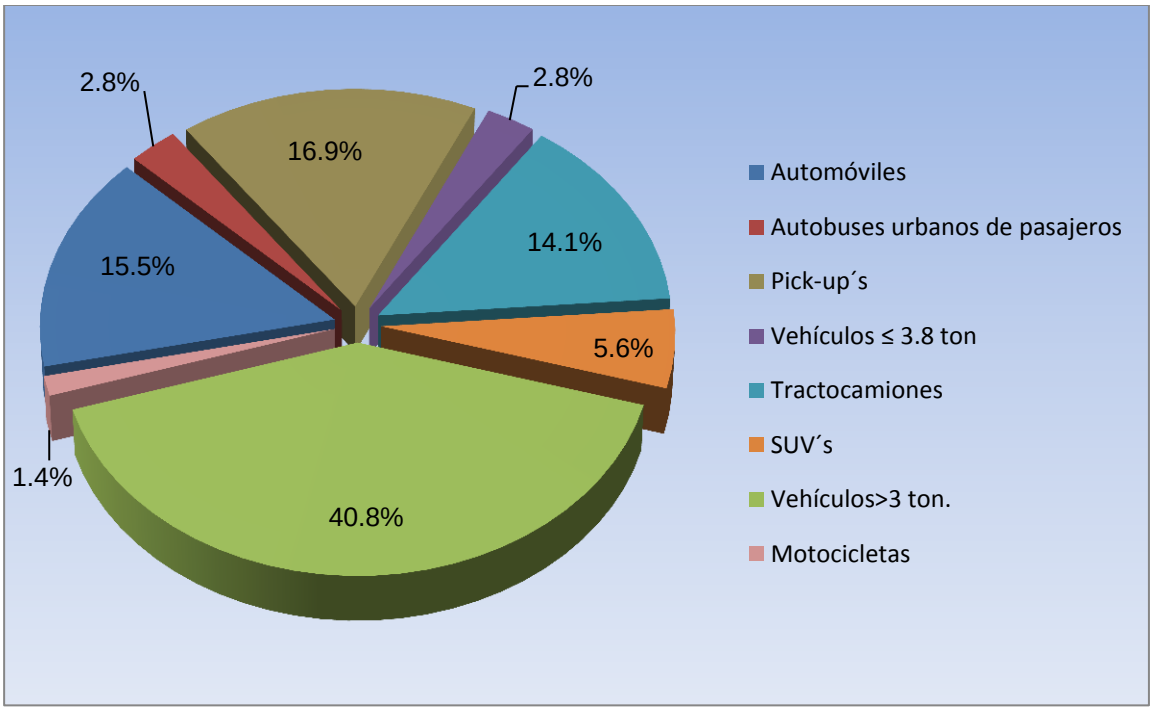
Fuente: Elaboración, CQRN.

Figura 4.11 Estimación de $PM_{2.5}$ por clase vehicular.



Fuente: Elaboración, CQRN.

Figura 4.12 Estimación de PM_{10} por clase vehicular.



Fuente: Elaboración, CQRN.

4.5.2 Contaminantes tóxicos

Las emisiones de contaminantes tóxicos originadas por fuentes móviles, en general pueden dividirse en dos tipos: las provenientes del escape (por combustión) y las evaporativas (del combustible). En el caso de los vehículos que usan gasolina, una parte de los contaminantes tóxicos es emitida por el escape y otra por evaporación. En cambio, en los vehículos que utilizan diesel como combustible, todos los compuestos tóxicos que se emiten son por el escape (SMADF, 2008).

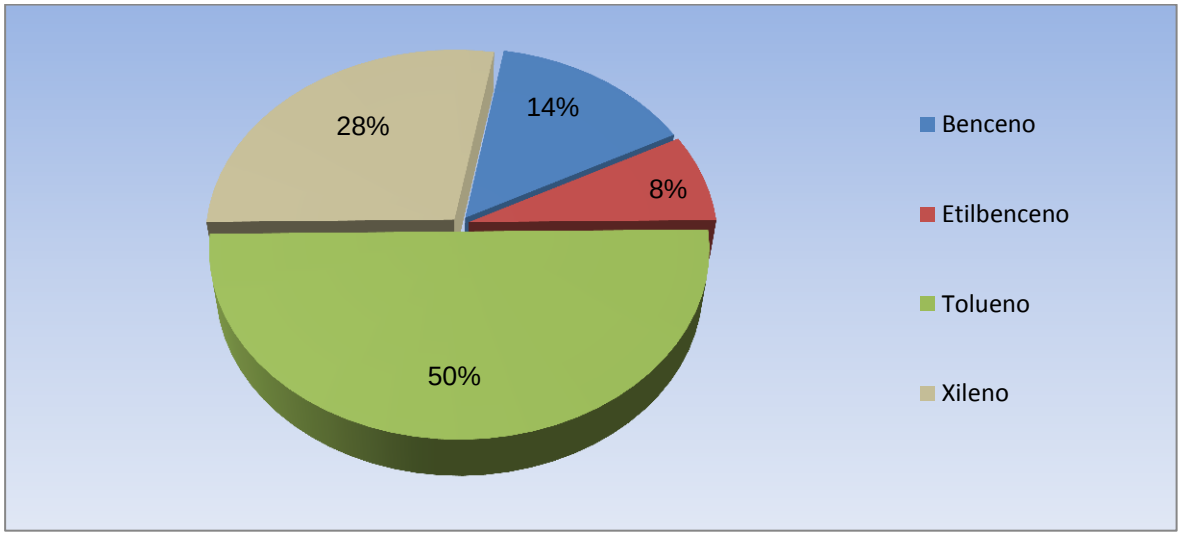
La **Tabla 4.5** muestra la cantidad de contaminantes tóxicos (ton/año) para cada clase vehicular, así como el número de identificación del contaminante. La **Figura 4.13** muestra la contribución por contaminante tóxico.

Tabla 4.5 Principales contaminantes tóxicos por clase vehicular.

Clase vehicular	Benceno	Etilbenceno	Tolueno	Xileno	Total
Autos Particulares	33.989331	18.782354	121.598147	67.693831	242.063662
Taxis	1.358566	0.611598	4.171995	2.339272	8.481430
SUV´s	17.643955	8.876802	58.687769	32.773583	117.982110
Camionetas de pasajeros	0.027241	0.012802	0.086195	0.048260	0.174499
Microbuses particulares	0.066888	0.042044	0.250795	0.145580	0.505307
Pick up´s	47.501339	23.341311	155.071148	86.677761	312.591560
Vehículos < 3 Ton	4.254416	1.935664	12.995203	7.292986	26.478270
Tractocamiones	0.265517	0.048582	0.077758	0.116615	0.508471
Autobuses urbanos de pasajeros	0.793748	0.396406	2.416475	1.443644	5.050273
Vehículos > 3 Ton	5.862195	3.512828	23.574645	13.516467	46.466135
Motocicletas	1.695617	1.827077	12.779761	7.190909	23.493364
Total	113.458813	59.387469	391.709890	219.238909	783.795081

Fuente: Elaboración, CQRN.

Figura 4.13 Contribución por contaminante tóxico.



Fuente: Elaboración, CQRN.

El contaminante tóxico tolueno contribuye en un 50 % de las emisiones totales del parque vehicular, seguido por el xileno (28 %), benceno (14 %) y etilbenceno (8 %).

4.5.3 Gases de efecto invernadero (GEI)

La **Tabla 4.6** muestra los gases de efecto invernadero emitidos por el parque vehicular de San Juan del Río.

Tabla 4.6 Gases de efecto invernadero (GEI).

Clase vehicular	CH_4	N_2O	CH_4+cold	CH_4_tot	CO_2	Total
Autos Particulares	34	13	34	34	133,450	133,565
SUV´s	10	8	10	10	68,151	68,189
Taxis	1	0	1	1	4,131	4,134
Camionetas de pasajeros	0	0	0	0	272	272
Microbuses particulares	0	0	0	0	847	847
Pick up´s	39	14	39	39	185,491	185,622
Vehículos < 3.8 Ton.	3	1	3	3	16,634	16,644
Tractocamiones	0	0	0	0	11,447	11,447
Autobuses urbanos de pasajeros	0	0	0	0	19,663	19,663
Vehículos > 3 Ton.	3	1	3	3	46,926	46,936
Motocicletas	1	0	1	1	653	656
Total	91	37	91	91	487,665	487,975

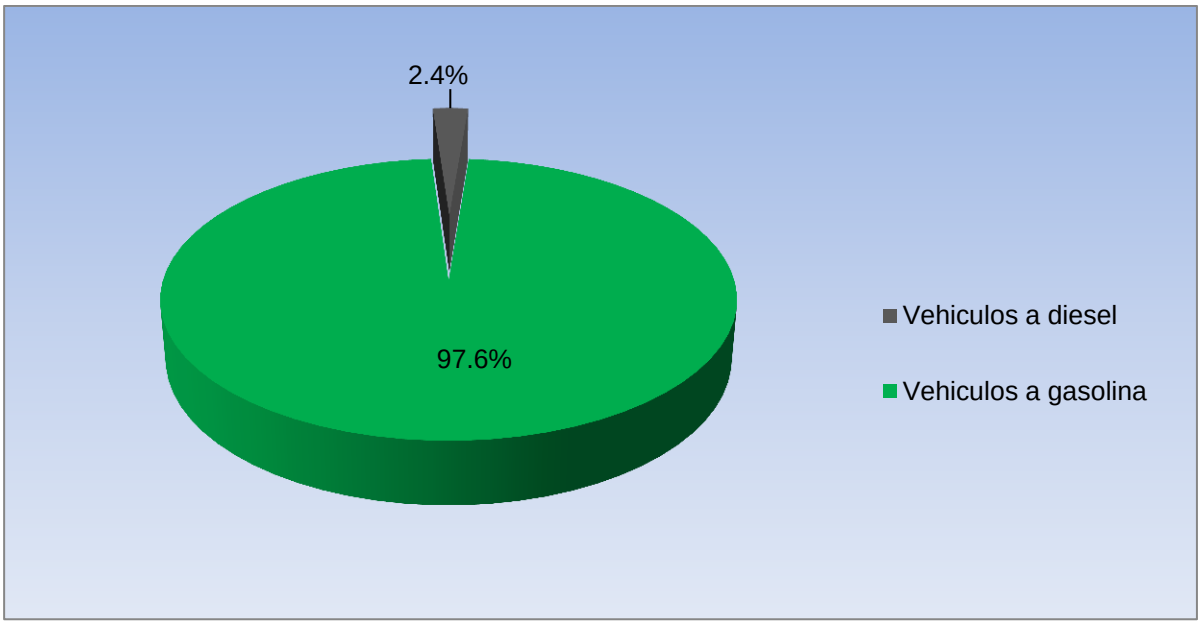
Fuente: Elaboración, CQRN.

El bióxido de carbono (CO_2) es el principal contribuyente de emisiones del parque vehicular de gases de efecto invernadero, con 99.94 % y sólo 0.06 % lo aportan los gases metanos y el óxido nitroso.

4.6 Análisis de resultados

El parque vehicular analizado en San Juan del Río consta de 72,981 vehículos, de los cuales la composición en cuanto al tipo de combustible utilizado se muestra en la **Figura 4.14,** donde el 97.6 % de los vehículos registrados usan gasolina y sólo 2.4 % diesel. La distribución, de acuerdo a la edad del parque vehicular registrado para el municipio de San Juan del Río, se muestra en la **Figura 4.15**.

Figura 4.14 Combustible utilizado por vehículos en San Juan del Río.



Fuente: Elaboración, CQRN con datos de la Secretaria de Planeación y Finanzas del Estado de Querétaro.

Figura 4.15 Edad del parque vehicular en San Juan del Río.

Fuente: Elaboración, CQRN, con datos de la Secretaria de Planeación y Finanzas del Estado de Querétaro.

De los vehículos a gasolina (69,182), 29.1% son modelo 1990 y de años anteriores, por lo que no cuentan con un sistema de control de emisiones. El 8 % son modelo 1991-1992 y cuentan con convertidor catalítico de dos vías, que reduce las emisiones de COV y CO. El 62.9 % restante del parque vehicular corresponde a 1993 y años posteriores, por lo que cuentan con convertidores catalíticos de tres vías que permiten reducir las emisiones de COV, NOx y CO.

Cabe señalar que durante la encuesta aplicada en estaciones de gasolina, se observó la circulación de vehículos con placa extranjera, en su mayoría tipo Pick up (de los llamados 'chocolates'). Debido a la falta de registros, quedan excluidos del estudio.

En México la importación desmedida de vehículos usados, con una antigüedad mayor a los 10 años, un promedio de 160,000 kilómetros recorridos, con motores grandes y sin una prueba de verificación vehicular antes de ser importados, puede ocasionar serios problemas ambientales tanto por la emisión de contaminantes criterio (hidrocarburos, monóxido de carbono y óxidos de nitrógeno) como por la emisión de gases de efecto invernadero (dióxido de carbono, metano y óxido nitroso). (SEMARNAT, 2008.)

Los resultados muestran que las clases de vehículos que contribuyen a una mayor emisión de contaminantes, son los automóviles, SUV´s, y pick up´s con el 74.1 % de la emisión total de contaminantes criterio, 85.8 % de contaminantes tóxicos y 79.4 % de gases de efecto invernadero.

Análisis comparativo

Se realizó una comparación de los resultados obtenidos en este estudio, con los resultados del estudio realizado en el año 2009 por el IMT en la ciudad de Uruapan, dado que en ambas ciudades se aplicó el Modelo MOBILE6.2-México. La información de cada ciudad se resume en la **Tabla 4.7**

Tabla 4.7 Comparativo de datos y parámetros de entrada al MOBILE6.2-México.

	Cd. Uruapan (2009)	Cd. SJR (2011)
Parque vehicular registrado	72,053 vehículos	72,981 vehículos
Altitud	2 (alta)	2 (alta)
Temperatura	Máx. 27°C-Mín. 7.7°C	Máx. 26.5°C-Mín. 9.98°C
Velocidad promedio	36 km/hr	35 km/hr
PVR	9.65	9.65
Total de emisiones – contaminantes criterio. (toneladas)	45,392.392	72,974.7

Fuente: Elaboración, CQRN, con datos del IMT, 2009.

En la tabla anterior se observan valores de entrada al modelo MOBILE6.2-México muy similares en ambas ciudades. No obstante, difieren en el total de emisiones (toneladas) debido a la actividad vehicular en cada ciudad. Por ejemplo, los KRV para los autos particulares en la ciudad de Uruapan registraron 15,142 km/año (IMT, 2009), mientras que en la ciudad de San Juan del Río 20,913 km/año promedio de recorrido. De modo similar para las camionetas tipo Pick up, en la ciudad de Uruapan se registraron 23,017 km/año de recorrido, y para la misma clase vehicular en San Juan del Río 29,923 km/año.

5. CONCLUSIONES

Para la estimación de las emisiones atmosféricas producidas por los vehículos automotores, actualmente se requiere el uso de modelos computarizados debido al gran número de variables que intervienen en el proceso de combustión como resultado de la actividad vehicular. En particular, el modelo MOBILE6.2-México desarrollado por la EPA y adaptado con características para el parque automotor de México, se emplea para el desarrollo de inventarios de emisiones en varias ciudades de la República mexicana.

De acuerdo con los resultados obtenidos, puede concluirse que la distribución por tipo de contaminante fue de 86.9 % correspondiente a gases de efecto invernadero, 13.0 % a contaminantes tipo criterio y sólo 0.1 % de contaminantes tóxicos.

Respecto a los contaminantes criterio, el CO (monóxido de carbono) representó el de mayor emisión, con 85.7 % del total, seguido de los COV (compuestos orgánicos volátiles) con 7.8 %, el 5.9 % de NO_x (óxidos de nitrógeno), y el resto (0.55 %) lo conforman los demás contaminantes.

Referente a los contaminantes CO y COV, la clase vehicular Pick up registró la mayor emisión con 44 % y 39.4 %, seguido de la clase automóviles, con el 20.8 % y 28.1 %, respectivamente. El comportamiento de estos valores guarda una relación de proporcionalidad inversa al número de vehículos registrados por cada clase vehicular respectiva.

En cuanto al tipo de contaminante NO_x, la clase Pick up registro 28.3 %, seguido de la clase de automóvil (24.2 %), y el resto (47.5 %) lo conforman las demás clases vehiculares.

Para los contaminantes $PM_{2.5}$, PM_{10}, NH_3 y CN la clase de vehículos pesados (mayores a 3 toneladas), registra los mayores porcentajes debido al uso de combustible diesel.

En cuanto a las emisiones por gases tóxicos emitidos por el parque vehicular, el tolueno contribuye en un 50 % del total de emisiones, seguido por el xileno (28%), el benceno (14.5%) y el etlilbenceno (7.6%).

El bióxido de carbono (CO_2) es el principal contribuyente de emisiones del parque vehicular de gases de efecto invernadero con un 99.94 %, y sólo 0.06 % lo aportan los gases metanos y el óxido nitroso.

Es relevante mencionar que derivado de la encuesta aplicada para la estimación de los kilómetros recorridos anuales por clase vehicular, se observó que en promedio el 12.86% del total de encuestas se aplicó a conductores que circulaban en vehículos que portaban placas foráneas y manifestaron residir en el municipio sin que el vehículo contara con registro formal en el padrón estatal. Lo anterior implica que el cálculo de las emisiones se encuentra subestimado, toda vez que para el cálculo de las emisiones se consideraron solamente los registros vehiculares existentes en la base de datos de la Secretaría de Planeación y Finanzas del estado.

Una medida efectiva para mitigar los efectos de la contaminación por vehículos automotores en el presente y a futuro, es el programa de verificación vehicular. La consolidación y fortalecimiento por parte de las autoridades competentes, y una cultura ambiental por parte de la población, contribuirán a mejorar la calidad de vida.

REFERENCIAS

CEA (2013).Red de estaciones meteorológicas. Comisión Estatal de Aguas Querétaro. En línea: *http://www.ceaqueretaro.gob.mx/pronostico_estaciones.aspx?q=Z0emFPPZPTLQNcuayDYOCN32zh9ue7k1rEDa2ZrnAyA=*

CQRN (2006). Estimación de la demanda de transporte en la ciudad de San Juan del Río. Centro Queretano de Recursos Naturales. Reporte Técnico Núm. 11. Querétaro, Qro.

CQRN (2007). Medición y análisis del volumen de tránsito en las principales vialidades de la ciudad de San Juan del Río. Centro Queretano de Recursos Naturales. Reporte Técnico Núm. 13. Querétaro, Qro.

CQRN (2011). Diagnóstico ambiental integral de la ciudad de San Juan del Río, Querétaro. Centro Queretano de Recursos Naturales. Reporte Técnico Núm. 17. Querétaro, Qro.

CQRN (2012).Reporte final. Fideicomiso Fondo Mixto CONACYT-Gobierno del Estado de Querétaro. Diagnóstico y propuesta de reestructuración del transporte público urbano en la ciudad de San Juan del Río. Centro Queretano de Recursos Naturales. Querétaro, Qro.

IEEG (2007). Inventario de Emisiones Guanajuato 2006. Instituto de Ecología del Estado de Guanajuato. León, Gto. En línea: *http://ecologia.guanajuato.gob.mx/documentos/inventario_emisiones_2006.pdf*.

IMT (2009). Propuesta metodológica para la estimación de emisiones vehiculares en ciudades de la República Mexicana. Instituto Mexicano del Transporte. Publicación Técnica Núm. 322. Sanfandila, Pedro Escobedo, Qro.

INEGI (2001).Anuario Estadístico Querétaro de Arteaga. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Aguascalientes, Ags.

INEGI (2005). Anuario Estadístico Querétaro de Arteaga. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Aguascalientes, Ags.

INEGI (2005a). Censos Económicos 2004. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. En línea: *http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/ce/ce2004/default.aspx*. Aguascalientes, Ags.

INEGI (2005b). II Conteo de Población y Vivienda 2005. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Aguascalientes, Ags.
En línea: *http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/ccpv/cpv2005/Default.aspx*

INEGI (2006). Anuario Estadístico Querétaro de Arteaga. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Aguascalientes, Ags.

INEGI (2007). Anuario Estadístico Querétaro de Arteaga. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Aguascalientes, Ags.

INEGI (2008). Anuario Estadístico Querétaro. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Aguascalientes, Ags.

INEGI (2009). Anuario Estadístico Querétaro de Arteaga. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Aguascalientes, Ags.

INEGI (2009a). Censos Económicos 2008. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. En Línea: *http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/espanol/proyectos/censos/ce2009/default.asp?s=est&c=14220*.
Aguascalientes, Ags.

INEGI (2010). Anuario Estadístico Querétaro de Arteaga. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Aguascalientes, Ags.

INEGI (2010a). XIII Censo de Población y Vivienda. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Aguascalientes, Ags.
En línea: *http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/ccpv/cpv2010/Default.aspx*

INEGI (2011). Anuario Estadístico Querétaro de Arteaga. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Aguascalientes, Ags.

INEGI (2012). Anuario Estadístico Querétaro de Arteaga. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Aguascalientes, Ags.

INE-CTS (2004). Memorias y conclusiones del taller sobre emisiones vehiculares en México. Instituto Nacional de Ecología-Centro de Transporte Sustentable. México, D.F. En línea: http://*www.ine.gob.mx/dgicurg/calaire/download/memorias_final_taller.pdf*

INE-SEMARNAT (2006). Inventario nacional de emisiones de México 1999. Instituto Nacional de Ecología-Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales. México, D.F. En línea: *http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/download/491.pdf*

INE-SEMARNAT (2009). Guía metodológica para la estimación de emisiones vehiculares en ciudades mexicanas. Instituto Nacional de Ecología-Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales. México, D. F. En línea:
http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/descarga.html?cv_pub=618&tipo_file=pdf&filename=618

INE-SEMARNAT-PROFECO (2013). Portal de Indicadores de Eficiencia Energética y Emisiones Vehiculares. Instituto Nacional de Ecología-Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales-Procuraduría Federal del Consumidor. México, D.F.
En línea: *http://www.ecovehiculos.gob.mx/*

Secretaría de Planeación y Finanzas del Estado de Querétaro (2012). Parque vehicular registrado en el municipio de San Juan del Río, Querétaro.

SEMARNAT (2008). Importación definitiva de vehículos usados. Consecuencia e impactos ambientales. Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales. México, D.F.

SMADF (2008). Inventario de emisiones de contaminantes tóxicos de la zona metropolitana del Valle de México. Secretaria del Medio Ambiente del Distrito Federal. México, D.F. En línea: *http://www.sma.df.gob.mx/sma/links/download/biblioteca/2008ie_toxicos/2008ie_toxicos.pdf*

USEPA (2013). Manuales del Programa de Inventarios de Emisiones de México. Volumen VI. Desarrollo de inventarios de emisiones de vehículos automotores. United States Environmental Protection Agency. En línea: *http://www.epa.gov/ttn/catc/dir1/vehicul6.pdf*.

USEPA (2013a). Modelo MOBILE6.2. United States Environmental Protection Agency. En línea: *http://www.epa.gov/otaq/m6.htm*

Apéndice A

Descripción del modelo MOBILE6.2-México

El modelo MOBILE está conformado 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 (NO_x) 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 A.1**.

Tabla A.1 Definición de hidrocarburos.

	Compuestos incluidos en los factores de emisión de hidrocarburos			
	DIF[a]	Metano	Etano	Aldehídos
Hidrocarburos Totales (HCT)	✓	✓	✓	
Hidrocarburos No Metánicos (HCNM)	✓		✓	
Compuestos Orgánicos Volátiles (COV)	✓			✓
Gases Orgánicos Totales (GOT)	✓	✓	✓	✓
Gases Orgánicos No Metánicos (GONM)	✓		✓	✓

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

La primera generación del modelo MOBILE fue creada a mediados de los años 70 del siglo XX, 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.

Una versión del MOBILE6.2 fue lanzada en febrero del año 2004 y puede generar factores de emisión de vehículos en circulación de VOC, NO_x, CO, PM_{10} y $PM_{2.5}$ primario, SO_2, y NH_3 para cada una de las categorías de vehículos. Las emisiones pueden ser agregadas a la flota total de vehículos, o calculadas para una clase específica de vehículos.

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

Los modelos modificados para la Ciudad de México (MOBILE-MCMA) y Monterrey (MOBILE-MMAp) 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 un vehículo mexicano ligero a gasolina (LDGV) modelo 1994 sería equivalente a un LDGV estadounidense modelo 1988.

Descripción teórica del modelo

La meta del modelo MOBILE consiste en calcular un factor de emisión promedio para cada tipo de vehículo, estimando, al mismo tiempo, los factores de emisión para hidrocarburos, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, compuestos orgánicos totales, material particulado y SO_2, seis contaminantes tóxicos (HAP's) y dióxido de carbono (CO_2). Todo esto para 28 categorías vehiculares (**Tabla A.2**).

La descripción teórica del modelo es tomada del *Manual de programa de inventarios de emisiones de México*, Vol. VI, 'Desarrollo de inventarios de misiones de vehículos automotores' (USEPA, 2013), y de la publicación técnica Núm. 322 del Instituto Mexicano del Transporte (IMT, 2009).

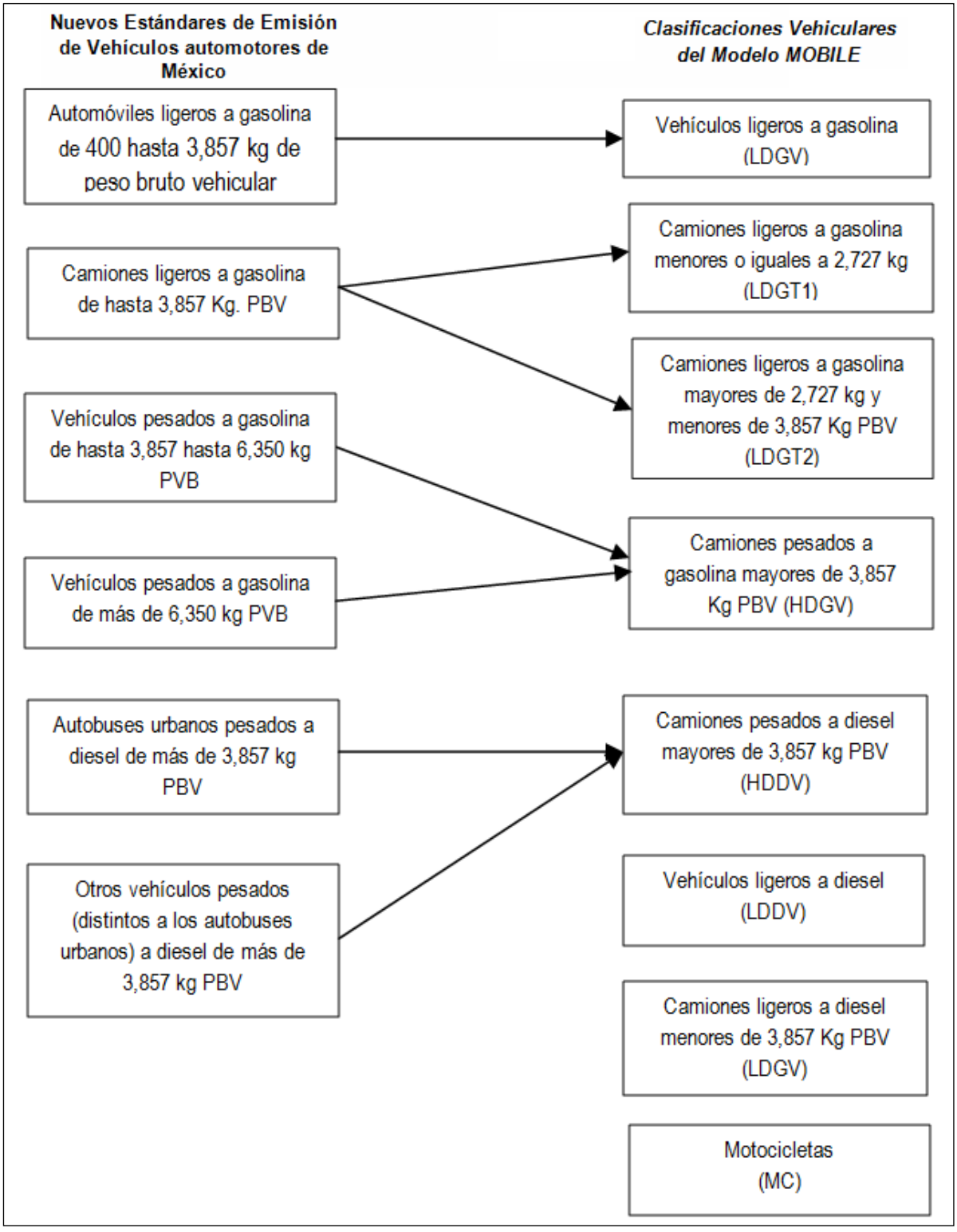
La clasificación de la **Tabla A.2** proporciona información considerablemente detallada sobre el registro de las emisiones para las 28 clases vehiculares, pero esto puede representar grandes retos para el manejo de datos. Por tanto, el INE decidió agregar los resultados de las emisiones de vehículos en las siguientes siete clases, que se esquematizan en la **Figura A.1**.

Tabla A.2 Clasificación vehicular del MOBILE6.

No.	Abreviación	Descripción
1	LDGV	Vehículos ligeros a gasolina (autos de pasajeros).
2	LDGT1	Camiones ligeros a gasolina 1 (PBV* de 0 a 2,722 kg; PP**de 0 a 1,701 kg).
3	LDGT2	Camiones ligeros a gasolina 2 (PBV de 0 a 2,722 kg; PP de 1,701 a 2,608 kg).
4	LDGT3	Camiones ligeros a gasolina 3 (PBV de 2,722 a 3,856 kg; PPA*** de 0 a 2,608 kg).
5	LDGT4	Camiones ligeros a gasolina 4 (PBV de 2,722 a 3,856 kg; PPA de 2,609 kg y mayores).
6	HDGV2B	Vehículos pesados a gasolina clase 2b (PBV de 3,856 a 4,536 kg).
7	HDGV3	Vehículos pesados a gasolina clase 3 (PBV de 4,536 a 6,350 kg).
8	HDGV4	Vehículos pesados a gasolina clase 4 (PBV de 6,350 a 7,258 kg).
9	HDGV5	Vehículos pesados a gasolina clase 5 (PBV de 7,258 a 8,845 kg).
10	HDGV6	Vehículos pesados a gasolina clase 6 (PBV de 8,845 a 11,794 kg).
11	HDGV7	Vehículos pesados a gasolina clase 7 (PBV de 11,794 a 14,969 kg).
12	HDV8A	Vehículos pesados a gasolina clase 8a (PBV de 14,969 a 27,216 kg).
13	HDV8B	Vehículos pesados a gasolina clase 8b (PBV mayor a 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 de 4,536 a 6,350 kg).
18	HDDV4	Vehículos pesados a diesel clase 4 (PBV de 6,350 a 7,258 kg).
19	HDDV5	Vehículos pesados a diesel clase 5 (PBV de 7,258 a 8,845 kg).
20	HDGV6	Vehículos pesados a diesel clase 6 (PBV de 8,845 a 11,794 kg).
21	HDGV7	Vehículos pesados a diesel clase 7 (PBV de 11,794 a 14,969 kg).
22	HDDV8A	Vehículos pesados a diesel clase 8a (PBV de 14,969 a 27,216 kg).
23	HDDV8B	Vehículos pesados a diesel clase 8b (PBV mayor a 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 de 2,722 a 3856 kg).

Fuente: Con modificaciones, CQRN, tomada de IMT (2009).
*PBV–Peso Bruto Vehicular; ** PP–Peso de prueba; ***PPA–Peso de prueba alternativo.

Figura A.1 Correspondencia de los nuevos estándares de emisión de México con las clases vehiculares del modelo MOBILE.



Fuente: (USEPA, 2013).

En los modelos MOBILE la meta final consiste en calcular un factor de emisión promedio para cada tipo de vehículo. El modelo utiliza ecuaciones básicas para el cálculo de tasas básicas de

emisión promedio (TBEs) para cada tipo de vehículo, modelo y año, es el primer paso para estimar los factores de emisión de vehículos automotores. Estas ecuaciones teóricas 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 TBEs son los datos sobre las emisiones de vehículos en uso obtenidos en condiciones de prueba normalizadas (i. e., temperatura, características del combustible y ciclos de manejo normalizados). Ahora bien, las emisiones varían con la edad del vehículo, de modo que es posible aplicar regresiones lineales que relacionan los datos de las emisiones con las lecturas del odómetro. Estas regresiones dan como resultado ecuaciones TBEs 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.

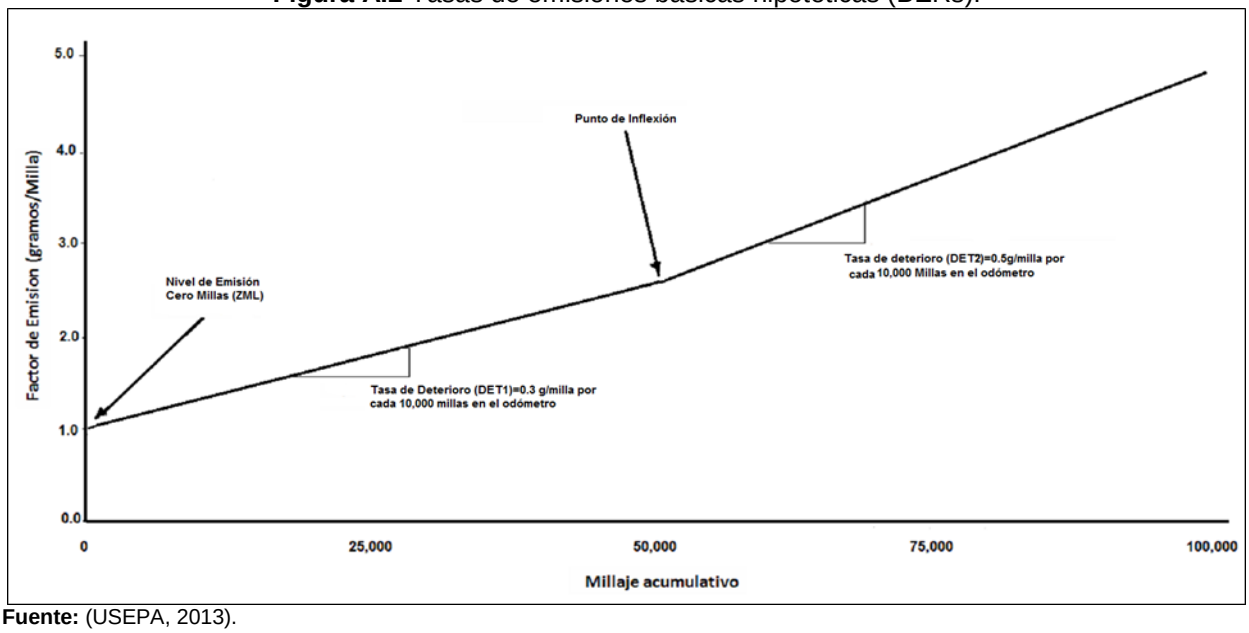
El modelo MOBILE usa dos ecuaciones TBEs para describir las diferentes tasas de deterioro en diferentes regímenes de kilometraje (millaje) para los LDGV y los camiones ligeros a gasolina nuevos.

Estas dos ecuaciones TBE hipotéticas han sido graficadas en la **Figura A.2**, donde aparecen el nivel de emisión 'cero millas' y las dos tasas de deterioro. Un punto de inflexión hipotético a las 50,000 millas puede observarse claramente en el momento en que los vehículos pasan de una tasa de deterioro a otra. En realidad, los datos de la prueba de emisiones de los vehículos en uso podrían ser no lineales en extremo.

El modelo MOBILE emplea una o dos ecuaciones TBEs para mantener el volumen de los cálculos en un nivel manejable. Dependiendo de la distribución de los datos de emisión en los diferentes conjuntos de datos, las ecuaciones TBEs y los puntos de inflexión resultantes podrían variar significativamente. El punto de inflexión de 50,000 millas en el modelo MOBILE ha sido adoptado por convención para los vehículos y camiones ligeros a gasolina. 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, debido a que, más bien, representan las emisiones medidas en condiciones de prueba sumamente controladas. Para reconciliar las diferencias existentes entre las emisiones de prueba y las reales, deben aplicarse diversos factores de ajuste a las emisiones reales. Así, a partir de la TBE es posible calcular un factor de emisión básico (BEF) para cada tipo de vehículo, modelo y año.

Figura A.2 Tasas de emisiones básicas hipotéticas (BERs).



Fuente: (USEPA, 2013).

El MOBILE6 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 MOBILE6 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.

Apéndice B
Programa de entrada al MOBILE6

Al inicio de una corrida del MOBILE6, al usuario se le pedirá que introduzca el nombre de un archivo de entrada MOBILE6. El usuario puede introducir un nombre de ruta del directorio DOS seguido de un nombre de archivo. El archivo de entrada puede estar localizado en el mismo directorio que el ejecutable de MOBILE6.

1. Archivo de Entrada:
   Nombre_Archivo.IN

   - Para poder editar este programa IN es recomendable utilizar el blog de notas, para poder editar el programa.
   - En este archivo contiene los comandos necesarios para poder generar los resultados el modelo de MOBILE6.

Hay tres tipos de archivos de entrada para MOBILE6: Comandos de entrada, archivos lote y archivos externos. Comandos de entrada son utilizados por el usuario para especificar qué resultados desea obtener de MOBILE6. Los archivos externos se asocian con un comando específico.

La estructura general de un archivo de entrada de comandos de MOBILE6 es la siguiente:

- **Header section**
  - Primera corrida. Sección de datos.
    - Primer escenario. Sección de datos.
    - Segundo escenario. Sección de datos.
      .
      .
    - Último escenario: Sección de datos.
  - Segunda corrida. Sección de datos.
    - Primer escenario. Sección de datos.
    - Segundo escenario. Sección de datos.
      .
      .
    - Último escenario: Sección de datos.
  - Última corrida. Sección de datos.
    - Primer escenario. Sección de datos.
    - Segundo escenario. Sección de datos.
      .
      .
    - Último escenario: Sección de datos.

La sección de encabezado (Header Section) controla los comandos de entrada (input), salida (output) y ejecución de programa la producción, y la ejecución del programa. Los datos sumnistrados en esta sección aplican para todas las corridas y escenarios descritos en el

comando Input file (archivo de entrada). El comando Data Run indica el final de la sección de encabezado del comando input file.

La sección de ejecución (Run section), permite al usuario definir valores de los parámetros de acuerdo a región de estudio.

La sección de escenario (Scenario section) detalla los escenarios individuales para las que los factores de emisión se han de calcularse.

1.1 Comandos MOBILE6 para el archivo de entrada (SJR.IN)

Sección de Encabezado (Header Section).

Comando	Descripción y ejemplo
MOBILE6 INPUT FILE MOBILE6 BATCH FILE	**Descripción** Este comando es el primer registro en el archivo de entrada del MOBILE6. Permite identificar el archivo de entrada como: • normal (Input), ejemplo1. • lotes (Batch), ejemplo2.
	Ejemplo1: MOBILE6 INPUT FILE : **Ejemplo2:**: MOBILE6 BATCH FILE : FILE1.IN FILE2.IN .. FILELAST.IN
ASTERISCO (*) SIMBOLO (>) “MAYOR QUE”	**Descripción** Estos dos símbolos o comandos los interpreta el modelo MOBILE6 para interpretar como una línea de comentario (*) y no afecta a los archivos de salida. El símbolo (>) es leído por el modelo y permite la impresión en pantalla y en los archivos de salida.
	Ejemplo: *INTL FLEET FILE : MexFleet.inc > INVENTARIO DE EMISIONES 2012
POLLUTANTS	**Descripción** • Este comando permite al usuario especificar qué tipo de contaminante se reportado por el modelo de MOBILE6. • Los tipos de contaminantes deben de ser de tipo de cadena (string) de caracteres. • Cada tipo de contaminante a calcularse debe ir con espacio entre cada uno estos como se muestra en el ejemplo. • Se puede combinar la escritura en mayúsculas y minúsculas. Si no se especifica algún tipo de contaminante en la línea del comando MOBILE6 no reportara ningún resultado.
	Ejemplo: POLLUTANTS : NO_X CO POLLUTANTS : NO_X POLLUTANTS : HC CO NO_x CO_2 POLLUTANTS : CO2
DATABASE	**Descripción**

OUTPUT	Permite al usuario especificar el nombre, formato y contenido de los archivos de salida de la base de datos para todos los escenarios de la corrida. Solo hay que poner el nombre del comando como información requerida.
	Ejemplo: DATABASE OUTPUT :
WITH FIELDNAMES	**Descripción** Este comando indica al modelo la posición y renglones y columnas en la tabla de salida de resultados.
	Ejemplo: WITH FIELDNAMES **:**
DAILY OUTPUT	**Descripción** Este comando especifica los datos de salida que representa el periodo del día en tiempo por hora. Solo hay que poner el nombre del comando como información requerida.
	Ejemplo: DAILY OUTPUT :
PARTICULATES	**Descripción** Este comando permite reporta emisiones particular adicionales y contaminantes relacionados. Realiza el cálculo de emisiones de la material particulado (PM) y específica cuáles contaminantes se calculan y reportan en la base de datos de salida.
	Ejemplo: PARTICULATES : ECARBON SO_4 OCARBON TIRE
SPREADSHEET	**Descripción** Este comando le indica a MOBILE6 que los resultados de salida de los factores de emisión serán exportados a una hoja de Excel o Lotus 123. Se puede dejar en blanco el parámetro de este comando y no generara ningún archivo.
	Ejemplo: a) SPREADSHEET : b) SPREADSHEET : Querétaro En el ejemplo b), el archivo que se te generará será Querétaro.TAB
AIR TOXICS	**Descripción** El comando permite calcular y reportar el cálculo de las emisiones de los contaminantes tóxicos. Este comando no puede utilizarse en conjunto con el comando FUEL PROGRAM.
	Ejemplo: *AIR TOXICS : BENZ ACET ACRO **AIR TOXICS : ***En esté ejemplo las entradas se restringen al cálculo de contaminantes benzene, acetaldehyde y acrolein. ****En esté ejemplo la instrucción indica que los 6 contaminantes primarios de AIR TOXICS deberán ser calculados y reportados: BENZ, MTBE, BUTA, FORM, ACET y ACRO

Sección de Ejecución (Run Section)

Comando	Descripción y ejemplo
REG DIST	**Descripción** Este comando nos permite proporcionar la distribución de los registros de los vehículos por edad del vehículo, fuente de alimentación y nivel de actividad. En MOBILE6, la antigüedad del vehículo siempre implica un rango de 25 años, con vehículos de 25 años de edad y los vehículos más viejos se agrupan. El rango puede ser expresado de 0 a 24 años. (Edad = año calendario - año del modelo); alternativamente sus valores pueden ser considerados en un rango de 1 a 25 años (edad = año calendario - año del modelo + 1). El año Calendario es el año que se está modelando y puede variar según el escenario MOBILE6.
	Ejemplo: REG DIST: REGSJR. Dat
	Observaciones: El archivo externo REGSJR.dat contiene distribución de los registros de los vehículos por edad del vehículo, fuente de alimentación y nivel de actividad. Registro de Distribución de Vehículos. Para hacer está distribución se requiere del registro vehicular de la zona de estudio, en su defecto MOBILE6 utiliza la distribución de vehículos basados en los datos de los Estados Unidos (U.S), de acuerdo al reportados técnico M6.FLT.007, que tiene la distribución por edad del parque vehicular.
MILE ACCUM RATE	**Descripción** Este comando permite que los usuarios ingresen al modelo las tasas anuales de acumulación de kilometraje por la antigüedad del vehículo para todos o alguno de los 28 tipos de vehículos individuales. La tasa de acumulación de kilometraje representa el viaje anual acumulado total por vehículo de una determinada edad y categoría de vehículo individual. El usuario no tiene que introducir kilometrajes para todas las categorías. MOBILE6 aplicará los valores por defecto para cualquier tipo de vehículo de que el usuario no especifica.
	Ejemplo: MILE ACCUM RATE : MARSJR.dat
	Observaciones: El archivo externo MARSJR.dat contiene las tasas anuales de acumulación de kilometrajes de acuerdo al formato requerido por MOBILE6. Pordefecto MOBILE6 utiliza el conjunto de tasas basadas en los datos vehiculares de los Estados Unidos (U.S), de acuerdo al reportados técnico M6.FLT.007 Es recomendable consultar el manual del usuario de MOBILE6.
94+ LDG IMP	**Descripción** Este comando permite al usuario ingresar al modelo fracciones de vehículos de clase LDG posteriores a modelos 1994 bajo los programas de estándares de emisiones Tier1, NLEV(o LEV1 de California), y Tier2
	Ejemplo: *94+ LDG IMP : Mex94_10v4.dat *Los datos de entrada para este comando vienen en el archivo externo Mex94_10v4.dat. Archivo que viene dentro de la documentación del modelo.
NO 2007 HDDV RULE	**Descripción** El uso del comando NO 2007 HDDV RULE le indica al modelo MOBILE6 calcular los factores de emisión sin los efectos de las normas sobre emisiones de vehículos de servicio pesado 2007. Estos estándares y los combustibles diésel bajos en azufre asociados comenzarán efectuar emisiones en 2008 y estará en pleno funcionamiento en todos los vehículos fabricados en 2009 y años posteriores.

	Ejemplo: NO 2007 HDDV RULE :
STARTS PER DAY	**Descripción** Este comando permite al usuario especificar el número medio de arranques del motor (viajes) por vehículo por día para las clases de vehículos específicos y las edades de día y / o durante la semana de fin desemana. El número de arranques por día afecta estimaciones de las emisiones a vehículos ligeros a gasolina, vehículos de pasajeros a diésel, camiones y motocicletas. También afectará a las emisiones por el calor evaporativo por parada en todos los vehículos alimentados a gasolina, incluyendo vehículos y autobuses de servicio pesado, que se producen al final de un viaje. El número de viajes por día y fin de viaje por día se calcula a partir del número de arranques por día.
	Ejemplo: STARTS PER DAY : stperday10.d El usuario define el número encendidos por día de los vehículos, mediante un archivo externo.
START DIST	**Descripción** Este comando permite a los usuarios determinar el arranque de motor por hora del día. El comando START DIST permite a los usuarios cambiar los valores predeterminados de la distribución horaria de arranques del motor (viajes) en todo el día. Se debe proporcionar los 48 valores. Cada valor representa la fracción promedio de todos los arranques del motor que se dan en cada hora de un día de 24 horas, tanto los días de semana y fines de semana. El usuario puede definir el número encendidos por hora del día de los vehículos, mediante un archivo externo.
	Ejemplo: START DIST : sdist10.d
VMT BY HOUR	**Descripción** Este comando permite al usuario asignar total de VMT entre las 24 horas de cada día. Los valores para el comando son independientes del tipo de vialidad, es decir, la fracción de VMT cubre todos los tipos de vialidad.
	Ejemplo: VMT BY HOUR : HvmT10.def
	Observaciones: El archivo externo HvmT10.def contiene los valores de la fracción VMT
I/M PROGRAM	**Descripción** Este comando indica a MOBILE6 modelar un programa de I/M (Inspección y Mantenimiento) y define la información básica sobre el programa para modelar. El usuario define aquí la información básica sobre el tipo de programa de I/M (Inspección y Mantenimiento) como el año calendario que va iniciar y finalizar, así como el programa de inspección de frecuencia.
	Ejemplo: I/M PROGRAM : 1 1960 2050 1 T/O ASM 2525/5015 FINAL Desglose del parámetro del ejemplo: I/M PROGRAM = Nombre del comando. 1= Número de programa a modelar. 1960 = año de Inicio del programa de I/M (Inspección y Mantenimiento). 2050=año de terminación programa de I/M (Inspección y Mantenimiento). 1=Frecuencia anual. T/O=Tipo de programa (Solo una prueba) ASM 2525/5015 FINAL=Tipo de inspección.

I/M MODEL YEARS	**Descripción** Esté comando permite al usuario proporcionar el año modelo para hacer considerados en el programa I/M hacer modelado.
	Ejemplo: I/M MODEL YEARS: 1 1960 2011 Desglose del parámetro del ejemplo: I/M MODEL YEARS = Nombre del comando. 1= Número de programa a modelar. 1960 y 2011= Es el rango de los años en que se van a realizar las pruebas.
I/M VEHICLES	**Descripción** Este comando permite al usuario especificar cuál de los 14 tipos de vehículos que son sujetos entrar en programa I/M. El valor de los 14 tipos de vehículos se representan con “1 y un 2” de acuerdo a los siguiente: 1 = Indica que el valor que el tipo de vehículo particular NO está sujeto al programa de inspección. = Indica que el valor que el tipo de vehículo particular está sujeto al programa de inspección
	Ejemplo: I/M VEHICLES : 1 22222 22222222 2 Desglose del parámetro del ejemplo: 1= Número de programa a modelar. Los primeros cinco vehículos en el programa I/M corresponden a las clases: LDGV, LDGT1, LDGT2, LDGT3, LDGT4. Los próximos ocho vehículos en el programa I/M corresponden a las clases: HDGV2B, HDGV3, HDGV4, HDGV5, HDGV6, HDGV7, HDGV8A, HDGV8B. El vehículo final en el programa I/M corresponde a la clase: GAS BUS.
I/M STRINGENCY	**Descripción** Define el (%) de fallas de los vehículos de 1980 y anteriores. El valor para este comando es de 10 al 50 por ciento.
	Ejemplo: I/M STRINGENCY : 1 10 Desglose del parámetro del ejemplo: 1= Número de programa a modelar 10= Es el porcentaje de falla de los vehículos
I/M COMPLIANCE	**Descripción** Este comando describe el cumplimiento de lo esperado con un programa de I / M dado. La tasa de cumplimiento es el porcentaje de vehículos de la flota que completan el programa de I / M y recibir un certificado de cumplimiento o una exención. (50% -100%) Desglose del parámetro del ejemplo: 1= Número de programa a modelar 100.0 Porcentaje de cumplimiento
	Ejemplo: I/M COMPLIANCE : 1 100.0
	Observaciones: Introduzca el comando I/M COMPLIANCE para todos los programas de I/M. Si no se introduce este comando para un programa de I/M por evaporación, el valor puede cambiar cuando se agregan o modifican comandos para otros programas de I/M
I/M WAIVER	**Descripción**

RATES	Este comando especifica el porcentaje de vehículos que falle una prueba inicial de I/M y no pasan a una nueva prueba, pero reciben un certificado de cumplimiento.
	Ejemplo: I/M WAIVER RATES : 1 1.0 20.0 Desglose del parámetro del ejemplo: 1 = Número de programa a modelar 1.0 = Porcentaje de exención para los vehículos año modelo anterior a 1981. 20.0 = Porcentaje de exención para vehículos posteriores a 1981.
I/M GRACE PERIOD	**Descripción** Este comando específica a partir de qué año los vehículos deben apegarse al programa I/M program.
	Ejemplo: I/M GRACE PERIOD = 1 1 Desglose del parámetro del ejemplo: 1 = Número de programa a modelar 1 = Periodo de gracia para vehículos con menos de un año de antigüedad.
NO I/M TTC CREDITS	**Descripción** Este comando elimina el crédito I / M que MOBILE6 asigna a un programa de formación de técnicos.
	Ejemplo: NO I/M TTC CREDITS : 1 1 = Número de programa a modelar
EXPAND BUS EFS EXPAND HDDV EFS EXPAND HDGV EFS EXPAND LDT EFS	**Descripción** Estos cuatro comandos permiten a los usuarios ampliar los archivos de salidas (3) de MOBILE6 que incluir un desglose más detallado de las clases de camiones. El comando EXPAND BUS EFS indica a MOBILE6 reportar resultados de emisión separados para autobuses de gas, autobús diésel urbano, y las categorías de autobuses escolares diésel. El comando EXPAND HDDV EFS indica a MOBILE6 reportar resultados de emisión de camiones pesados a diésel (HDDV). El comando EXPAND HDGV EFS indica a MOBILE6 reportar resultados de emisión de camiones pesados a gasolina (HDGV). El comando EXPAND LDT EFS indica a MOBILE6 reportar resultados de emisión de los vehículos de tipo Pick_Up (LDT).
	Ejemplo: EXPAND BUS EFS : EXPAND HDDV EFS : EXPAND HDGV EFS : EXPAND LDT EFS : El nombre del comando es la única información requerida para estos comandos. Cuando los comandos que amplían las clases de vehículos se seleccionan junto con otros comandos de expansión.
EXPRESS HC AS	**Descripción** Este comando permite al usuario especificar la variedad de hidrocarburos (HC) que en particular se reporta en la salida de gases de escape. MOBILE6 permite al usuario elegir uno o cinco opciones para la presentación de los informes de emisiones de HC: • EXPRESS HC AS NMHC • EXPRESS HC AS NMOG • EXPRESS HC AS THC • 4. EXPRESS HC AS TOG • 5. EXPRESS HC AS VOC

	Ejemplo: EXPRESS HC AS VOC : En este ejemplo los hidrocarburos (HC) serán expresados en el reporte de salida como (COV), Compuestos Orgánicos Volátiles.
MIN/MAX TEMP	**Descripción** Este comando establece las temperaturas diarias máximas y mínimas que él usuario desea modelar en una carretera o situación determinada. La temperatura máxima no puede ser inferior a la temperatura mínima, pero los dos valores poder ser iguales que indica que no hay cambio de temperatura durante todo el día en que ocurrió. Nota la temperatura debe ser en Grados °F (Fahrenheit)
	Ejemplo: MIN/MAX TEMP : 49.97 79.76
	El rango de temperatura es el siguiente: Mínima : (0° F C a 100° F) (-18° C a 38° C) Máxima : (10° F C a 120° F) (-12° C a 49° C)
FUEL RVP	**Descripción** Este comando permite al usuario especificar el valor del RVP (Reid Vapor Presssure) del área a modelar.RVP es una medida de la volatilidad de la gasolina. Para emisiones de escape y especialmente las evaporativas que varían con la volatilidad de la gasolina.El valor RVP puede ser de entre 6.5 psi y 15.2 psi
	Ejemplo: FUEL RVP : 9.65 Este ejemplo podría modelar una región del país donde el RVP combustible predominante fue 9.6 psi.
	Observaciones:Para este comando Mobile6 no tiene valor predeterminado, el usuario deberá proporcionarlo (para todos los escenarios o por cada escenario) de acuerdo al área a modelar. El comando RVP específica que el valor de la RVP (en psi) que representa la volatilidad del combustible promedio vigente para el área geográfica de interés. psi=pound/second/inche
NO CLEAN AIR ACT	**Descripción** Este comando permite a los usuarios modelar las emisiones de vehículos, no aplica las Enmiendas a la Ley Federal de Aire Limpio de 1990. Este comando se puede utilizar en combinación con el modelado de la tasa estatal de Progreso (ROP) planes. MOBILE6 ha sido actualizado para incluir una serie de requisitos de los vehículos y los combustibles establecidos por la Ley de Aire Limpio de 1990 enmiendas. Estos incluyen Tier1, vehículo de bajas emisiones (LEV), y las normas de emisiones de escape Tier2 tubo de escape, y los nuevos requisitos de los procedimientos de ensayo de emisiones de evaporación. Sin embargo, para algunos fines de modelado, pueden ser necesarios los factores de emisión para los futuros años naturales en ausencia de los requisitos impuestos por las enmiendas de 1990 de la CAA (por ejemplo, para apoyar los planes de ROP).
	Ejemplo: NO CLEAN AIR ACT :
NO REFUELING	**Descripción** Este comando indica a MOBILE6 no calcular las emisiones de carga de combustible (también conocidas como las emisiones de la fase II) de los vehículos a gasolina.

	Por lo tanto, las emisiones de hidrocarburos compuestos divulgados en la salida descriptiva no incluirán las emisiones de estaciones de servicio.
	Ejemplo: NO REFUELING:

Sección de Escenario (ScenarioSection)

Comando	Descripción y ejemplo
SCENARIO RECORD	**Descripción** El comando sirve para dos propósitos: 1. Se marca el inicio de un nuevo escenario, y 2. permite que el usuario introduzca texto que se imprimirá en un lugar apropiado en el archivo de salida descriptivo.
	Ejemplo: ESCENARIO RECORD : INVENTARIO 2011 SJR
	Observaciones: Al menos un SCENARIO RECORD es requerido en un archivo IN. El comando ESCENARIO RECORD es necesario para generar múltiples resultados de salida
CALENDAR YEAR	**Descripción** Este comando identifica el año calendario de los factores de emisión a ser calculados. Por lo general refiere al "año calendario de la evaluación." MOBILE6 puede modelar los factores de emisión para los años 1952-2050. Debe introducirse un valor de cuatro dígitos para el año calendario de la evaluación cualquier lugar de la parte de datos del registro.
	Ejemplo: CALENDAR YEAR : 2011
	Observaciones: La instrucción indica a MOBILE6.2 reportar las emisiones para el año calendario 2011.
EVALUATION MONTH	**Descripción** El comando proporciona la opción de calcular los factores de emisión para el 01 de enero o el 01 de julio del año calendario de la evaluación. En caso de que el usuario le interese un mes entre enero y julio podría obtenerse haciendo una ponderación tomando en cuenta los resultados de los dos meses extremos.
	Ejemplo: EVALUATION MONTH : 7 El ejemplo indica a MOBILE6 generar resultados de las emisiones el 1 de julio del año calendario de la evaluación.
ALTITUDE	**Descripción** El comando indica al modelo MOBILE6 calcular las emisiones para una región de alta o baja altitud. El modelo MOBILE6 puede calcular por separado tasas de emisión para alta y baja altitud. Bajo la siguiente condición: Valor 1 para altitud aproximada de 152 msnm Valor 2 para altitud aproximada de 1676 msnm
	Ejemplo: ALTITUDE : 2 El ejemplo indica modelar un área de alta altitud.

MPG ESTIMATES	**Descripción** Este comando permite al usuario introducir los datos de rendimiento de ahorro de combustible por clase de vehículo y año de modelo para reemplazar los valores predeterminados incorporados en el modelo. Si no se especifica los datos de economía de combustible, el modelo de Mobile6 tomara los valores que tiene predeterminados.
	Ejemplo: MPG ESTIMATES : MPG12.CSV Esta entrada especifica que los datos de economía de combustible alternativo en el archivo de datos externos MPG12.CSV debe reemplazar los valores predeterminados de modeloMobile6.
DIESEL SULFUR	**Descripción** El comando DIESEL SULFUR, aplica para todos los años calendario. Este comando establece la entrada del promedio del contenido de azufre en el diesel para el escenario. El valor se especifica en unidades de partes por millón de azufre. Este valor puede variar entre 0,01 ppm a 5000 ppm.
	Ejemplo: DIESEL SULFUR : 15.00 En este ejemplo el valor representa 15 ppm.
PARTICULATE EF	**Descripción** El comando especifica la ubicación de los archivos externos de datos que contienen los factores de emisión de partículas. Se requieren seis archivos de entrada, los cuales no deben de ser modificados y pueden ser editados en Excel.
	Ejemplo: PARTICULATE EF : PMGZML.CSV PMGDR1.CSV PMGDR2.CSV PMDZML.CSV PMDDR1.CSV PMDDR2.CSV Estos archivos se encuentran adjuntos a la documentación del Modelo.
PARTICLE SIZE	**Descripción** Es obligatorio este comando, si se usa el comando de PARTICULATES. Permite al usuario especificar el límite de tamaño de partículas máximo (PSC) que es utilizado por el modelo. Este comando especifica el valor de corte del tamaño de partícula (PSC) en micrómetros. Los factores de emisión reportados para partículas contaminantes representan los estimados gramos por kilómetro de partículas con un diámetro aerodinámico menor o igual a la del PSC. El PSC máximo permitido por el modelo es 10,0 micrómetros, y el PSC mínima es de 1,0 micrómetros. Es recomendable hacer corrida para ambas valores de 2.5 y 10.
	Ejemplo: PARTICLE SIZE : 2.5 Las emisiones de material particulado son reportados en términos de emisiones de PM2.5 (a PSC de 2.5 micrómetros) o PM10 (a PSC de 10.0 micrómetros).
AVERAGE SPEED	**Descripción** El comando permite a los usuarios indicar una velocidad promedio que utilizará el modelo para todas las autopistas y / o arteriales / coleccionistas de todo el día. El comando AVERAGE SPEED incluye hasta seis datos. Los primeros dos son obligatorios.

	Los datos se deben introducir en la línea de comandos. • Velocidad promedio • Escenario (tipo de vialidades) • Distribución VMT por vialidad (4 valores) - Autopista - No rampa (accesos) - Carreteras locales - Accesos a autopista Cuando el usuario indica "AREAWIDE", MOBILE6.2 selecciona una sola velocidad media para el tipo de vialidad y una sola velocidad media para el tipo de carretera colectora de tal manera que la velocidad promedio combinado para todos los tipos de carretera (incluso las carreteras locales y rampas de la autopista) coincidirán con el valor promedio de la velocidad introducida por el de usuario
	Ejemplo: AVERAGE SPEED : 21.76 AREAWIDE 46 48.0 5.0 1.0 El ejemplo indica una velocidad promedio de 21.76. Valor de la velocidad promedio: 2.5 a 65 millas por hora. Escenarios: • No rampa (acceso) • Autopista • Vialidad • Areawide
OXYGENATED FUELS	**Descripción** El comando permite a los usuarios modelar los efectos de la gasolina oxigenada en emisiones de escape para todos los tipos de vehículos a gasolina. El comando requiere cinco valores de ser proporcionados por el usuario en la porción de campo de datos del registro de comandos. Cada uno de los cinco valores deben estar separados de los demás por al menos un espacio en blanco. El primer número especifica la cuota de mercado mezcla de éter (expresado como una fracción decimal). El rango es de 0.000 a 1.000. El segundo número especifica la cuota de mercado de mezcla de alcohol (expresado como una fracción decimal). El rango es de 0.000 a 1.000. El tercer número especifica el contenido medio de oxígeno de los combustibles de mezcla de éter (por ciento en peso, expresado como una fracción decimal). El rango es de 0,000-0,027 El cuarto número especifica el contenido medio de oxígeno de los combustibles de mezcla de alcohol (por ciento en peso, expresado como una fracción decimal). El rango es de 0,000 a 0,035. El quinto número especifica si la renuncia se haya concedido una presión de vapor Reid (RVP) para permitir que la mezcla "splash" de oxigenados a base de alcohol.
	Ejemplo: OXYGENATED FUELS : 1.0 0.0 0.014 0.0 1
SEASON	**Descripción** El comando identifica la temporada efectiva (invierno o verano) para el cálculo de RFG, independientemente del mes que se está modelando. El comando SEASON permite al usuario anular el efecto del comando MES DE EVALUACIÓN en cálculos RFG, ya sea especificando que las reglas de verano RFG ser aplicadas cuando el mes de evaluación es enero o aplicar que las reglas de RFG de invierno, cuando el mes de evaluación es julio.
	Ejemplo: SEASON : 1 El comando SEASON puede asumir sólo dos valores: un "1" (que denota verano) o un "2" (que

	denota invierno).
	Observaciones: El efecto de RFG en las emisiones difiere en verano como en invierno.
FUEL PROGRAM	**Descripción** Este comando permite cuatro opciones. El usuario puede especificar uno de dos nivel de azufre Tier 2, modelar el impacto de un programa de gasolina reformulada (RFG), o suministrar directamente los valores para el contenido de azufre de la gasolina a partir de 1999. El comando FUEL PROGRAM afecta el contenido de azufre antes del año 2000 sólo cuando se selecciona RFG. En general, utilice el comando de contenido de azufre para definir el contenido de azufre de la gasolina en el año calendario anterior al año 2000.
	Ejemplo: FUEL PROGRAM : 4 300.0 299.0 279.0 259.0 121.0 92.0 33.0 33.0 30.0 30.0 30.0 30.0 30.0 30.0 30.0 30.0 1000.0 1000.0 1000.0 1000.0 303.0 303.0 87.0 87.0 80.0 80.0 80.0 80.0 80.0 80.0 80.0 80.0 Este ejemplo indica el número de programa 4 (programa convencional de gasolina con niveles de azufre alternos).
	Observaciones: La serie de valores (32) corresponden a niveles de azufre de la gasolina suministrados por el usuario.
ADDITIONAL HAPS	**Descripción** El comando permite al usuario introducir los factores de emisión o tasas de contaminantes tóxicos de aire adicionales. El programa leerá estos factores o coeficientes de emisión adicionales y calcular los resultados compuestos de contaminantes adicionales que el usuario puede definir. Los factores de emisión adicionales se tienen que introducir en el programa en unidades de miligramos por milla. Las tasas se introducen como proporciones de los contaminantes tóxicos del aire en miligramos por milla para el total de COV, Total TOG o PM factor de emisión de escape (expresado en gramos / milla.
	Ejemplo: ADDITIONAL HAPS : HAP_BASE.CSV
GAS AROMATIC%	**Descripción** El comando permite al usuario especificar el contenido de aromáticos de la gasolina en un volumen de base de porcentaje de combustible. Este es el porcentaje de compuestos aromáticos en la gasolina en una base de volumen. Un compuesto aromático es uno que contiene una configuración de anillo de seis carbonos de la serie del benceno y grupos orgánicos relacionados. El valor proporcionado por el usuario debe incluir benceno y otros compuestos de tipo aromático (ejemplo, tolueno). El rango válido de las entradas es de 10% a 55%. Este comando es requerido si se utiliza el comando AIR TOXICS. No utilice este comando sin el comando AIR TOXICS.
	Ejemplo: GAS AROMATIC% : 18.9 Este ejemplo especifica la gasolina con un 18.9% de aromáticos por volumen.
GAS OLEFIN%	**Descripción** Este es el porcentaje de compuestos de olefina en la gasolina en una base de volumen. Una olefina es una clase de hidrocarburo insaturado, tales como etileno, que tiene la fórmula general CnH2n y caracterizado relativamente por gran actividad química. El valor proporcionado por el usuario debe incluir todas las variedades de olefinas que pueden aparecer en la gasolina. El rango válido de las entradas es de 0% a 30%. Este comando es requerido si se utiliza el comando AIR TOXICS. No utilice este comando sin el

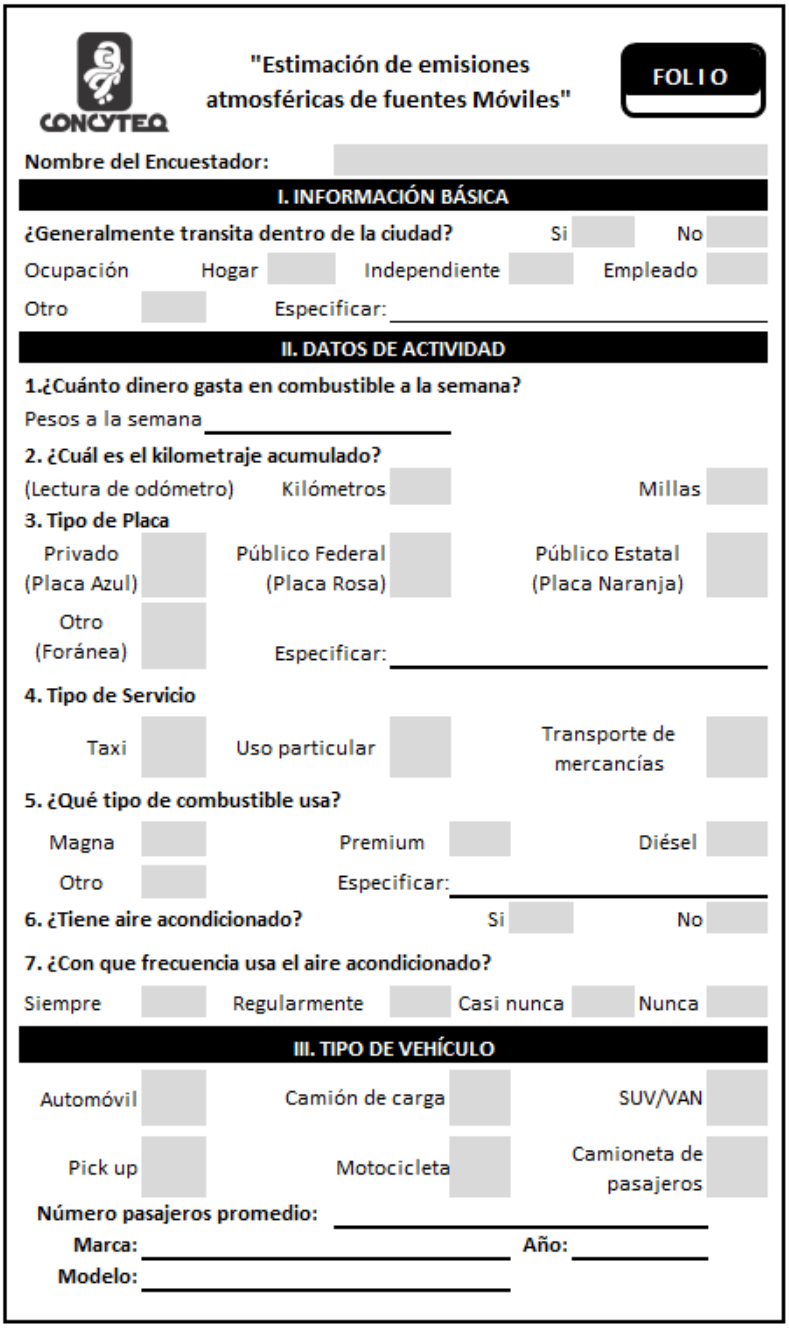
	comando AIR TOXICS.
	Ejemplo: GAS OLEFIN% : 6.7 Este ejemplo especifica de gasolina con 6,7% de olefinas por volumen.
GAS BENZENE%	**Descripción** Este comando permite al usuario especificar el contenido en benceno de la gasolina en un volumen base de porcentaje de combustible. Este es el porcentaje de compuestos de benceno en la gasolina en una base de volumen. El valor proporcionado por el usuario debe incluir todo el benceno que puede aparecer en la gasolina. El rango válido de entradas es de 0% a 5%. Este comando es requerido si se utiliza el comando AIR TOXICS. No utilice este comando sin el comando AIR TOXICS.
	Ejemplo: GAS BENZENE% : 0.6
E200	**Ejemplo:** E200 : 50
	Descripción Este comando permite al usuario especificar el porcentaje de vapor de gasolina producido a 300° F. Esta es una propiedad de la volatilidad de la gasolina que identifica el porcentaje de vapor de la gasolina producido a 300° F. El rango válido de las entradas es de 70% a 100%. Este comando es requerido si se utiliza el comando AIR TOXICS. No utilice este comando sin el comando AIR TOXICS.
E300	**Ejemplo:** E300 : 90
	Descripción El comando OXIGENATE requiere combustible con un contenido de compuestos oxigenados y el porcentaje de los cuatro oxigenantes de gasolina. Estos son el MTBE, ETBE, TAME y ETOH. Este comando es requerido si se utiliza el comando AIR TOXICS. No utilice este comando sin el comando AIR TOXICS. MTBE is Methyl Tertiary Butyl Ether. ETBE is Ethyl Tertiary Butyl Ether. ETOH is Ethanol or Ethyl Alcohol. TAME is Tertiary Amine Methyl Ether.
OXIGENATE	**Ejemplo:** OXIGENATE : MTBE 10.6 1.00 ETBE 00.0 00.0 ETOH 00.0 00.0 TAME 00.0 00.0
	Observaciones: En este ejemplo los valores son dados en porcentajes de volumen en el combustible.
	Descripción Este comando se utiliza para especificar si se ha omitido la presión de vapor Reid (RVP) para permitir la mezcla "splash" de oxigenada a base de alcohol. Si no se ha concedido una dispensa (valor = 1), entonces los combustibles oxigenados a base de alcohol debe cumplir los mismos requisitos de PVR como los combustibles no oxigenados que se venden en la zona. Si se ha

	concedido una dispensa (valor = 2), entonces los combustibles oxigenados a base de alcohol son permitidos para superar los requisitos RVP por hasta 1 libra por pulgada cuadrada (psi), y la RVP entrada de usuario se aumenta para dar cuenta del mercado parte del combustible RVP superior.
RVP OXY WAIVER	**Ejemplo:** RVP OXY WAIVER : 1 **Observaciones:** El valor de 1 indica que no se ha concedido una dispensa del PVR. **Descripción** Este comando marca el final de cada sección de ejecución de una entrada al MOBILE6.2 y se utiliza para separar múltiples ejecuciones del MOBILE6.2. Este comando debe aparecer al final de la última situación de cada sección de ejecución de un ordenar el archivo de entrada.
END OF RUN	**Ejemplo:** END OF RUN :

Fuente: Elaboración CQRN en base a el Modelo MOBILE6.2, (USEPA,2013a)

Apéndice C

Figura C1 Formato del cuestionario.



CONCYTEQ

"Estimación de emisiones atmosféricas de fuentes Móviles"

FOLIO

Nombre del Encuestador:

I. INFORMACIÓN BÁSICA

¿Generalmente transita dentro de la ciudad? Si No

Ocupación Hogar Independiente Empleado

Otro Especificar:

II. DATOS DE ACTIVIDAD

1.¿Cuánto dinero gasta en combustible a la semana?

Pesos a la semana

2. ¿Cuál es el kilometraje acumulado?

(Lectura de odómetro) Kilómetros Millas

3. Tipo de Placa

Privado (Placa Azul) Público Federal (Placa Rosa) Público Estatal (Placa Naranja)

Otro (Foránea) Especificar:

4. Tipo de Servicio

Taxi Uso particular Transporte de mercancías

5. ¿Qué tipo de combustible usa?

Magna Premium Diésel

Otro Especificar:

6. ¿Tiene aire acondicionado? Si No

7. ¿Con que frecuencia usa el aire acondicionado?

Siempre Regularmente Casi nunca Nunca

III. TIPO DE VEHÍCULO

Automóvil Camión de carga SUV/VAN

Pick up Motocicleta Camioneta de pasajeros

Número pasajeros promedio:

Marca: Año:

Modelo:

Publicación del Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Querétaro

PODER EJECUTIVO
DEL ESTADO DE
QUERÉTARO

SECRETARÍA
DE EDUCACIÓN

Querétaro
Cerca de Todos