



INECC

INSTITUTO NACIONAL
DE ECOLOGÍA
Y CAMBIO CLIMÁTICO

SEMARNAT

SECRETARÍA DE
MEDIO AMBIENTE
Y RECURSOS NATURALES



ESTUDIO DE EMISIONES Y ACTIVIDAD VEHICULAR EN MORELIA, MICHOACÁN.

Reporte final

Preparado por:

Instituto Nacional de
Ecología y Cambio
Climático (INECC)

Dirección de Investigación
sobre la Contaminación
Urbana y Regional
(DGICUR)

Dirección de Investigación
sobre la Calidad del Aire
(DICA)

2010

Periférico Sur, No. 5000, Col. Insurgentes/Cuicuilco, Del.
Coyoacán, México, D.F. C.P. 04530. Tel. +52 (55) 54246400.
Fax. +52 (55) 54245404. www.inecc.gob.mx

REPORTE FINAL

Estudio de emisiones y actividad vehiculares en Morelia, Michoacán.



DIRECTORIO

Dra. María Amparo Martínez Arroyo

Directora General del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático

Dr. Víctor Hugo Páramo Figueroa

Director General de Investigación sobre la Contaminación Urbana y Regional

Ing. Sergio Zirath Hernández Villaseñor

Dirección de Investigación en Monitoreo Atmosférico y Caracterización Analítica de Contaminantes

INTEGRACIÓN TÉCNICA DEL DOCUMENTO

Dra. Leonora Rojas Bracho

Directora General de Investigación sobre la Contaminación Urbana y Regional (julio de 2013)

M. en C. Verónica Garibay Bravo

Directora de Investigación sobre la Calidad del Aire (julio de 2012)

M. en C. José Andrés Aguilar Gómez

Subdirector de Modelos e Inventarios de Emisiones

M. en C. Laura Elizabeth Ramos Casillas

Jefa del Departamento de Estudios sobre Especificaciones y Tendencias Vehiculares y de Combustibles

Act. Guadalupe Tzintzun Cervantes

Jefa del Departamento de Análisis Estadístico sobre la Calidad del Aire

CONTENIDO

CONTENIDO	i
LISTA DE CUADROS	iv
LISTA DE FIGURAS	vi
SIGLAS Y ACRÓNIMOS	ix
AGRADECIMIENTOS	xi
RESUMEN EJECUTIVO	xii
1. INTRODUCCIÓN	1
2. RESULTADOS	4
2.1 Actividad y características de la flota vehicular	4
2.1.1 Recolección de información a través de la aplicación de encuestas	4
2.1.2 Parque vehicular “vivo” o en circulación	5
2.1.3 Composición de la flota por tipo de vehículo	6
2.1.4 Antigüedad del parque vehicular	7
2.1.5 Actividad de la flota vehicular	9
2.1.6 Composición de la flota vehicular por número de cilindros.....	10
2.1.7 Composición de la flota vehicular por su origen	11
2.2 Emisiones vehiculares.....	12
2.2.1 Recolección de información y depuración de las bases de datos	12
2.2.2 Procesamiento de la información	13
2.2.3 Estadística descriptiva de las emisiones	15
2.2.3.1 Análisis de la flota vehicular en general	16
2.2.3.2 Comparación entre vehículos particulares y taxis	24
2.2.3.3 Comparación entre SUV/VAN particulares y de transporte público.....	30
2.2.4 Estadística inferencial de las emisiones	37
3. CONCLUSIONES	40
3.1 Actividad y características de la flota vehicular	40
3.2 Emisiones	41
4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	42
ANEXO A. Aspectos generales de la ciudad de Morelia	45

A.1 Localización geográfica.....	45
A.2 Aspectos socioeconómicos	45
A.3 Calidad del aire	48
ANEXO B. Metodología.....	50
B.1 Actividad y características de la flota vehicular	50
B.1.1 Selección de los sitios de muestreo	50
B.1.2 Recopilación de información en campo	53
B.2 Emisiones vehiculares.....	55
B.1.1 Equipo utilizado y su calibración	55
B.1.2 Selección de los sitios de muestreo	57
B.1.3 Periodo de muestreo	59
B.1.4 Captura de la información	60
B.1.5 Control de calidad de la captura de información	61
B.1.6 Procesamiento de la información	62
Estadística descriptiva (descripción de la muestra de vehículos medidos).....	66
Estadística inferencial (inferencias sobre la población total de vehículos en ambas ciudades a partir de la muestra de vehículos medidos).....	67
ANEXO C. Formato de encuesta.....	69
ANEXO D. Análisis de distribución probabilística tipo Gamma.....	72
ANEXO E. Archivo fotográfico del trabajo de campo	76

LISTA DE CUADROS

Cuadro 2.1 Localización de sitios de aplicación de encuestas en Morelia.	4
Cuadro 2.2 Distribución del número de registros capturados por día.....	13
Cuadro 2.3 Estadísticas descriptivas de CO (%vol) para dos estratos vehiculares.	16
Cuadro 2.4 Estadísticas descriptivas de CO ₂ (%vol) para dos estratos vehiculares.	18
Cuadro 2.5 Estadísticas descriptivas de HC (ppm) para dos estratos vehiculares.	21
Cuadro 2.6 Estadísticas descriptivas de NO (ppm) para dos estratos vehiculares.	23
Cuadro 2.7 Estratificación y número de vehículos por tipo de servicio.	25
Cuadro 2.8 Estadísticas descriptivas de CO (%vol) por estrato y uso del vehículo.	25
Cuadro 2.9 Estadísticas descriptivas de CO ₂ (%vol) por estrato y uso del vehículo.	26
Cuadro 2.10 Estadísticas descriptivas de HC (ppm) por estrato y uso del vehículo.	28
Cuadro 2.11 Estadísticas descriptivas de NO (ppm) por estrato y uso del vehículo.	29
Cuadro 2.12 Estratificación y número de vehículos por tipo de servicio.	31
Cuadro 2.13 Estadísticas descriptivas de la emisión de CO (%vol) por estrato y uso del vehículo.....	31
Cuadro 2.14 Estadísticas descriptivas de la emisión de CO ₂ (%vol) por estrato y uso del vehículo.....	33
Cuadro 2.15 Estadísticas descriptivas de la emisión de HC (ppm) por estrato y uso del vehículo.....	34
Cuadro 2.16 Estadísticas descriptivas de NO (ppm) por estrato y uso del vehículo.	36

Cuadro 2.17 Valor medio, límite inferior y superior para el intervalo de confianza al 95% obtenido para las concentraciones de CO (%vol)..... 37

Cuadro 2.18 Valor medio, límite inferior y superior para el intervalo de confianza al 95% obtenido para las concentraciones de HC (ppm)..... 39

Cuadro B.1 Métodos e información recopilada. 51

Cuadro B.2 Puntos seleccionados para la aplicación de encuestas. 52

Cuadro B.3 Ubicación de los sitios de muestreo en la ciudad de Morelia..... 58

Cuadro B.4 Tamaño de muestra y porcentaje de error en la captura por día de medición. 62

Cuadro D.1 Intervalos de clase, distribución empírica y teórica de las emisiones vehiculares de CO en la ciudad de Morelia. 72

Cuadro D.2 Intervalos de clase, distribución empírica y teórica de las emisiones vehiculares de HC en Morelia..... 74

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 Parque vehicular en circulación en Morelia.....	5
Figura 2.2 Relación de habitantes por vehículos en diferentes ciudades mexicanas.....	6
Figura 2.3 Distribución de la flota por tipo de vehículo en Morelia.	7
Figura 2.4 Distribución de la flota vehicular de Morelia y la ZMVM por edad.....	8
Figura 2.5 Distribución de la edad de la flota vehicular de Morelia por tipo de uso.	9
Figura 2.6 Actividad de la flota vehicular en Morelia por tipo de vehículo.	10
Figura 2.7 Composición del parque vehicular por número de cilindros en Morelia.	11
Figura 2.8 Composición, por su origen, del parque vehicular que circula en Morelia.	12
Figura 2.9 Procesamiento y validación de la información obtenida con el equipo de detección remota.	14
Figura 2.10 Distribución de las concentraciones de CO (% vol) para dos estratos vehiculares en la ciudad de Morelia.	17
Figura 2.11 Mediana, promedio y percentiles 95 y 98 de CO (% vol) para dos estratos.	18
Figura 2.12 Distribución de las concentraciones de CO ₂ (% vol) para dos estratos vehiculares.....	19
Figura 2.13 Mediana, promedio y percentil 2, 5, 95 y 98 de CO ₂ (% vol) para dos estratos vehiculares en Morelia.	20
Figura 2.14 Distribución de las concentraciones de HC (ppm) para dos estratos vehiculares en Morelia.	21
Figura 2.15 Mediana, promedio y percentil 95 y 98 de HC (ppm) para dos estratos vehiculares en la Morelia.	22
Figura 2.16 Distribución de las concentraciones de NO (ppm) para dos estratos vehiculares en Morelia.	23

Figura 2.17 Mediana, promedio y percentil 95 y 98 de NO (ppm) para dos estratos vehiculares en Morelia. 24

Figura 2.18 Comparación de las emisiones de CO (%vol) por estrato y tipo de uso del vehículo en Morelia. 26

Figura 2.19 Comparación de las emisiones de CO₂ (%vol) por estrato y tipo de uso del vehículo en Morelia. 27

Figura 2.20 Comparación de las emisiones HC (ppm) por estrato y tipo de uso del vehículo en Morelia. 29

Figura 2.21 Comparación de las emisiones NO (ppm) por estrato y tipo de uso del vehículo en Morelia. 30

Figura 2.22 Comparación de las emisiones de CO (%vol) por estrato y tipo de uso del vehículo en Morelia. 32

Figura 2.23 Comparación de las emisiones de CO₂ (%vol) por estrato y tipo de uso del vehículo en Morelia. 33

Figura 2.24 Comparación de las emisiones HC (ppm) por estrato y tipo de uso del vehículo en Morelia. 35

Figura 2.25 Comparación de la emisión de NO (ppm) por estrato y tipo de uso del vehículo en Morelia. 36

Figura 2.26 Emisiones de CO (% vol) y el umbral de 2% en Morelia. 38

Figura 2.27 Emisiones de HC y el umbral de 1,000 ppm en Morelia. 39

Figura A.1 Localización geográfica de Michoacán. 45

Figura A.2 Crecimiento de la población en Morelia, Michoacán. 46

Figura A.3 Crecimiento de la flota vehicular en Morelia, Michoacán. 47

Figura A.4 Índice de motorización en Morelia, Michoacán. 48

Figura B.1 Puntos seleccionados para la aplicación de encuestas. 53

Figura B.2 Elementos del equipo de detección remota. 56

Figura B.3 Ubicación de los sitios de medición de emisiones vehiculares con equipo de detección remota en la ciudad de Morelia. 59

Figura B.4 Diagrama de flujo para el procesamiento de la información proveniente del equipo de detección remota. 65

Figura B.5 Descripción de la gráfica de caja. 67

Figura D.1 Comparación de las emisiones vehiculares de CO y su aproximación a la distribución Gamma ($\alpha = 0.3182$, $\beta = 3.1814$) en Morelia. 73

Figura D.2 Comparación de las emisiones vehiculares de HC y su aproximación a la distribución Gamma ($\alpha = 0.5492$, $\beta = 904.7546$) en Morelia. 75

SIGLAS Y ACRÓNIMOS

CENICA	Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental
CO	Monóxido de carbono
CO ₂	Dióxido de carbono
COV	Compuestos orgánicos volátiles
CTS	Centro de Transporte Sustentable de México
DICA	Dirección de Investigación sobre la Calidad del Aire
DGICUR	Dirección General de Investigación sobre la Contaminación Urbana y Regional
DOF	Diario Oficial de la Federación
EPA	Environmental Protection Agency (Agencia de Protección al Ambiente de los Estados Unidos)
Gas LP	Gas Licuado de Petróleo
HC	Hidrocarburos
IMP	Instituto Mexicano del Petróleo
INE	Instituto Nacional de Ecología
INEM	Inventario Nacional de Emisiones de México
Km/h	Kilómetros por hora
Km/h/s	Kilómetros por hora sobre segundo
KRV	Kilómetros recorridos por vehículo
NO	Óxido nítrico
NOM	Norma Oficial Mexicana
NO _x	Óxidos de nitrógeno
NO ₂	Bióxido de nitrógeno
O ₃	Ozono
PM	Partículas suspendidas
PM ₁₀	Partículas suspendidas con diámetro menores a 10 micras
ppm	Concentración en partes por millón
RSD	Remote Sensing Device (equipo de detección remota)
SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
SMAGDF	Secretaría de Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal

SO ₂	Bióxido de azufre
SS	Secretaría de Salud
SUMA	Secretaría de Urbanismo y Medio Ambiente
SUV	Sport Utility Vehicles (Vehículo utilitario)
TLCAN	Tratado de Libre Comercio de América del Norte
TSTES	The Sustainable Transport and Emissions Services Company
UNIMAT	Unidad de Monitoreo Atmosférico de Morelia
ZMVM	Zona Metropolitana del Valle de México
%vol	Concentración volumétrica en porcentaje

AGRADECIMIENTOS

Los resultados obtenidos del estudio de emisiones y actividad vehicular para Morelia, Michoacán de Ocampo, fueron posibles gracias a la participación y apoyo de las siguientes instituciones, quienes participaron en las actividades de diseño, coordinación y ejecución del estudio, así como en la recopilación y el procesamiento de los resultados:

- **SEMARNAT-Instituto Nacional de Ecología**
 - Dirección General de Investigación sobre la Contaminación Urbana y Regional (DGICUR)
 - Dirección General del Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental (DGCENICA)
- **Gobierno del estado de Michoacán de Ocampo**
 - Secretaría de Urbanismo y Medio Ambiente (SUMA)
 - Secretaría de Seguridad Pública
 - Secretaría de Finanzas y Administración
- **Delegación de SEMARNAT del estado de Michoacán de Ocampo**
- **Centro de Transporte Sustentable de México (CTS)**
- **The Sustainable Transport and Emissions Services Company (TSTES)**

RESUMEN EJECUTIVO

De acuerdo con los inventarios de emisiones locales y nacionales que se han desarrollado en México, los vehículos son una de las principales fuentes antropogénicas de emisión de contaminantes atmosféricos precursores de la formación de ozono. Si bien estas emisiones son el resultado directo del uso de combustibles fósiles, como la gasolina y el diesel, existen otros factores determinantes en la cantidad de contaminantes que un vehículo automotor puede generar, como son la edad, la tecnología, el uso y el mantenimiento.

Desde 2007, el INE comenzó una serie de estudios para caracterizar las emisiones, los patrones de actividad y la distribución de la composición de los vehículos automotores que circulan en ciudades mexicanas. Es así, que en noviembre de 2008, se realizaron trabajos de campo en la ciudad de Morelia, Michoacán, con la finalidad de obtener información que permitiera elaborar un diagnóstico de las condiciones de emisión y actividad bajo las cuales circulan los vehículos automotores de esa ciudad. Los trabajos de campo consistieron básicamente en dos partes: a) medición de emisiones vehiculares, mediante el uso de un equipo de detección remota, y b) recopilación de datos de la composición y actividad de la flota vehicular, a través de la aplicación de encuestas y conteos directos de automotores en vialidades principales. Los resultados del análisis de la información recopilada en campo muestran lo siguiente:

a) Medición de emisiones vehiculares

- o En general, los vehículos de diez años o más de antigüedad emiten más contaminantes que los más recientes (1999 y posteriores): 3.8 veces más CO; 5 veces más HC; y, 2.3 veces más NO. Sin embargo, en los vehículos de menos de diez años de antigüedad también se presentaron valores extremos de emisión. Este comportamiento es consistente en todos los contaminantes.

- En términos del servicio que proporcionan (Taxis vs. Automóviles particulares), los taxis muestran, en general, emisiones mayores que los vehículos de uso particular: 53% más CO; 174% más HC; y, 205% más NO, en el estrato 1999 y posteriores. Las SUV/VAN de servicio público emiten, en promedio, más contaminantes que las SUV/VAN de uso privado. Estas diferencias en emisión son mayores en el estrato 1999 y posteriores (vehículos de menos de 10 años de antigüedad): 168%, CO; en general, emisiones mayores que los vehículos de uso particular: 53%, CO; 403%, HC; y, 445 de NO.
- Aproximadamente el 16% de los vehículos que circulan en la ciudad de Morelia, rebasarían el umbral de 2% vol. de CO, y el 15% de los vehículos rebasaría el umbral de HC, es decir, muy probablemente no aprobarían una prueba de verificación de gases de escape bajo el método de aceleración simulada o prueba dinámica.

b) Composición y actividad de la flota vehicular

- La flota vehicular de la ciudad de Morelia está integrada por 66% de automóviles, 20% de pick up y VAN, 13.98% de SUV y menos del 1% de vehículos pesados.
- El 39% de los vehículos automotores que circulan en la ciudad de Morelia tienen más de 10 años de antigüedad.
- En promedio, las pick up recorren 81 km/día, los automóviles, 61 km/día y las SUV/VAN, 53 km/día.
- En cuanto a su procedencia, el 5% de los automóviles; el 27% de las SUV&VAN; y, el 33% de las pick up que circulan en Morelia fueron comprados como nuevos en un país distinto a México.

Los resultados muestran la necesidad de establecer un control de las emisiones de los vehículos en circulación, especialmente aquellos con antigüedad mayor a diez años, pero sin excluir a los vehículos más recientes, pues éstos también pueden presentar altas emisiones, dependiendo de diversos factores, como la inspección y mantenimiento, uso, antigüedad y tipo de vehículo.

1. INTRODUCCIÓN

Las redes de monitoreo instaladas en diferentes zonas metropolitanas y ciudades de México muestran que alrededor de 28 millones de personas están expuestas a contaminantes cuya toxicidad está clínicamente asociada a enfermedades respiratorias, cardiovasculares e incluso la muerte prematura, por la mala calidad del aire que respiran. Por ejemplo, en 2008, con relación a 2007, aumentó el número de días por arriba de los $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM_{10} en las zonas metropolitanas de México (12.3%), Monterrey (28.7%), Guadalajara (7.7%) y Toluca (41.3%); con respecto al ozono, el mayor número de días por arriba de la norma en 2008, se presentaron en las zonas metropolitanas del valle de México (50.5%) y Guadalajara (16.7%) (INE, 2009).

De acuerdo con el inventario nacional de emisiones de México -1999 (INE, 2006), y los inventarios de emisiones de la zona metropolitana del valle de México (ZMVM) el transporte y los vehículos son la principal fuente antropogénica de emisión de óxidos de nitrógeno (NO_x) y compuestos orgánicos volátiles (COV), sustancias precursoras de la formación de ozono. Asimismo, contribuyen de manera importante a la emisión de partículas suspendidas (PM) y monóxido de carbono (CO). Si bien estas emisiones son el resultado directo del uso de combustibles fósiles, como la gasolina y el diesel, existen otros factores determinantes en la cantidad de contaminantes que un vehículo automotor puede generar, como son la edad, la tecnología, el uso y el mantenimiento del vehículo. Los vehículos en circulación de mayor edad, con un mantenimiento deficiente, sin tecnologías para el control de emisiones y de uso intensivo presentan mayores emisiones contaminantes a la atmósfera.

Por otra parte, paulatinamente se ha ido incrementando el parque vehicular en diversas zonas urbanas del país, conformado en una proporción importante por vehículos con tecnologías caducas para el control de emisiones, con impactos y

consecuencias directas sobre las emisiones de contaminantes, la calidad del aire y la salud humana.

Con base en estos antecedentes, la SEMARNAT actualmente elabora una estrategia para reducir los impactos en la calidad del aire asociados con las emisiones contaminantes provenientes de la circulación de los vehículos, que incluye el establecimiento de programas de verificación vehicular en las principales ciudades del país. Como sustento para la instrumentación de dicha estrategia se contará con la medición de las emisiones de vehículos en circulación, utilizando equipo de detección remota y la obtención de información sobre el número y características de los mismos (SEMARNAT, 2007).

Para caracterizar las emisiones de los vehículos en circulación y la influencia de los factores anteriormente mencionados en ellas, se utilizan diversas metodologías de medición de contaminantes. Una de ellas, es la medición a través de equipos de *detección remota*. Este método de evaluación permite obtener en poco tiempo datos de emisiones de miles de vehículos y relacionarlos con algunas de sus características (a través de una fotografía de su placa) con lo cual se puede conocer el estado ambiental del parque vehicular que circula en alguna localidad en específico (RSD, 2005).

Asimismo, para determinar las características del parque vehicular como la edad de la flota, los kilómetros que se recorren anualmente, el mantenimiento que reciben los vehículos y la composición porcentual por tipo de vehículo, por tipo de uso, etc., se complementa la medición de emisiones con la información recabada en encuestas y conteo directo de vehículos. Esta información nos permite corroborar la información de las características vehiculares y disponer de información básica para la elaboración de inventarios de emisiones. Las encuestas se aplican en lugares con gran afluencia vehicular (como estacionamientos, casetas de cobro, gasolineras, etc.), para recabar el mayor número de datos posibles y contar con una muestra que debe ser representativa de la flota vehicular de la zona.

En 2007 el INE comenzó una serie de estudios para caracterizar las emisiones, los patrones de actividad y la distribución de la composición de los vehículos automotores en circulación en ciudades de la frontera norte, en las que se presume una penetración significativa de autos usados de procedencia extranjera. Durante octubre y noviembre de ese año se realizaron actividades de campo en Mexicali y Tijuana, con la colaboración de las autoridades locales, el Centro de Transporte Sustentable (CTS) y la Secretaría de Medio Ambiente del Distrito Federal. Posteriormente, durante 2008 se llevaron a cabo estudio similares en las zonas metropolitanas de Monterrey, N.L.; y el valle de México; y en las ciudades de Matamoros y Reynosa, Tamps.; y Morelia, Mich., también bajo la coordinación del INE y en estrecha colaboración con las autoridades locales.

El estudio llevado a cabo en Morelia tuvo como objetivo principal elaborar un diagnóstico, a través del uso de un equipo de detección remota y actividades complementarias, de las condiciones de emisión y actividad bajo las cuales circulan los vehículos automotores de la ciudad de Morelia, con la finalidad de generar información técnica que permita a las autoridades ambientales la toma de las mejores decisiones para la gestión de la calidad del aire.

En este estudio participaron y apoyaron la Secretaría de Urbanismo y Medio Ambiente (SUMA) del Estado de Michoacán y las autoridades de tránsito estatal, el CTS y la Delegación de SEMARNAT en el Estado de Michoacán. Para el diseño y levantamiento de encuestas, se contrataron los servicios de la empresa The Sustainable Transport and Emissions Services (TSTES), S.A. de C.V.

Este documento describe, en primera instancia, los resultados y las conclusiones obtenidos de las actividades llevadas a cabo en Morelia. Adicionalmente, los anexos incluyen los detalles de las características generales de la zona de estudio y la metodología utilizada.

2. RESULTADOS

El análisis de resultados de la información obtenida se presenta en dos secciones: la primera con la información de actividad y características vehiculares recabada por medio de la aplicación de encuestas, conteo directo en vialidades y análisis de bases de datos; y la segunda, sobre la medición de emisiones vehiculares con el equipo de detección remota.

2.1 Actividad y características de la flota vehicular

2.1.1 Recolección de información a través de la aplicación de encuestas

La recopilación de la información de actividad y características de la flota vehicular que circula en Morelia se llevó a cabo en cinco estaciones de servicio, su localización se muestra en el cuadro 2.1. En promedio se aplicaron 200 encuestas por día y estación de servicio, para obtener un total de 997 encuestas en toda la zona de estudio.

Cuadro 2.1 Localización de sitios de aplicación de encuestas en Morelia.

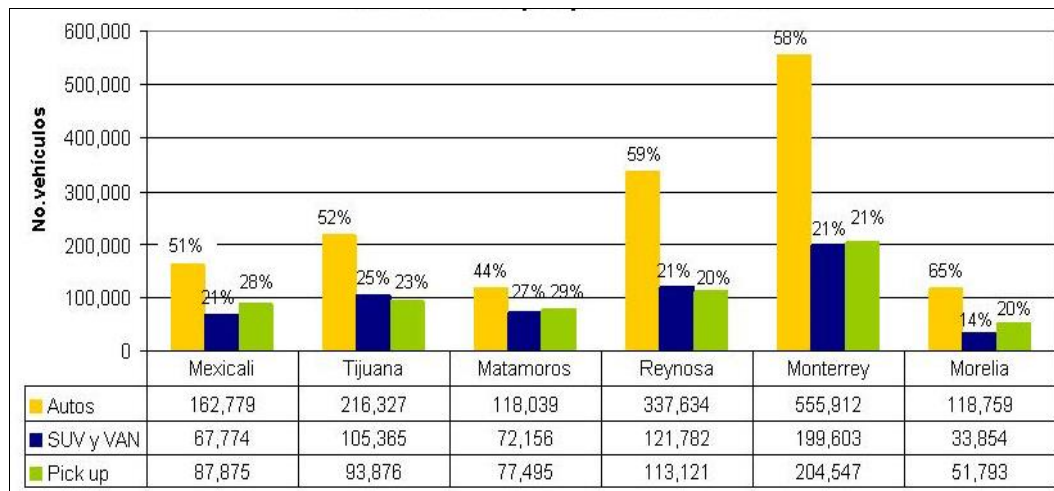
No.	Fecha	Localización del sitio de muestreo	No. Encuestas
1	07-Jul-09	Camino a Jesús del Monte # 1200, Col. Santa María de Guido, CP.58020	200
2	08-Jul-09	Periférico Paseo de la Republica # 139, Col. Isaac Arriaga, CP.58210	200
3	09-Jul-09	Av. Madero Oriente No. 2518, Col. Vasco de Quiroga, CP.58230	199
4	10-Jul-09	Calz. La Huerta No. 550, Col. Centro, CP.58000	200
5	11-Jul-09	Libramiento Paseo de la República. Noroeste 5433, Col. Wenceslao Victoria Soto, CP.54148	198
Total			997

Fuente: INE, 2009. Elaboración propia.

2.1.2 Parque vehicular “vivo” o en circulación

La estimación del parque vehicular “vivo o en circulación se obtuvo a través de la aplicación de encuestas y conteo directo de vehículos en vialidades principales de Morelia, fue el parque vehicular en circulación. Como se mencionó en la metodología, también se utilizó información de las ventas históricas de vehículos en Morelia y se utilizó la información de campo para obtener la tasa de “mortalidad” o salida de circulación de los vehículos.

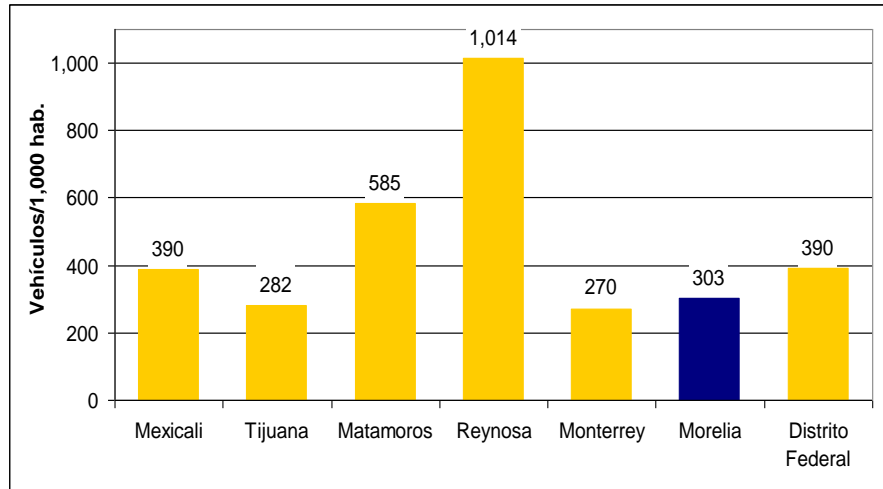
En comparación con otras ciudades estudiadas bajo la misma metodología que se empleó en Morelia para obtener el tamaño del parque vehicular, Morelia presenta un parque vehicular “vivo” menor que ciudades como Mexicali, Tijuana, Monterrey, Reynosa y Matamoros.



Fuente: INE, 2009. Elaboración propia.

Figura 2.1 Parque vehicular en circulación en Morelia.

A partir de estos resultados y con información del número de habitantes por ciudad del Consejo Nacional de Población (CONAPO), se obtuvo el índice de motorización de esta ciudad (ver figura 2.2). El índice de motorización relaciona la cantidad de vehículos que circula en un lugar de interés, con el número de habitantes. En la ciudad de Morelia, en promedio, existe una motorización de 303 vehículos por cada mil habitantes.



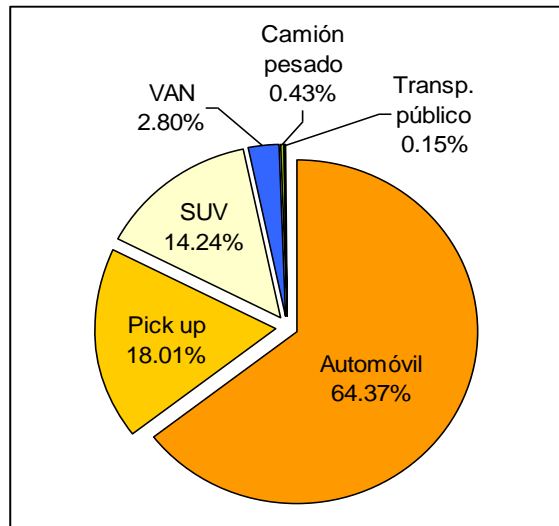
Fuente: INE, 2009. Elaboración propia 2007, 2008, 2009; CONAPO, 2009.

Figura 2.2 Relación de habitantes por vehículos en diferentes ciudades mexicanas.

2.1.3 Composición de la flota por tipo de vehículo

La composición de la flota vehicular proporciona información acerca del tipo de vehículos (de acuerdo a su carrocería) que circula una región; es decir, si son vehículos automotores compactos y subcompactos, SUV, VAN, pick up, camiones medianos, camiones pesados, tractocamiones o motocicletas. Esta clasificación del parque vehicular es importante, debido a que cada tipo de vehículo tiene características técnicas particulares, como peso, sistema de control de emisiones, número de cilindros, cilindrada, tipo de combustible que utilizan, entre otros, los cuales influyen directamente en la cantidad y el tipo de contaminantes que emiten a la atmósfera.

Para obtener la composición de la flota por tipo vehículo, se analizó la información de las fotografías que se obtuvieron con el equipo de detección remota, en las que se observa el tipo de carrocería de cada vehículo. En total, se obtuvieron 19,772 fotografías de igual número de vehículos. La figura 2.3 muestra la proporción de vehículos de cada tipo que circulan en Morelia, a partir de esta muestra.



Fuente: INE, 2009. Elaboración propia, con información del sensor remoto y la Secretaría de Finanzas del Gobierno de Michoacán, 2008.

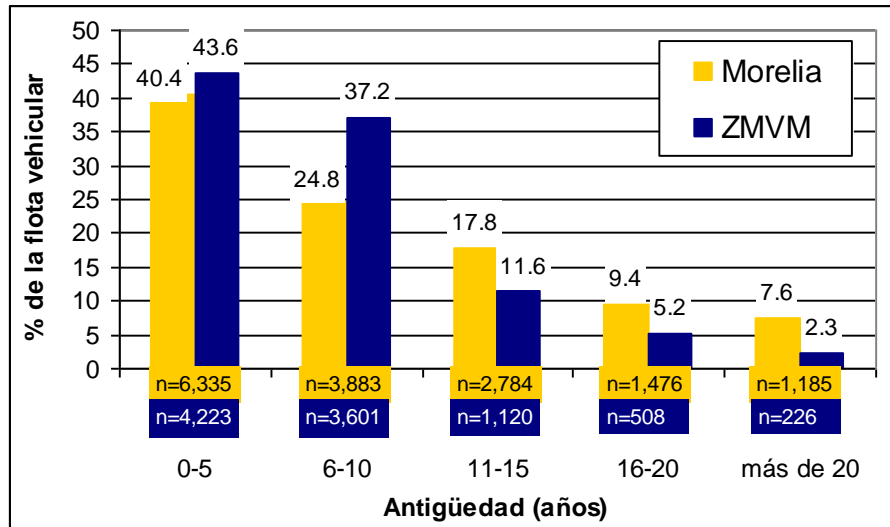
Figura 2.3 Distribución de la flota por tipo de vehículo en Morelia.

Los resultados de composición del parque por tipo vehículo, obtenidos a través de la información del sensor remoto, son consistentes con los generados a través de las encuestas. Como se observa en la figura 2.1, los porcentajes de cada tipo de vehículo son consistentes con lo que muestra la figura 2.3. Cabe mencionar que este análisis considera únicamente los vehículos ligeros, por lo que la composición del parque por tipo de vehículos puede cambiar al incluir a los vehículos pesados.

2.1.4 Antigüedad del parque vehicular

A partir de las matrículas capturadas, se obtuvo el año-modelo de 19,772 vehículos (Ver figura 2.4). Con esta información se elaboró la figura 2.4, la cual muestra la antigüedad de todo el parque vehicular que circula en Morelia. De acuerdo con los resultados, el 65% de los vehículos tiene una antigüedad de 10 o menos años de edad y el restante 35% de 10 o más años de antigüedad. Estos resultados son consistentes con los obtenidos a través de la aplicación de encuestas en estaciones de servicio, los cuales arrojan que el 60% de los vehículos tiene menos de 10 años de antigüedad. En otras ciudades, como la

zona metropolitana del valle de México, más del 80% de los vehículos tienen menos de 10 años.

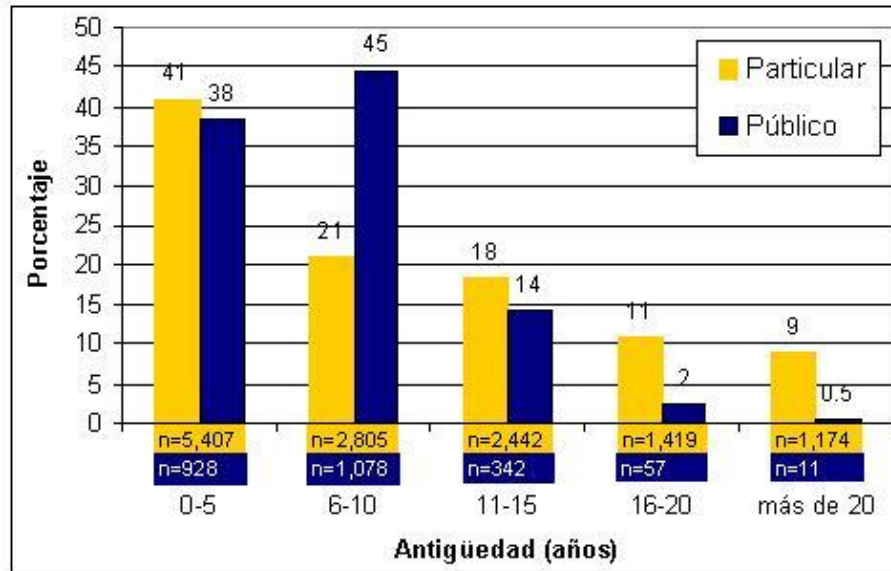


Fuente: INE, 2009. Elaboración propia, con información del sensor remoto y bases de datos de la Secretaría de Finanzas de Michoacán y Programa de verificación vehicular de la Zona Metropolitana del Valle de México.

Figura 2.4 Distribución de la flota vehicular de Morelia y la ZMVM por edad.

Además de la distribución de la edad de la flota vehicular en general que circula en Morelia, se realizó un análisis de la edad de la flota vehicular por el tipo de servicio que ofrece, es decir, si es utilizada como servicio particular o de servicio público (taxis y “combis” – que son tipo SUV y VAN). La diferenciación entre vehículos de uso particular y público fue posible gracias a la información de la base de datos de la Secretaría de Finanzas del Gobierno de Michoacán y a la consulta directa a las fotografías de los vehículos obtenidas con el sensor remoto.

La figura 2.5 muestra que, una vez que se distribuye la flota vehicular por tipo de servicio que ofrece, los vehículos de servicio público (taxis y VAN) son comparativamente más nuevos que los de servicio particular, pues de éstos, el 62% tiene menos de 10 años de edad, mientras que de aquéllos, el 83% presenta edad menor a 10 años.



Fuente: INE, 2009. Elaboración propia, con información del sensor remoto, 2008; y base de datos de la Secretaría de Finanzas de Michoacán, 2008.

Figura 2.5 Distribución de la edad de la flota vehicular de Morelia por tipo de uso.

2.1.5 Actividad de la flota vehicular

La actividad vehicular se refiere a la intensidad de uso de un vehículo, y está principalmente relacionada a la distancia recorrida en un cierto periodo de tiempo, generalmente expresada en kilómetros por día (km/día). En cuestión de emisiones vehiculares, la actividad determina en gran medida la cantidad de contaminante generado.

Como se menciona en el Anexo B. Metodología, para obtener la información de la actividad vehicular en la ciudad de Morelia se aplicaron encuestas a automovilistas, en donde, entre otros datos, se solicitó a los conductores la lectura del odómetro (km), el recorrido semanal (km) y el gasto monetario en consumo de combustible (\$) por semana. Con el análisis de esta información, se obtuvieron los resultados de distancia recorrida por tipo de vehículo que se muestran en la figura 2.6 (TSTES, 2009).

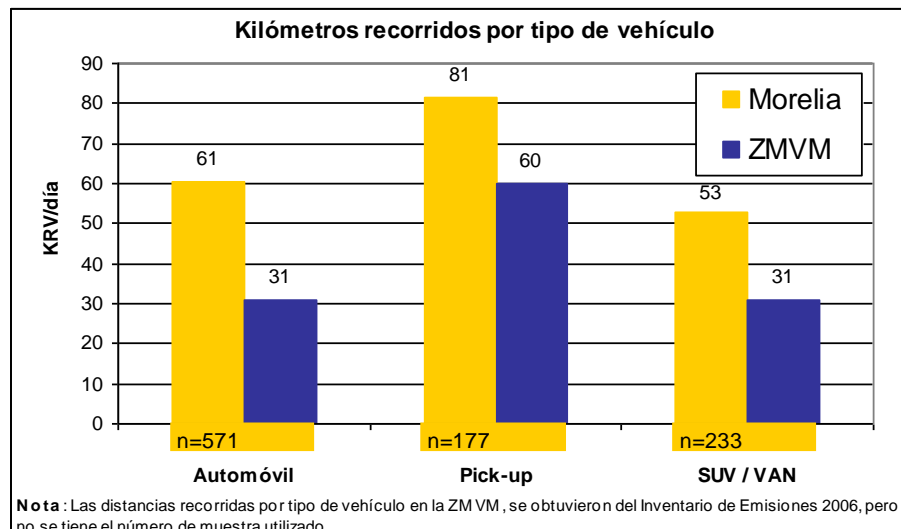


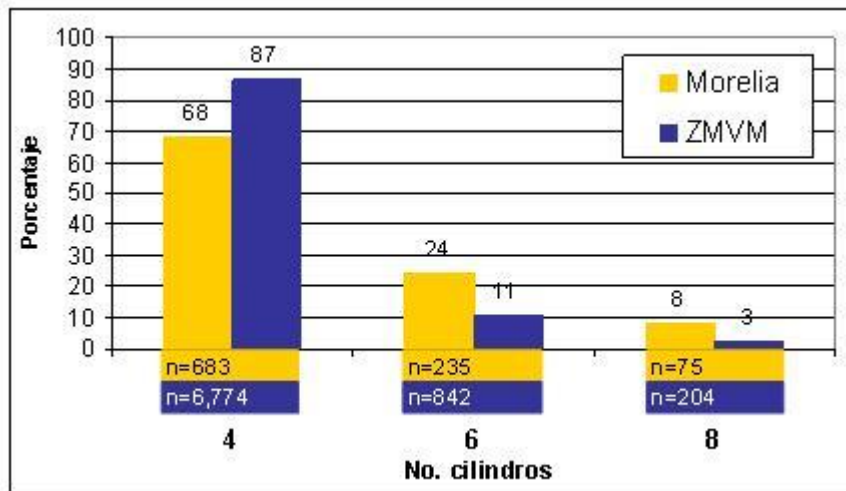
Figura 2.6 Actividad de la flota vehicular en Morelia por tipo de vehículo.

De acuerdo con información del inventario de emisiones de la ZMVM (poner la referencia), las distancias recorridas de todos los tipos de vehículos considerados en este estudio son mayores que aquellas estimadas para la zona metropolitana del valle de México.

2.1.6 Composición de la flota vehicular por número de cilindros

También a través de la aplicación de encuestas se obtuvo el número promedio de cilindros de los vehículos que circulan en Morelia, como se muestra en la figura 2.7. El motor de un vehículo posee cilindros y dentro de ellos se encuentran los pistones que se desplazan en movimiento vertical para comprimir la mezcla, transmitir la presión de combustión, forzar la salida de los gases de combustión y producir un vacío en el cilindro. Por otra parte, la cilindrada se refiere al volumen geométrico ocupado por el conjunto de pistones en el motor de un vehículo; una mayor cilindrada indica que un motor tiene más fuerza que otro, pero también es más grande, consume más combustible y es más pesado.

Para referencia, se compararon estos resultados con los encontrados en un estudio similar en el Distrito Federal (insertar referencia) y con las bases de datos del Programa de Verificación Vehicular del Distrito Federal. A partir de esta comparación se encontró que, si bien en ambas ciudades predominan los vehículos de cuatro cilindros, el parque vehicular que circula en Morelia tiene una mayor proporción de vehículos con 6 y 8 cilindros que la ZMVM y, en consecuencia, en la ZMVM el porcentaje de vehículos en circulación de 4 cilindros es mayor que en Morelia.



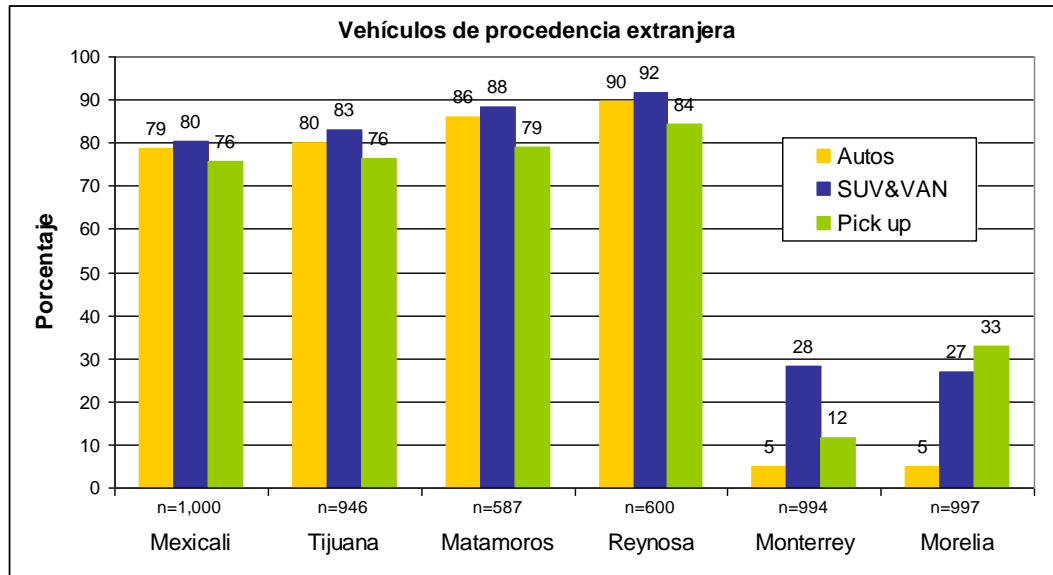
Fuente: INE, 2009. Elaboración propia con información de 2009; SR-ZMVM 2008 y GDF-PVV 2008.

Figura 2.7 Composición del parque vehicular por número de cilindros en Morelia.

2.1.7 Composición de la flota vehicular por su origen

Las encuestas también arrojaron información sobre la procedencia de los vehículos que circulan en Morelia. Es decir, sobre el porcentaje de la flota que corresponde a vehículos adquiridos como nuevos en México y qué cantidad fue adquirida como nueva en Estados Unidos. Los resultados de las encuestas muestran que en Morelia el mayor porcentaje de vehículos usados de procedencia extranjera corresponde a las pick up y SUV/VAN.

En comparación con ciudades fronterizas como Mexicali, Tijuana, Matamoros y Reynosa, el porcentaje de vehículos importados en Morelia es inferior. Sin embargo, es similar a Monterrey, en cuanto al porcentaje de SUV & VAN que son de procedencia extranjera.



Fuente: INE, 2009. Elaboración propia, con información de 2007, 2008 y 2009.

Figura 2.8 Composición, por su origen, del parque vehicular que circula en Morelia.

2.2 Emisiones vehiculares

2.2.1 Recolección de información y depuración de las bases de datos

La medición de emisiones vehiculares, mediante la técnica de detección remota, se llevó a cabo durante seis días, en los que se lograron obtener 32,019 lecturas de emisiones. El cuadro 2.2 muestra la distribución del número de registros obtenidos por día.

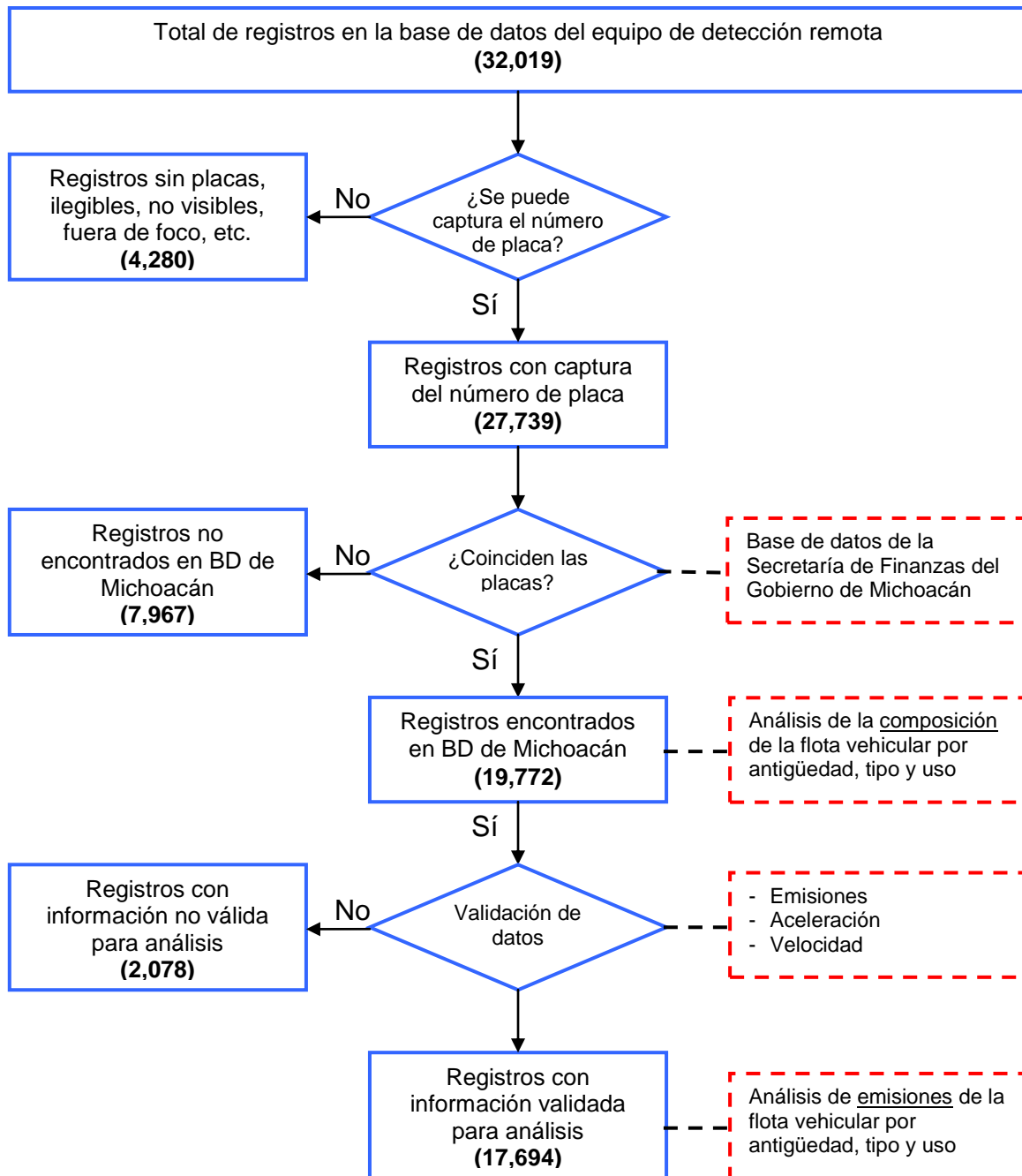
Cuadro 2.2 Distribución del número de registros capturados por día.

No.	Fecha	Localización del sitio de muestreo	No. registros
1	10-Nov-08	Av. Juan Pablo Segundo (Subida a Santa María, frente a la Universidad Vasco de Quiroga)	4,539
2	11-Nov-08	Periférico (Frente a la farmacia GEMS)	7,009
3	12-Nov-08	Calzada Fco. I. Madero (Salida a Charo, frente a Deportes Juventud)	5,410
4	13-Nov-08	Calzada La Huerta (frente al Panteón Municipal de Morelia)	5,576
5	14-Nov-08	Carretera a Zinapécuaro (frente a la calera)	5,724
6	15-Nov-08	Periférico (a la altura de Soriana de El Realito (Frente a la estación de gas Carburación Comercial)	3,761
Total			32,019

Fuente: INE, 2008. Elaboración propia, con información del sensor remoto, 2008.

2.2.2 Procesamiento de la información

Una vez capturado el número de placa y habiendo verificado, mediante el control de calidad de la captura que ésta fue adecuada (ver anexo B. Metodología), se buscaron los números de placa capturados en la base de datos de la Secretaría de Finanzas del gobierno de Michoacán. Esta base de datos contiene las características técnicas de los vehículos automotores de servicio particular y privado registrados en esa entidad. Como se observa en la figura 2.9, de los registros vehiculares para los cuales se pudo capturar el número de placa, el 71% pudo encontrarse en la base de datos de la Secretaría de Finanzas. Estos 19,772 registros vehiculares fueron utilizados para realizar el análisis de la composición del parque vehicular en cuanto a su antigüedad, uso y tipo de vehículo, puesto que se integraron en una sola base la información de emisiones y la de características técnicas. El restante 29% (7,967 registros) corresponde a números de placas de otros estados del país, del extranjero o a vehículos con placas de Michoacán pero que no se encuentran registrados en la base de datos utilizada para este análisis.



Fuente: INE, 2009. Elaboración propia, con información del sensor remoto y la base de datos de la Secretaría de Finanzas de Michoacán, 2008.

Figura 2.9 Procesamiento y validación de la información obtenida con el equipo de detección remota.

Como se observa en la figura 2.9, de los 19,772 registros vehiculares con información de emisiones y características técnicas, 89.5% pudo utilizarse para el análisis de emisiones, puesto que presentó mediciones válidas (de acuerdo con los criterios de validación descritos en el anexo equis de la metodología). Este porcentaje de mediciones válidas es mayor al sugerido por Unal (30%) para un estudio previo para ciudades fronterizas entre México y Estados Unidos (Unal, 2007), y muy cercano al 91% reportado por Beaton et al (1992) y Bishop et al (1997).

2.2.3 Estadística descriptiva de las emisiones

En esta sección se presentan los resultados del análisis del comportamiento de las emisiones vehiculares en la ciudad de Morelia; dicho análisis se realizó para dos y cinco estratos vehiculares. El análisis de dos estratos considera los siguientes grupos vehiculares: 1) antigüedad de diez años o más, 2) antigüedad menor a diez años. El análisis para cinco estratos contempla la siguiente clasificación por año-modelo: 1) 1980 y anteriores, 2) 1981-1990, 3) 1991-1992, 4) 1993-1998, 5) 1999 y posteriores. El análisis de las emisiones bajo esta clasificación tiene la finalidad de observar la relación entre las emisiones y la antigüedad y tecnología del vehículo.

El análisis de emisiones vehiculares se realiza por contaminante a través de la estadística descriptiva (tamaño de muestra, mediana, promedio y desviación estándar), gráficos de caja, gráficas con la mediana, promedio y percentil 95.

2.2.3.1 Análisis de la flota vehicular en general

Monóxido de carbono (CO)

Análisis para dos estratos vehiculares

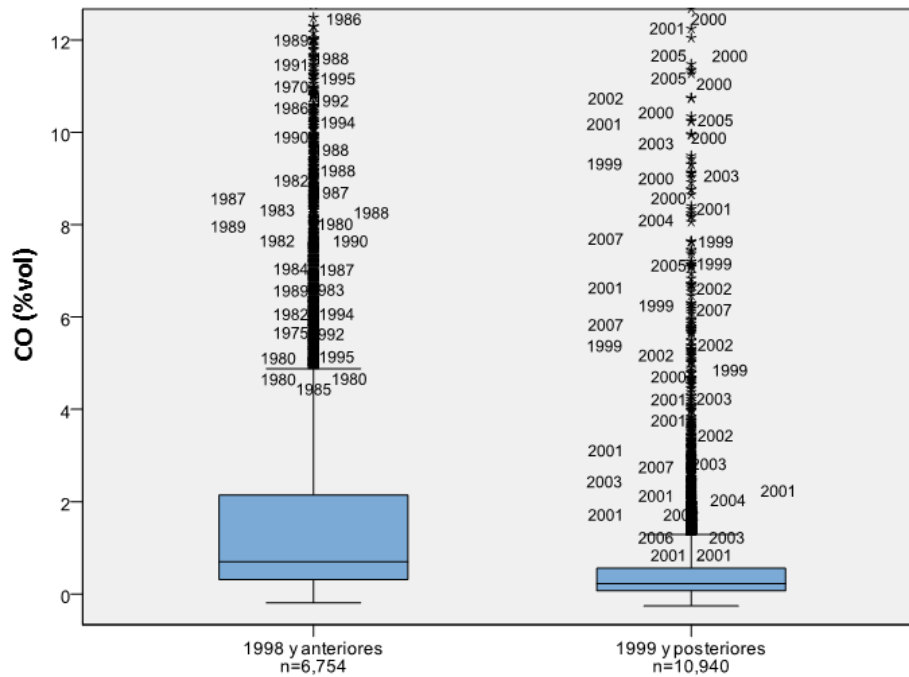
Como se observa en el cuadro 2.3, del total de lecturas de emisiones utilizadas para este análisis, 38% corresponden a vehículos 1998 y anteriores y 62% a vehículos modelo 1999 y posteriores. En promedio, las emisiones de los vehículos con diez años o más de antigüedad son 3.8 veces las emisiones de los vehículos más recientes. En el caso de la mediana (que es más representativa del comportamiento para un gran número de vehículos) esta relación es de 3 a 1, es decir, la mediana de los vehículos del estrato más reciente es 3 veces menor que la de los vehículos del estrato más antiguo.

Cuadro 2.3 Estadísticas descriptivas de CO (%vol) para dos estratos vehiculares.

Estadística	1998 y anteriores	1999 y posteriores
Tamaño de muestra	6,754	10,940
Mediana	0.70	0.22
Promedio	1.77	0.47

Fuente: INE, 2009. Elaboración propia, con información del sensor remoto, 2008.

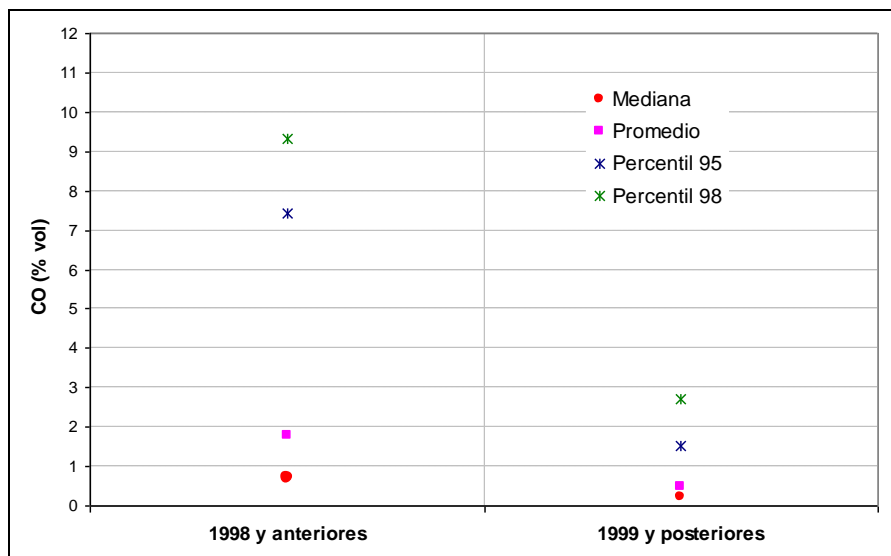
Como puede observarse en la figura 2.10 la distribución de las emisiones de los vehículos de más de diez años de antigüedad presenta una mayor dispersión de datos (el rango intercuartílico es más grande respecto al de los vehículos 1999 y posteriores), además de presentar un gran número de valores extremos. En contraste, los vehículos más recientes presentan menor dispersión (con un rango intercuartílico más reducido), pero también presentan muchos valores extremos, comparables a los que se presentan en el estrato de los vehículos de mayor edad.



Fuente: INE, 2009. Elaboración propia, con información del sensor remoto, 2008.

Figura 2.10 Distribución de las concentraciones de CO (% vol) para dos estratos vehiculares en la ciudad de Morelia.

En la figura 2.11 se observa que a pesar de la presencia de valores extremos en los vehículos más recientes, las emisiones de la gran mayoría de éstos (el 98%) se encuentran en niveles muy por debajo de las que presentan el 98% de los vehículos 1998 y anteriores, es decir, el 98% de los vehículos más antiguos emiten 3 veces más monóxido de carbono, que el 98% de los más recientes. Bajo el percentil 95 esta relación es de 4 a 1.



Fuente: INE, 2009. Elaboración propia, con información del sensor remoto, 2008.

Figura 2.11 Mediana, promedio y percentiles 95 y 98 de CO (% vol) para dos estratos.

Bióxido de carbono (CO₂)

Análisis para dos estratos vehiculares

Las estadísticas descriptivas que se muestran en el cuadro 2.4 de las emisiones de CO₂, agrupadas en dos estratos de acuerdo con la antigüedad de los vehículos, muestran que el promedio de emisión de CO₂ es mayor en los vehículos año modelo más reciente (1999 y posteriores) con respecto a los vehículos más antiguos (1998 y anteriores).

Cuadro 2.4 Estadísticas descriptivas de CO₂ (%vol) para dos estratos vehiculares.

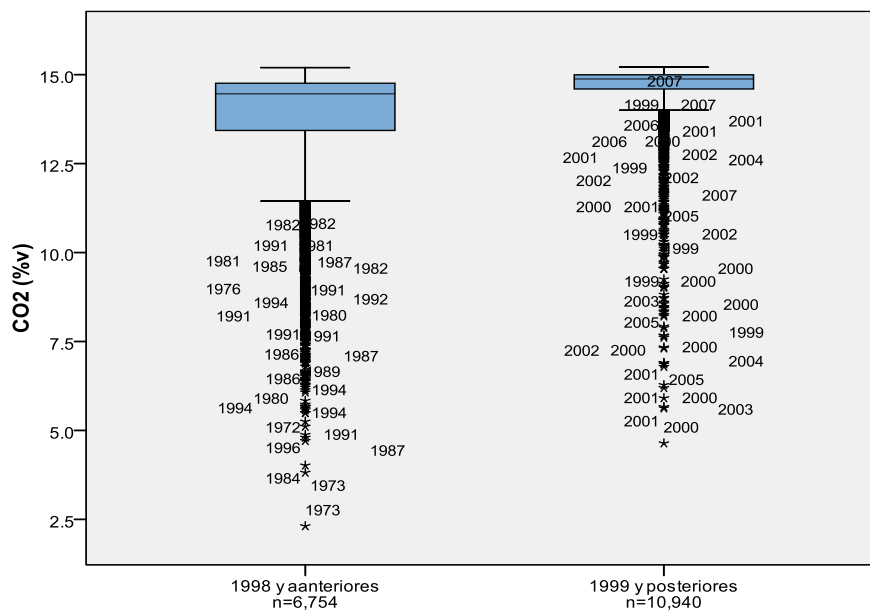
Estadística	1998 y anteriores	1999 y posteriores
Tamaño de muestra	6,754	10,940
Mediana	14.46	14.88
Promedio	13.70	14.69

Fuente: INE, 2009. Elaboración propia, con información del sensor remoto, 2008.

El comportamiento de las emisiones de CO₂ con respecto a la antigüedad de los vehículos se explica por la eficiencia de combustión; los vehículos de año modelo más reciente tienen mejor eficiencia en su proceso de combustión que los

vehículos más antiguos, por lo que la concentración de CO₂ en los gases de escape es mayor en los vehículos más recientes. La disminución de la eficiencia de combustión en los vehículos automotores se atribuye al deterioro natural que sufre el vehículo con el paso del tiempo, lo que ocasiona que el CO (producto de la combustión) no se oxide totalmente para formar CO₂.

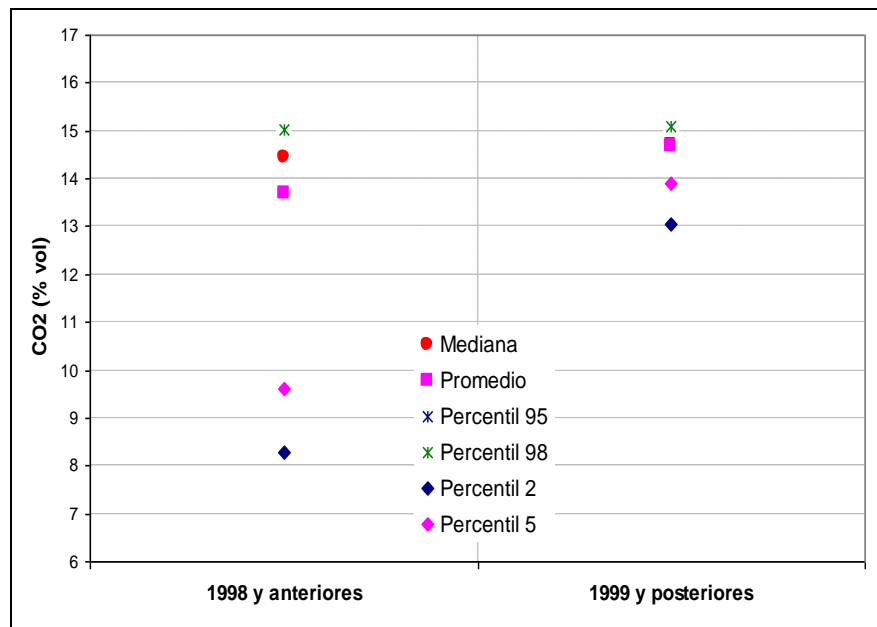
En la figura 2.12 se observa, que de los dos estratos vehiculares, existe una mayor variabilidad en las mediciones de los vehículos de diez años o más de antigüedad, además de gran número de valores extremos en ambos estratos vehiculares. También destaca que algunos vehículos del estrato más reciente presentan concentraciones muy bajas de CO₂, equiparables a las medidas en vehículos más antiguos, comportamiento que pudiera ser explicado debido al mantenimiento que se le da al vehículo, modo de manejo, uso y actividad del automotor.



Fuente: INE, 2009. Elaboración propia, con información del sensor remoto, 2008.

Figura 2.12 Distribución de las concentraciones de CO₂ (% vol) para dos estratos vehiculares.

Por otro lado, la figura 2.13 también indica que, evaluando la mediana, el estrato más reciente muestra una mejor combustión que la que muestra el estrato vehicular más viejo. Los valores del percentil 2 y 5 y el promedio muestran claramente la mejor combustión de los vehículos año modelo 1999 y posteriores.



Fuente: INE, 2009. Elaboración propia, con información del sensor remoto, 2008.

Figura 2.13 Mediana, promedio y percentil 2, 5, 95 y 98 de CO₂ (% vol) para dos estratos vehiculares en Morelia.

Hidrocarburos (HC)

Análisis para dos estratos vehiculares

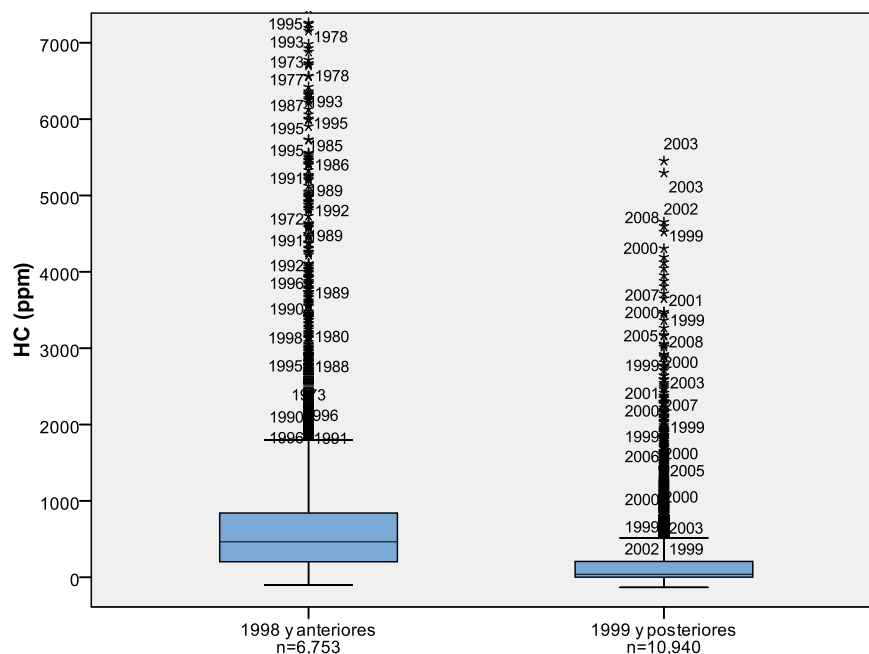
El cuadro 2.5 presenta las estadísticas descriptivas de las mediciones de HC, al agrupar los vehículos en dos estratos de antigüedad vehicular. Los valores encontrados indican que en ambas ciudades, la mediana de la emisión de HC para los vehículos de nueve o menos años de antigüedad es un orden de magnitud más pequeña que la mediana del grupo de vehículos de 10 años o más de edad. Asimismo, el promedio de emisiones de HC de los vehículos más antiguos es aproximadamente 5 veces el promedio de las emisiones del estrato vehicular más reciente.

Cuadro 2. 5 Estadísticas descriptivas de HC (ppm) para dos estratos vehiculares.

Estadística	1998 y anteriores	1999 y posteriores
Tamaño de muestra	6,754	10,940
Mediana	464	39
Promedio	787	180

Fuente: INE, 2009. Elaboración propia, con información del sensor remoto, 2008.

La figura 2.14 muestra que las distribuciones de los valores de cada uno de los estratos son muy diferentes, se observa que para el estrato más antiguo (1998 y anteriores) hay una mayor dispersión de datos y mayor cantidad de valores extremos más altos. En relación a las medianas para los vehículos 1998 y anteriores, es prácticamente 12 veces mayor (ver cuadro 4.8) que la de los vehículos 1999 y posteriores.

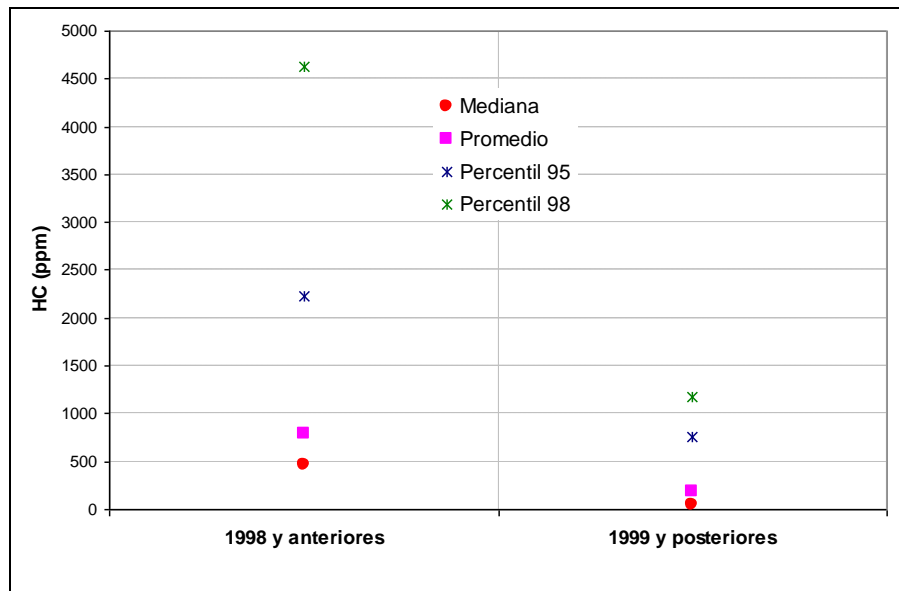


Fuente: INE, 2009. Elaboración propia, con información del sensor remoto, 2008.

Figura 2.14 Distribución de las concentraciones de HC (ppm) para dos estratos vehiculares en Morelia.

Este mismo comportamiento se advierte en la figura 2.15, que muestra que el percentil 98 (valor donde se acumula 98% de los datos) del estrato vehicular 1999

y posteriores, es aproximadamente 4 veces menor que el 98% de los valores del estrato más antiguo (1998 y anteriores).



Fuente: INE, 2009. Elaboración propia, con información del sensor remoto 2008.

Figura 2.15 Mediana, promedio y percentil 95 y 98 de HC (ppm) para dos estratos vehiculares en la Morelia.

Óxido nítrico (NO)

Análisis para dos estratos vehiculares

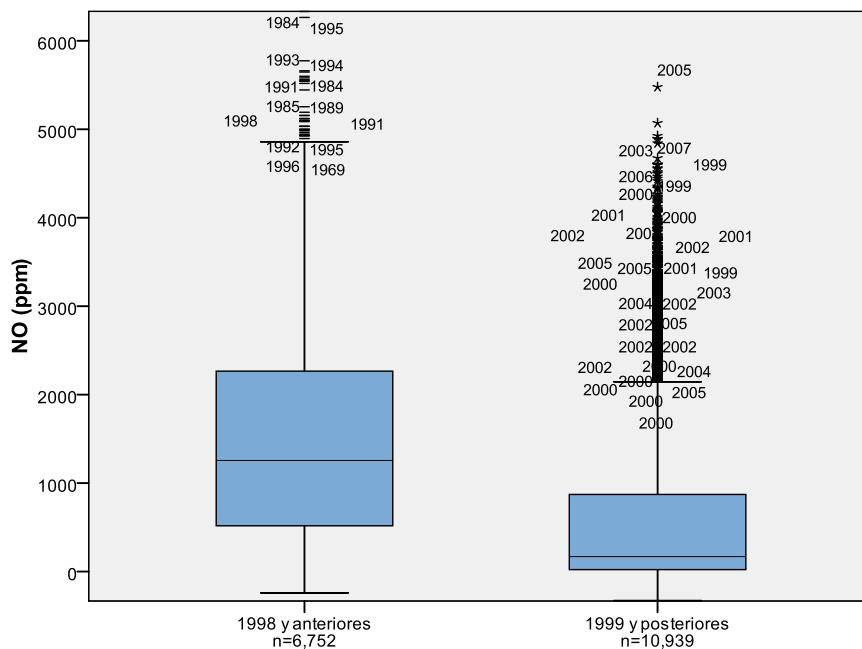
Los resultados para el caso del NO muestran también diferencias notables entre los estratos vehiculares 1998 y anteriores y los vehículos más recientes (1999 y posteriores). La mediana y el promedio del estrato vehicular 1998 y anteriores son 7.4 y 2.3 veces más grandes, respectivamente, que la mediana y el promedio del estrato 1999 y posteriores.

Cuadro 2.6 Estadísticas descriptivas de NO (ppm) para dos estratos vehiculares.

Estadística	1998 y anteriores	1999 y posteriores
Tamaño de muestra	6,752	10,939
Mediana	1,256.19	168.86
Promedio	1,477.21	632.65

Fuente: INE, 2009. Elaboración propia, con información del sensor remoto 2008.

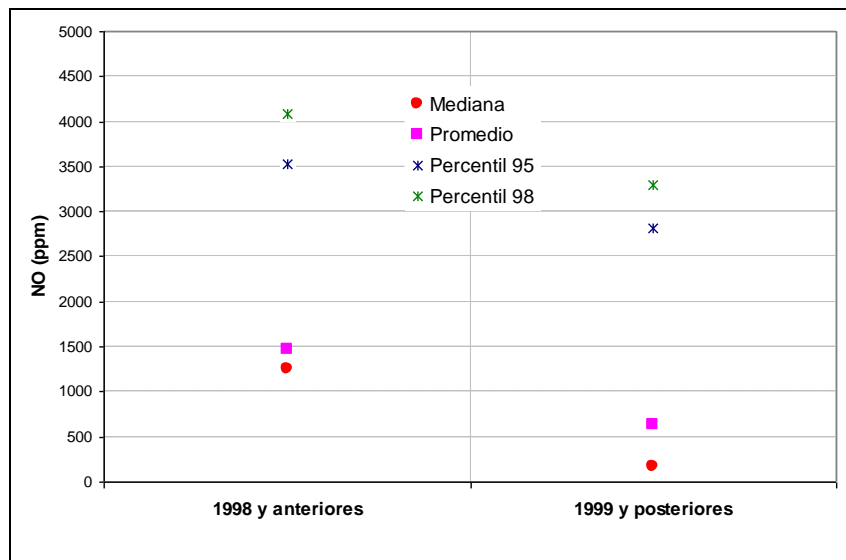
La gráfica 2.16 muestra que el valor de la mediana y el promedio, para el estrato vehicular 1998 y anteriores, son mayores 7 y 2 veces, respectivamente, que los valores del estrato 1999 y posteriores, también, los valores extremos son mayores para el estrato vehicular de los vehículos más antiguos.



Fuente: INE, 2009. Elaboración propia, con información del sensor remoto 2008.

Figura 2.16 Distribución de las concentraciones de NO (ppm) para dos estratos vehiculares en Morelia.

La figura 2.17 muestra que la diferencia entre el percentil 95 en ambos estratos vehiculares no es muy grande, debido a la gran cantidad de valores extremos por encima del rango intercuartílico en el estrato vehicular 1999 y posteriores.



Fuente: INE, 2009. Elaboración propia, con información del sensor remoto 2008.

Figura 2.17 Mediana, promedio y percentil 95 y 98 de NO (ppm) para dos estratos vehiculares en Morelia.

2.2.3.2 Comparación entre vehículos particulares y taxis

Como se mencionó con antelación, uno de los principales factores que influyen en la emisión de contaminantes atmosféricos provenientes de los vehículos automotores es la actividad del vehículo, es decir, la distancia que recorre en un determinado periodo de tiempo (hora, día, semana, etc.). En este sentido, es determinante el uso del vehículo. Por ejemplo, generalmente los vehículos de uso intensivo como el transporte público o de reparto de mercancías recorren distancias más grandes que los vehículos de uso particular.

Con la finalidad de observar el comportamiento de las emisiones en vehículos de uso particular y público para la ciudad de Morelia, se compararon las emisiones de los vehículos de uso particular y los taxis. Para llevar a cabo esta comparación, se hizo la estratificación de los vehículos particulares (se incluyen vehículos compactos, subcompactos, de lujo y deportivos) y los taxis en dos grupos: 1998 y anteriores y 1999 y posteriores.

Cuadro 2.7 Estratificación y número de vehículos por tipo de servicio.

Estrato	Tamaño de muestra (n)	
	Particulares	Taxis
1998 y anteriores	2,741	634
1999 y posteriores	5,866	2,149

Fuente: INE, 2009. Elaboración propia, con información del sensor remoto 2008.

Monóxido de carbono (CO)

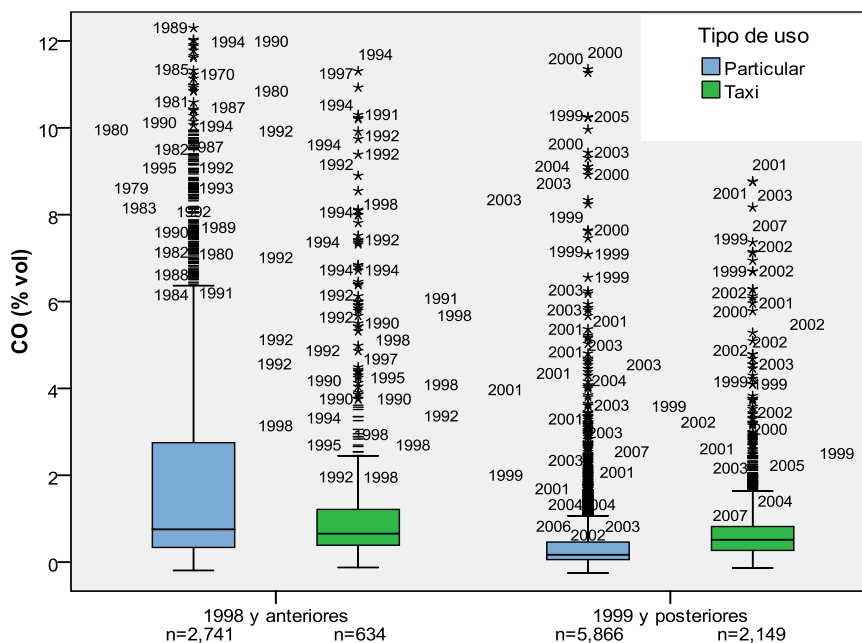
El cuadro 2.13 muestra la estadística descriptiva para la emisión de CO de vehículos de uso particular y de taxis. Los resultados del promedio por estrato vehicular muestran que los taxis 1999 y posteriores emiten, en promedio, 80% más CO (ppm) que los vehículos particulares del mismo estrato, lo cual puede explicarse por la actividad y, por consiguiente, el desgaste que sufren los taxis. Sin embargo, en el estrato 1998 y anteriores, los vehículos de uso particular emiten en promedio 53% más CO que los taxis, lo cual se podría explicarse por la edad del parque vehicular, ya que están en circulación vehículos de uso particular más antiguos que los taxis, como se observa en la figura 2.18.

Cuadro 2.8 Estadísticas descriptivas de CO (%vol) por estrato y uso del vehículo.

Estadística	Vehículo particular		Taxi	
	1998 y ant.	1999 y post.	1998 y ant.	1999 y post.
Tamaño de muestra	2,741	5,866	634	2,149
Media	1.96	0.39	1.28	0.70
Mediana	0.76	0.17	0.66	0.51

Fuente: INE, 2009. Elaboración propia, con información del sensor remoto 2008.

La figura 2.18 muestra la dispersión de valores tanto para vehículos de uso particular como para los taxis.



Fuente: INE, 2009. Elaboración propia, con información del sensor remoto 2008.

Figura 2.18 Comparación de las emisiones de CO (%vol) por estrato y tipo de uso del vehículo en Morelia.

Dióxido de carbono (CO₂)

Los resultados de las emisiones de CO₂ de vehículos de uso particular y taxis muestran que en el estrato 1998 y anteriores, los taxis emiten 3.5% más bióxido de carbono que los autos particulares del mismo estrato. Sin embargo, en el estrato vehicular 1999 y posteriores, los autos particulares emiten 2% más bióxido de carbono que los taxis, lo cual se explica por la antigüedad de los vehículos; existen más autos particulares con año modelo reciente.

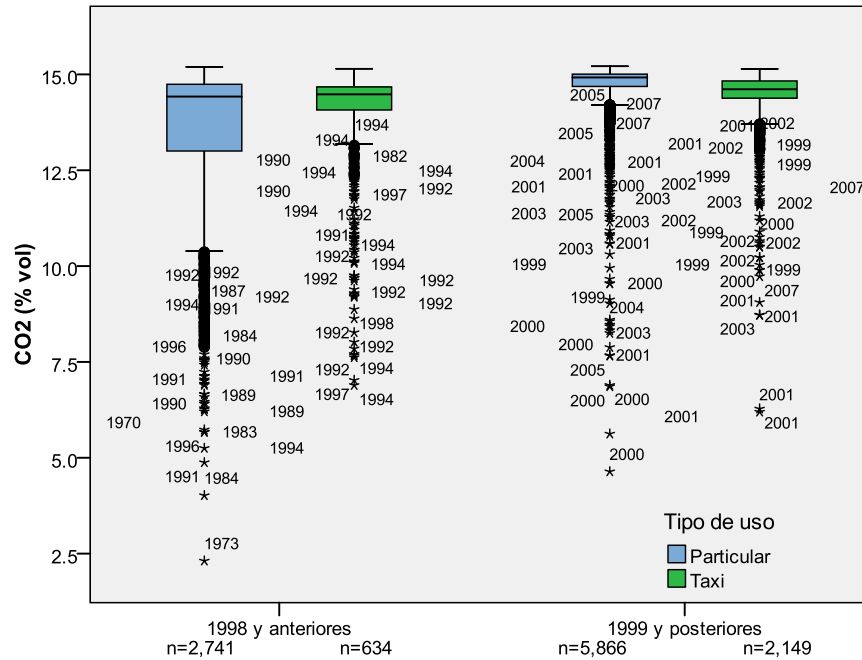
Cuadro 2.9 Estadísticas descriptivas de CO₂ (%vol) por estrato y uso del vehículo.

Estadística	Vehículo particular		Taxi	
	1998 y ant.	1999 y post.	1998 y ant.	1999 y post.
Tamaño de muestra	2,741	5,866	634	2,149
Media	13.57	14.75	14.04	14.49
Mediana	14.42	14.92	14.48	14.61

Fuente: INE, 2009. Elaboración propia, con información del sensor remoto 2008.

Como se observa en la figura 2.19, para el estrato 1998 y anteriores, los vehículos de uso particular presentan una importante dispersión de datos, lo cual pudiera

explicarse por el estado de mantenimiento de cada unidad y la gran variedad de tecnologías vehiculares disponibles en la flota vehicular en circulación. En los dos estratos para autos particulares y taxis se observa una cantidad importante de valores extremos.



Fuente: INE, 2009. Elaboración propia, con información del sensor remoto 2008.

Figura 2.19 Comparación de las emisiones de CO₂ (%vol) por estrato y tipo de uso del vehículo en Morelia.

Hidrocarburos (HC)

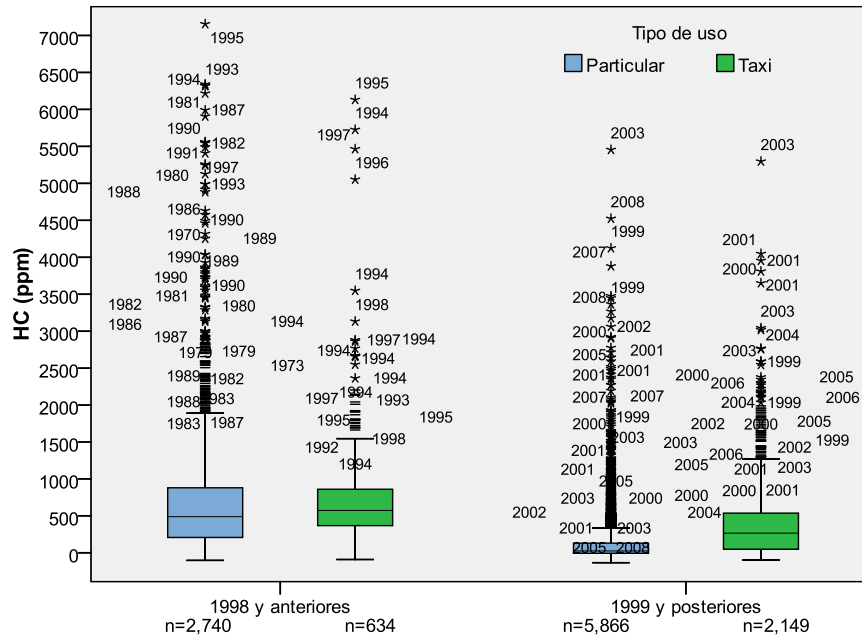
Los resultados de la emisión de hidrocarburos (HC en ppm) muestran que en el estrato 1998 y anteriores, los vehículos de uso particular emiten 4.4% más hidrocarburos que los taxis de la misma edad. Sin embargo, para el estrato 1999 y posteriores, los taxis emiten un 174% más hidrocarburos (ppm) que los autos de uso particular. La diferencia en actividad o uso de los autos particulares y taxis (distancia recorrida por día) pudiera explicar este resultado.

Cuadro 2.10 Estadísticas descriptivas de HC (ppm) por estrato y uso del vehículo.

Estadística	Vehículo particular		Taxi	
	1998 y ant.	1999 y post.	1998 y ant.	1999 y post.
Tamaño de muestra	2,740	5,866	634	2,149
Media	782	136	749	373
Mediana	490	26	574	267

Fuente: INE, 2009. Elaboración propia, con información del sensor remoto 2008.

La figura 2.20 muestra claramente la mayor emisión de HC (ppm) en vehículos de uso particular mayores a 10 años, pero en ambos estratos y en ambos tipos de uso se presentan valores muy cercanos a la media; sin embargo, existe una importante cantidad de valores extremos, lo cual pudiera explicarse por el estado de mantenimiento de cada unidad. Sin embargo, también el tamaño de muestra pudiera explicar que existan más valores extremos para vehículos particulares en comparación con los taxis, ya que existe una mayor cantidad de datos para vehículos particulares 1998 y anteriores (2,740), con relación a los taxis de ese mismo estrato de edad (634).



Fuente: INE, 2009. Elaboración propia, con información del sensor remoto 2008.

Figura 2.20 Comparación de las emisiones HC (ppm) por estrato y tipo de uso del vehículo en Morelia.

Óxido nítrico (NO)

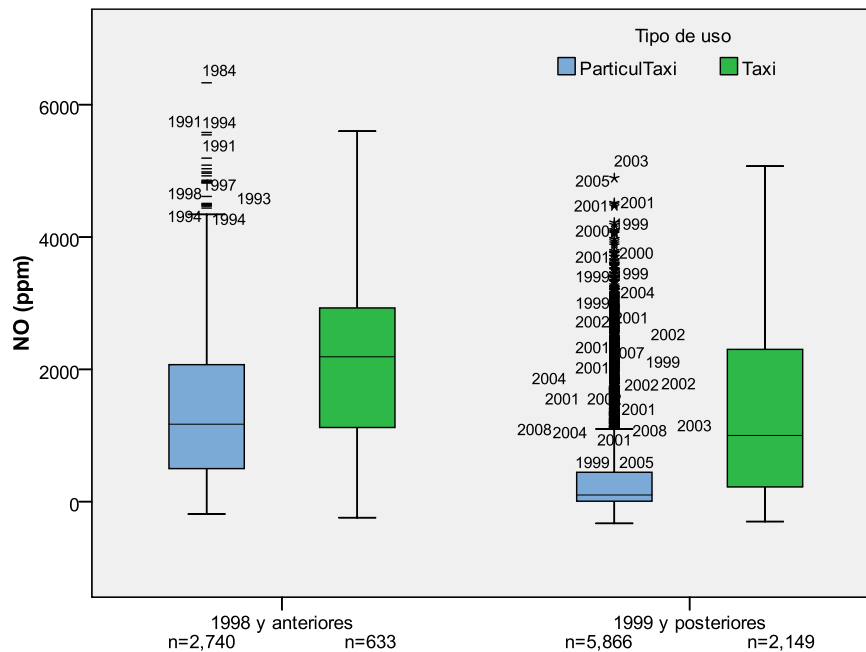
El cuadro 2.11 muestra los resultados de NO (ppm) para autos particulares y taxis. Para el estrato 1998 y anteriores se observa que en promedio, los taxis emiten 51.7% más óxido nítrico que los autos particulares del mismo intervalo de edad. Además, en el estrato vehicular 1999 y posteriores, los taxis emiten, en promedio, el 204.6% más de NO (ppm) que los vehículos de uso particular del mismo estrato. La intensidad en el uso, y por consecuencia el desgaste de los vehículos, pudiera explicar este comportamiento.

Cuadro 2.11 Estadísticas descriptivas de NO (ppm) por estrato y uso del vehículo.

Estadística	Vehículo particular		Taxi	
	1998 y ant.	1999 y post.	1998 y ant.	1999 y post.
Tamaño de muestra	2,740	5,866	633	2,149
Media	1,378	431	2,090	1,313
Mediana	1,171	101	2,190	1,001

Fuente: INE, 2009. Elaboración propia, con información del sensor remoto 2008.

En la figura 2.21, se observa claramente la diferencia entre las emisiones de NO (ppm) para vehículos de uso particular y los taxis. Los valores promedio y mediana, en los dos estratos, son mayores a los valores para los autos de uso particular.



Fuente: INE, 2009. Elaboración propia, con información del sensor remoto 2008.

Figura 2.21 Comparación de las emisiones NO (ppm) por estrato y tipo de uso del vehículo en Morelia.

2.2.3.3 Comparación entre SUV/VAN particulares y de transporte público

El interés por comparar las emisiones provenientes de las SUV y VAN de uso particular y público, es que en la ciudad de Morelia, uno de los principales medio de transporte público lo constituyen las combis (categorizadas como SUV y VAN por su capacidad y peso), por lo que resulta interesante observar el comportamiento de las emisiones para vehículos de uso intensivo contra otros con un uso menos intenso.

Al igual que para los autos particulares y los taxis, el análisis de emisiones se realizó para dos estratos vehiculares: 1998 y anteriores y 1999 y posteriores. El tamaño de muestra por estrato y tipo de vehículo se presenta en el cuadro 2.12.

Cuadro 2.12 Estratificación y número de vehículos por tipo de servicio.

Estrato	SUV/VAN particular	SUV/VAN servicio
1998 y anteriores	1,354	45
1999 y posteriores	1,359	257

Fuente: INE, 2009. Elaboración propia, con información del sensor remoto 2008.

Monóxido de carbono (CO)

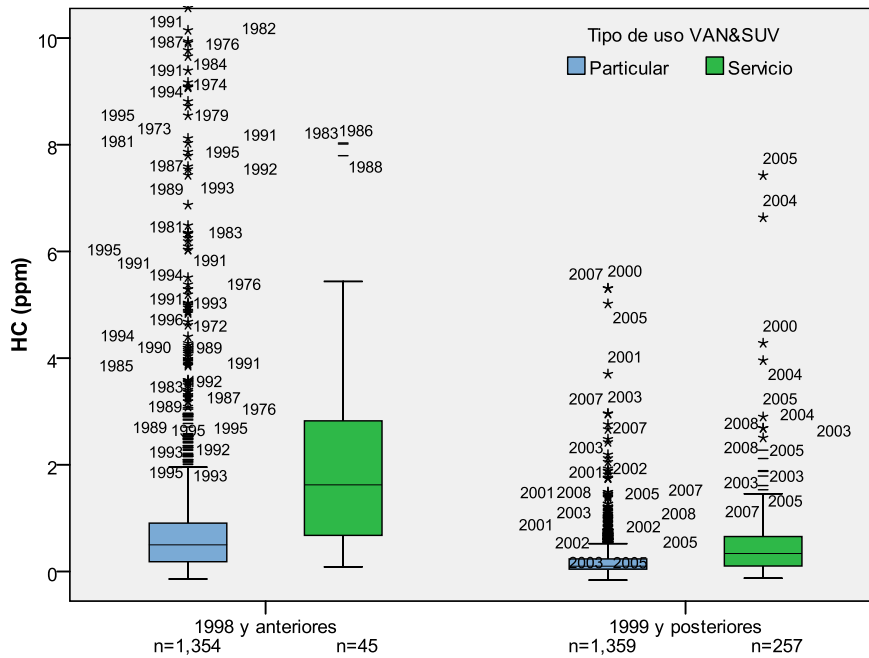
El cuadro 2.13 muestra que las SUV/VAN de servicio público para los estratos 1998 y anteriores, y 1999 y posteriores, emiten 119.8% y 168.2% más CO (ppm), respectivamente, que las SUV/VAN de uso particular. Esta diferencia en emisión puede explicarse por la actividad y el desgaste que sufren las SUV/VAN de servicio público con respecto a las de uso particular.

Cuadro 2.13 Estadísticas descriptivas de la emisión de CO (%vol) por estrato y uso del vehículo.

Estadística	SUV/VAN particular		SUV/VAN servicio	
	1998 y ant.	1999 y post.	1998 y ant.	1999 y post.
Tamaño de muestra	1,354	1,359	45	257
Media	0.96	0.22	2.11	0.59
Mediana	0.50	0.10	1.62	0.34

Fuente: INE, 2009. Elaboración propia, con información del sensor remoto 2008.

La figura 2.22 muestra la dispersión de valores tanto para vehículos de uso particular como público. La mayor dispersión de datos se observa para las SUV/VAN de servicio público año modelo 1998 y anteriores, pero la mayor cantidad de datos extremos se observa en el estrato 1998 y anteriores para SUV/VAN de uso particular. Sin embargo, los valores promedio de emisión de CO (ppm) son mayores, en ambos estratos, para las SUV/VAN de servicio público.



Fuente: INE, 2009. Elaboración propia, con información del sensor remoto 2008.

Figura 2.22 Comparación de las emisiones de CO (%vol) por estrato y tipo de uso del vehículo en Morelia.

Dióxido de carbono (CO₂)

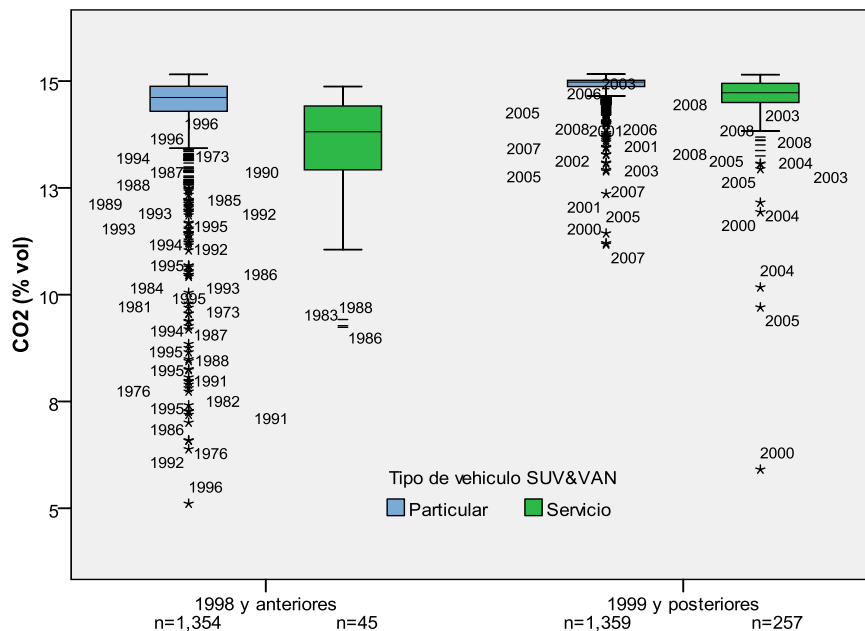
Los resultados de emisión de CO₂ (%vol) para SUV/VAN de uso particular y de servicio público, muestran que en ambos estratos vehiculares es mayor el valor promedio de emisión para las SUV/VAN de uso particular, con un 6.4% para vehículos modelo 1998 y anteriores, y 2.1% para vehículos 1999 y posteriores. Como se mencionó anteriormente, este comportamiento de la emisión de CO₂ (%vol) se explica por la mayor eficiencia de combustión en los vehículos de menor antigüedad.

Cuadro 2.14 Estadísticas descriptivas de la emisión de CO₂ (%vol) por estrato y uso del vehículo.

Estadística	SUV/VAN particular		SUV/VAN servicio	
	1998 y ant.	1999 y post.	1998 y ant.	1999 y post.
Tamaño de muestra	1,354	1,359	45	257
Media	14.29	14.89	13.43	14.58
Mediana	14.62	14.98	13.81	14.73

Fuente: INE, 2009. Elaboración propia, con información del sensor remoto 2008.

Como se observa en la figura 2.23, existe una importante dispersión de datos de emisión para las SUV/VAN de uso particular del estrato 1998 y anteriores, mientras que para los vehículos de uso público de este mismo estrato se observan algunos valores extremos. Sin embargo, para las SUV/VAN de uso particular modelo 1999 y posteriores se observa una menor dispersión de datos. Los valores promedio son mayores para ambos estratos de las SUV/VAN de uso público.



Fuente: INE, 2009. Elaboración propia, con información del sensor remoto 2008.

Figura 2.23 Comparación de las emisiones de CO₂ (%vol) por estrato y tipo de uso del vehículo en Morelia.

Hidrocarburos (HC)

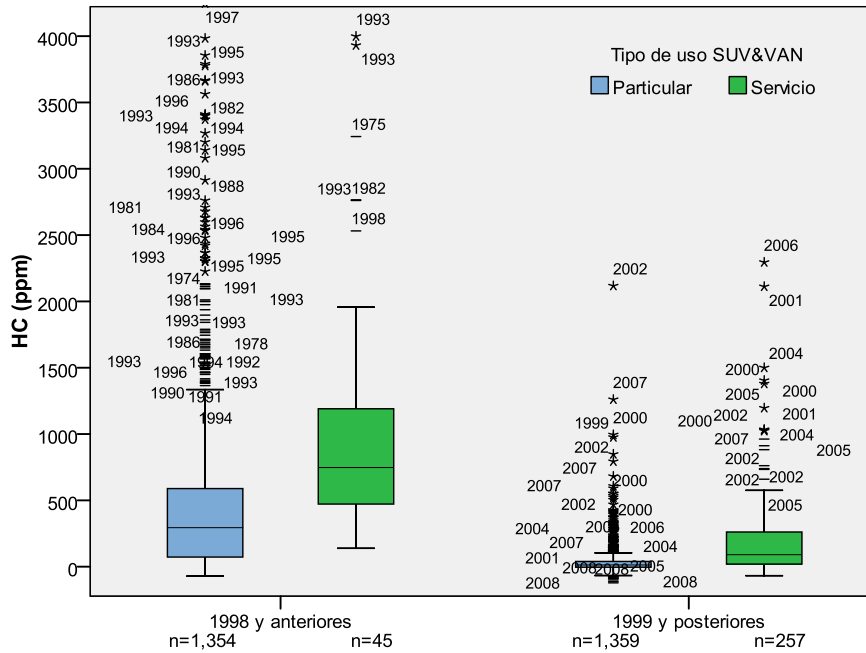
Los resultados de la emisión de hidrocarburos (HC en ppm) para las SUV/VAN de uso público del estrato 1998 y anteriores, emiten, en promedio, un 92.1% más hidrocarburos que las SUV/VAN de uso particular en el mismo estrato de edad. Sin embargo, la mayor diferencia de emisión promedio de hidrocarburos se presenta entre las SUV/VAN del estrato vehicular 1999 y posteriores; las SUV/VAN de uso público emiten 402.6% más de HC (ppm) que las SUV/VAN de uso particular. La diferencia en la actividad, uso, mantenimiento y edad promedio de este tipo de vehículos pudiere explicar este resultado.

Cuadro 2.15 Estadísticas descriptivas de la emisión de HC (ppm) por estrato y uso del vehículo.

Estadística	SUV/VAN particular		SUV/VAN servicio	
	1998 y ant.	1999 y post.	1998 y ant.	1999 y post.
Tamaño de muestra	1,354	1,359	45	257
Media	570	39	1,095	196
Mediana	294	13	747	90

Fuente: INE, 2009. Elaboración propia, con información del sensor remoto 2008.

En la figura 2.24 se observa una importante dispersión de datos de HC (ppm) para las SUV/VAN de uso particular mayores a 10 años. Las SUV/VAN de uso público 1998 y anteriores también presentan valores extremos, lo cual puede atribuirse a la antigüedad y estado de mantenimiento mecánico de los vehículos.



Fuente: INE, 2009. Elaboración propia, con información del sensor remoto 2008.

Figura 2.24 Comparación de las emisiones HC (ppm) por estrato y tipo de uso del vehículo en Morelia.

Óxido nítrico (NO)

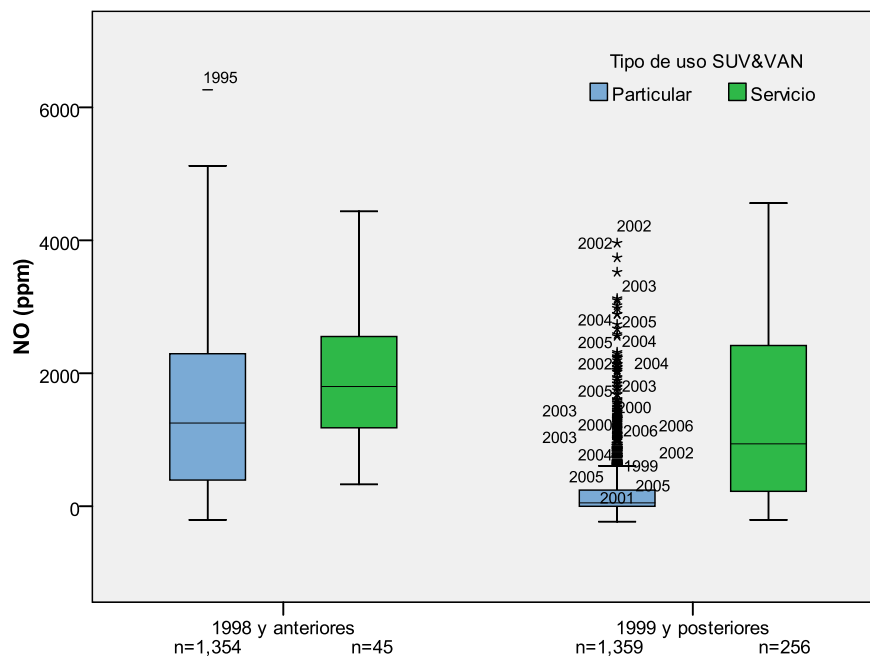
Los resultados de emisión de NO (ppm) para las SUV/VAN de uso particular, muestran que este tipo de vehículos emiten, en promedio, el 41.5% y 445.2% más de óxido nítrico que las SUV/VAN de uso privado en sus estratos 1998 y anteriores y 1999 y posteriores, respectivamente. La diferencia en emisión de óxido nítrico en el estrato 1999 y posteriores es importante, la cual se puede explicar por la intensidad de uso de las SUV/VAN de uso público, ya que como se mencionó son uno de los principales medios de transporte público en la ciudad de Morelia. Otro factor que influye en este resultado es la edad promedio del parque vehicular y de transporte público.

Cuadro 2.16 Estadísticas descriptivas de NO (ppm) por estrato y uso del vehículo.

Estadística	SUV/VAN particular		SUV/VAN servicio	
	1998 y ant.	1999 y post.	1998 y ant.	1999 y post.
Tamaño de muestra	1,354	1,359	45	256
Media	1,430	248	2,023	1,352
Mediana	1,251	50	1,801	938

Fuente: INE, 2009. Elaboración propia, con información del sensor remoto 2008.

La figura 2.25, muestra la dispersión de datos de la emisiones de NO (ppm) para las SUV/VAN de uso particular y privado. El valor promedio y la mediana, en ambos estratos, es mayor para los vehículos de uso público que los de uso privado. Sin embargo, en las SUV/VAN de uso privado 1999 y posteriores se observa una importante dispersión de datos, lo cual puede deberse al mantenimiento, uso y edad de cada unidad.



Fuente: INE, 2009. Elaboración propia, con información del sensor remoto 2008.

Figura 2.25 Comparación de la emisión de NO (ppm) por estrato y tipo de uso del vehículo en Morelia.

2.2.4 Estadística inferencial de las emisiones

En esta sección se presentan los resultados de la estadística inferencial de las emisiones vehiculares recopiladas durante el estudio con sensor remoto en la ciudad de Morelia.

El anexo D muestra los detalles para obtener los parámetros de la distribución gamma de la medición de emisiones de CO y HC obtenidas en Morelia. Debido a que se obtuvo un muy buen ajuste para los datos reales en ambos casos, se utilizó esta distribución para estimar el intervalo de confianza al 95% para el promedio de la medición de las emisiones vehiculares de CO y HC, suponiendo que siguen una distribución gamma.

Monóxido de carbono (CO)

El cuadro 2.17 muestra el intervalo de confianza al 95% (valor medio, límite inferior y superior) para las mediciones de CO obtenidas en Morelia. Debido a que los intervalos de confianza para los resultados de CO obtenidos en Morelia resultan muy cercanos a la media, se esperaría una incertidumbre muy baja.

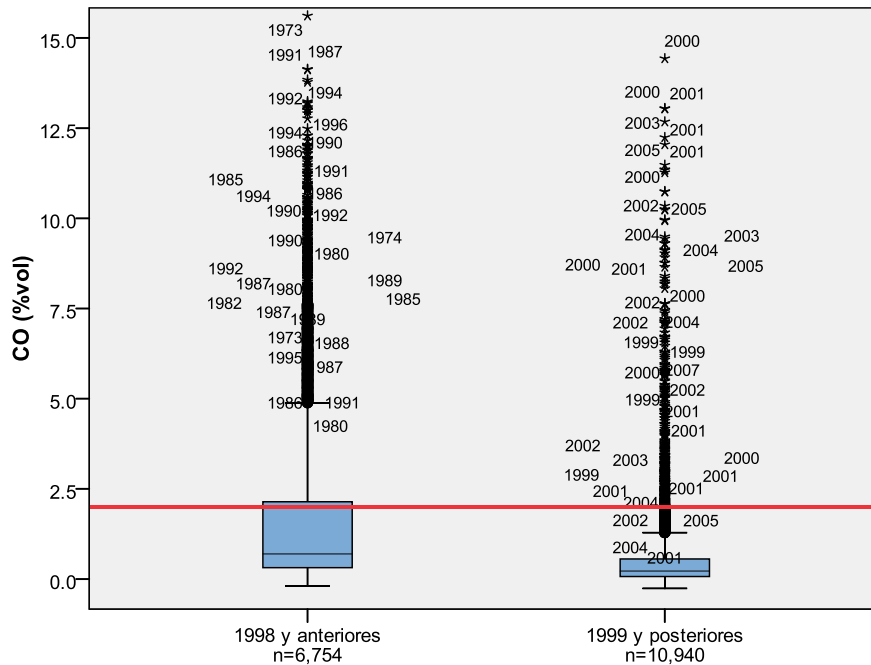
Cuadro 2.17 Valor medio, límite inferior y superior para el intervalo de confianza al 95% obtenido para las concentraciones de CO (%vol).

Estadística	Morelia
Límite inferior	0.9678
Media	1.0123
Límite superior	1.0577

Fuente: INE, 2009. Elaboración propia, con información del sensor remoto 2008.

La probabilidad de que las emisiones de CO de los vehículos que circulan en Morelia excedan el umbral del 2%, dio como resultado 0.1595 ($\mu=0.3182$ y $\mu=3.1814$); esto quiere decir que, a partir del muestreo realizado, se puede inferir que aproximadamente el 16% de los vehículos que circulan en esta ciudad rebasarían el umbral de 2% vol, y muy probablemente no aprobarían una prueba de verificación de gases de escape bajo el método de aceleración simulada o prueba dinámica.

En la figura 2.26 pueden observarse, por estrato tecnológico, los datos que rebasan el umbral del 2% en ambos estratos vehiculares.



Fuente: INE, 2009. Elaboración propia, con información del sensor remoto 2008.

Figura 2.26 Emisiones de CO (% vol) y el umbral de 2% en Morelia.

Hidrocarburos (HC)

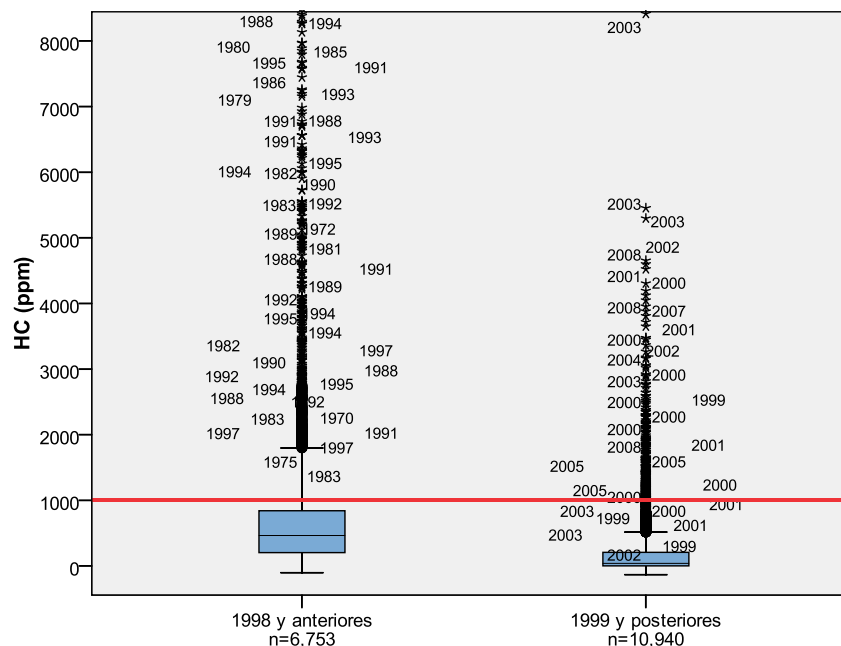
El cuadro 2.18 muestra los valores de los límites superior e inferior y la media (suponiendo que siguen una distribución gamma) del intervalo de confianza al 95% para las mediciones de HC (ppm) en Morelia. Los intervalos de confianza para la ciudad de Morelia resultaron cercanos a la media de cada lugar, lo que indica un nivel de incertidumbre muy bajo.

Cuadro 2.18 Valor medio, límite inferior y superior para el intervalo de confianza al 95% obtenido para las concentraciones de HC (ppm).

Estadística	Morelia
Límite inferior	479.7
Media	496.9
Límite superior	514.4

Fuente: INE, 2009. Elaboración propia, con información del sensor remoto 2008.

En lo que respecta al cálculo del porcentaje de vehículos en circulación en Morelia que excederían el umbral del 1,000 ppm de HC, la probabilidad de exceder dicho umbral dio como resultado 0.1545 ($\mu=0.5492$ y $\mu=904.75$). Esto quiere decir, que al menos el 15% de los vehículos que circulan en Morelia rebasarían el umbral de 1,000 ppm, y muy probablemente no aprobarían una prueba de verificación de gases de escape bajo el método de aceleración simulada o prueba dinámica. La figura 2.29 muestra la cantidad de vehículos que rebasan el umbral (línea roja) de 1,000 ppm de HC.



Fuente: INE, 2009. Elaboración propia, con información del sensor remoto 2008.

Figura 2.27 Emisiones de HC y el umbral de 1,000 ppm en Morelia.

3. CONCLUSIONES

Los hallazgos principales sobre emisiones y actividad vehicular en Morelia, Michoacán, se comentan a continuación:

3.1 Actividad y características de la flota vehicular

- La flota vehicular de la ciudad de Morelia está compuesta por 66% de automóviles, 20% de pick up y VAN, 13.98% de SUV y menos del 1% de vehículos pesados, de acuerdo al conteo directo realizado en vialidades de esa ciudad.
- En cuanto a la composición de la flota vehicular por edad, el 39% de los vehículos en circulación tienen una antigüedad de más de 10 años.
- Los resultados de actividad vehicular, distancia recorrida por día, muestran que las pick up son los vehículos que más distancia recorren en promedio por día con 81 km/día, seguido de los automóviles, 61km/día y las SUV/VAN, 53 km/día.
- En el análisis por número de cilindros se observa que el 68% de los vehículos que circulan en Morelia son de 4 cilindros, el 24% tiene 6 cilindros, y el 8% cuenta con 8 cilindros. El porcentaje de vehículos con 6 y 8 cilindros es mayor que el que se presenta en la ZMVM.
- En cuanto a su procedencia, el 5% de los automóviles; el 27% de las SUV&VAN; y, el 33% de las pick up que circulan en Morelia fueron comprados como nuevos en otro país distinto a México.
- El parque vehicular en circulación estimado para Morelia es de 172,575 vehículos: 112,934 automóviles; 34,813 pick up; y 24,828 SUV&VAN.

3.2 Emisiones

- En cuanto a sus emisiones, para la flota vehicular en general, los vehículos de diez años o más de antigüedad emiten más contaminantes que los más recientes (1999 y posteriores): emiten 3.8 veces más CO; 5 veces más HC; y, 2.3 veces más NO. Sin embargo, en los vehículos de menos de diez años de antigüedad también se presentaron valores extremos de emisión, aunque los casos no son muy numerosos. Este comportamiento es consistente en todos los contaminantes.
- En términos del servicio que proporcionan (Taxis vs. Automóviles particulares), los taxis muestran, en general, emisiones mayores que los vehículos de uso particular: 53%, CO; 174%, HC; y, 205% NO, en el estrato 1999 y posteriores.
- Las SUV/VAN de servicio emiten en ambos estratos vehiculares más contaminantes que las SUV/VAN de uso privado. Estas diferencias en emisión son mayores en el estrato 1999 y posteriores (vehículos de menos de 10 años de antigüedad). En general, las emisiones de las SUV/VAN son mayores que las de los vehículos de uso particular del mismo tipo: 53% veces más CO; 403%, veces más HC; y, 445% más de NO.
- Aproximadamente, el 16% de los vehículos que circulan en Morelia, rebasarían el umbral de 2% vol. de CO, y el 15% de los vehículos rebasaría el umbral de HC, es decir, muy probablemente no aprobarían una prueba de verificación de gases de escape bajo el método de aceleración simulada o prueba dinámica.

Los resultados muestran la necesidad de establecer un control de las emisiones de los vehículos en circulación, especialmente aquellos con antigüedad mayor a diez años, pero sin excluir a los vehículos más recientes, pues éstos también pueden presentar altas emisiones, dependiendo de diversos factores: inspección y mantenimiento, uso, antigüedad y tipo de vehículo.

4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Beaton SP, Bishop GA, Stedman DH, *Emission Characteristics of Mexico City Vehicles*, Journal of the Air & Waste Management Association, Vol. 42, No. 11, 1992.
- Bishop G. A., D. H. Stedman, J. De la Garza-Castro and F.J. Dávalos. 1997. *On Road Remote Sensing of Vehicle Emissions in Mexico*. Environ. Sci. & Technol. Vol. 31, pp.3505-3510.
- Bishop G. A. and Stedman D. H., 2006. *On-Road Remote Sensing of Automobile Emissions in west Los Angeles: Year 4*, Department of Chemistry and Biochemistry, University of Denver, 2006.
- Bishop G. A. and Stedman D. H., 2006. *On-Road Remote Sensing of Automobile Emissions in the Denver Area: Year 6*, Department of Chemistry and Biochemistry, University of Denver, 2007.
- Centro Mario Molina, *Medición de emisiones vehiculares en Ciudad Juárez*. 2006. Disponible en línea: <http://www.centromariomolina.org/publicaciones.html>
- CONAPO, 2009. "Proyecciones DE la población de México 2005-2050". Disponible en: http://www.conapo.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=36&Itemid=234
- Diario Oficial de la Federación. 2007. NORMA Oficial Mexicana NOM-041-SEMARNAT-2006, *Que establece los límites máximos permisibles de emisión de gases contaminantes provenientes del escape de los vehículos automotores en circulación que usan gasolina como combustible*. Primera sección. SEMARNAT. 6 de marzo de 2007.
- EPS, August 2004, *Remote Sensing Milestones, "US Experience"* Niranjan Vescio, ESPH, Environmental Systems Products, 2002 N. Forbes, Tucson, Arizona 85745-1446 USA.
- Gilbert, Richard O. *Statistical methods for environmental pollution monitoring*. 1987, John Wiley & Sons.
- Gobierno del Estado de Nuevo León, 2008, Secretaria de Finanzas del Estado, Programa de emplacamiento 2008.
- INE, 2006. "*Inventario nacional de emisiones de México, 1999*". Instituto Nacional de Ecología, SEMARNAT y Western Governors' Association. México, D.F.

- INE, 2007. “*Tercer almanaque de datos y tendencias de la calidad del aire en nueve ciudades mexicanas*”. Instituto Nacional de Ecología, México, D.F.
- INE, 2008. “*Resultados del procesamiento de información de las redes de monitoreo atmosférico de los estados, recopilada por el INE-DGICUR*”. Instituto Nacional de Ecología – DGICUR.
- INEGI, 2007. “*Porcentaje de población emigrante a Estados Unidos de América, para cada entidad federativa (año 2000)*”. Disponible en: http://cuentame.inegi.gob.mx/monografias/informacion/zac/poblacion/m_migratorios.aspx?tema=me&e=32.
- INEGI, 2009. “*Estadística de vehículos de motor registrados en circulación*”. Disponible en: http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/espanol/proyectos/metadatos/continuas/vmrc_337.asp?s=est&c=14749
- INEGI. 2006b. II Censo de Población y Vivienda 2005 con estimación. Disponible en línea:
<http://www.inegi.gob.mx/est/contenidos/espanol/proyectos/conteos/conteo2005/>
<http://www.inegi.gob.mx/est/contenidos/espanol/proyectos/conteos/conteo2005/bd/consulta2/pt.asp?c=6796>
- Popp, P.J., S.S. Pokharel, G. A. Bishop and D. H. Stedman. 1999. *On-Road Remote Sensing of Automobile Emissions in the Denver Area: Year 1*; Department of Chemistry and Biochemistry, University of Denver, 1999.
- RSD, April 2005, “*Correlation and Remote Sensing Device Application Results. A Summary of the Milestones Reached*”, RSD-ER0001, Rev. D., ESP-Environmental Systems Products 2002 N. Forbes Tucson, Arizona 85745-1446 USA.
- SEMARNAT, 2007. “*Importación definitiva de autos usados. Consecuencias e impactos ambientales*”. Documento de trabajo. Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental, Dirección General de Gestión de la Calidad del Aire y RETC, Dirección de Calidad del Aire, México, D.F.
- Shifter, I., L. Díaz, J. Durán, E. Guzmán, O. Chávez, López-Salinas. 2003. Remote sensing study of emissions from motor vehicles in the Metropolitan Area of Mexico City. *Environmental Science and Technology*. 37: 395-401.
- Sigrist, M. W., (1994), *Air Monitoring by Spectroscopy Techniques*, Wiley Interscience.
- SMA-GDF, 2006. *Campañas de monitoreo ambiental a distancia de vehículos*. Disponible en línea:
<http://www.sma.df.gob.mx/sma/modules.php?name=News&file=article&sid=358>

- TSTES, *“Estudio de emisiones y características vehiculares en ciudades mexicanas. Fase I: “Tijuana y Mexicali”*. Parte A, Monterrey. The Sustainable Transport and Emissions Services (TSTES), S.A. de C.V., 2007.
- TSTES, *“Estudio de emisiones y características vehiculares en ciudades mexicanas. Fase II: Matamoros, Monterrey y Zacatecas”*. Parte A, Monterrey. The Sustainable Transport and Emissions Services (TSTES), S.A. de C.V., 2008.
- TSTES, *“Estudio de emisiones y características vehiculares en Morelia, Michoacán”*. The Sustainable Transport and Emissions Services (TSTES), S.A. de C.V., 2009.
- Unal Alper. *“Chocolate Vehicle Emissions Measurements on Mexico-US Border Cities: Data Collection Protocol”*, EMBARQ, El Centro de Transporte Sustentable, 2007.
- Visauta Vinacua B. *Análisis estadístico con SPSS 14*, Tercera edición, McGraw-Hill, España 2007.
- Wenzel, Thomas P.; Singer, Brett C.; Slott, Robert R.; et.al. Short-term emissions deterioration in the California and Phoenix I/M programs. *Transportation Research Part D*, Vol. 9; 2004; 107-124.
- Zhang Y, Bishop G.A., Stedman D.H., Automobile Emissions Are Statistically Distributed. *Environmental Science & Technology*, 1994 Vol. 28, No. 7, pp. 1370-1374.

ANEXO A. Aspectos generales de la ciudad de Morelia

A.1 Localización geográfica

El municipio de Morelia está localizado entre los paralelos 19°30' y 19°50' de latitud norte, y los meridianos 101°00' y 101°30' de longitud oeste, en la región centro-norte del estado de Michoacán. Limita al norte con los municipios michoacanos de Tarímbaro, Chucándiro y Huaniqueo; al este con Charo y Tzitzio; al sur con los municipios de Villa Madero y Acuitzio; y al oeste con los municipios de Lagunillas, Quiroga, Coeneo y Tzintzuntzan. La altitud municipal oscila entre los 1,400 y 3,090 msnm y ocupa una extensión de 1,199 km², mientras que el área urbana de Morelia abarca alrededor de 85 km², es decir, el 7.1 % de la superficie municipal.



Fuente: INEGI, 2009.

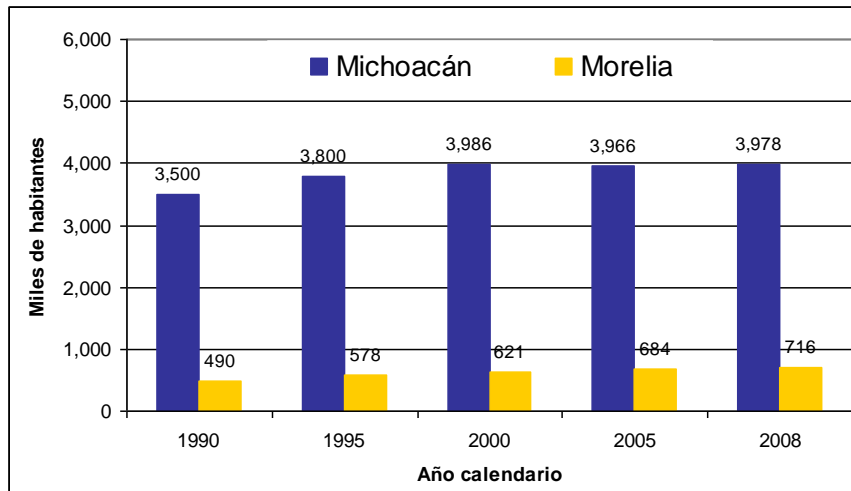
Figura A.1 Localización geográfica de Michoacán.

A.2 Aspectos socioeconómicos

Población

De acuerdo con el INEGI, en 2005 el municipio de Morelia tenía 684,145 habitantes, lo que representaba el 17% de la población total del estado de Michoacán ese mismo año. Sin embargo, para 2008, de acuerdo al Consejo

Nacional de Población (CONAPO), la población de Morelia creció a 715,840 habitantes lo que representa casi el 18% de la población de Michoacán. Según datos del INEGI, de cada 1,000 michoacanos, 42 emigran hacia Estados Unidos de América; el promedio nacional es de 16 de cada 1,000 habitantes.



Fuente: INE, 2009. Elaborada con información de INEGI y CONAPO, 2009.

Figura A.2 Crecimiento de la población en Morelia, Michoacán.

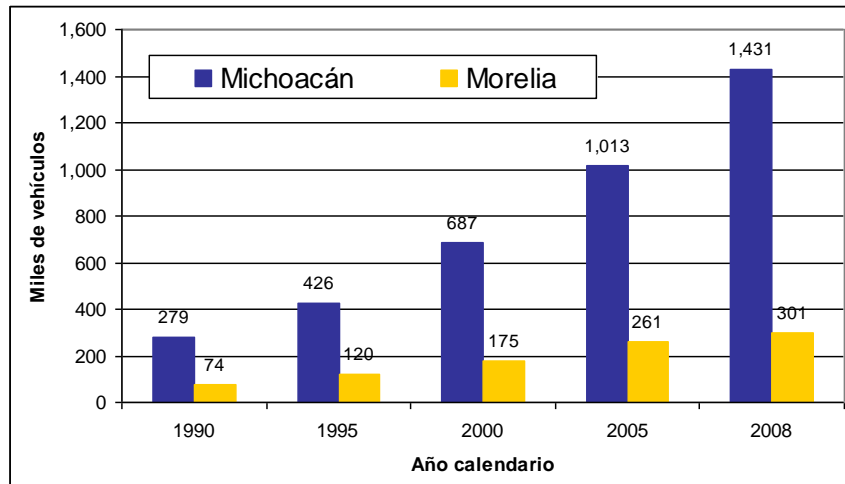
Actividad económica

Las principales actividades económicas del municipio de Morelia son el comercio y el turismo (63.7%); y de la industria de la construcción y la manufacturera (25.9%). Dentro del sector industrial, en Morelia se localiza la Ciudad Industrial de Morelia (CIMO), en la que se establecen industrias con los siguientes giros: elaboración de aceite comestible, de productos químicos, de resinas, de harina, de la fundición, industria del plástico, calderas, a los dulces en conservas, al embotellamiento de agua y de refrescos, fabricación de generadores eléctricos, turbinas hidráulicas y de vapor y productos de celulosa y papel.

Transporte

De acuerdo con información del Instituto Nacional de Geografía, Estadística e Informática (INEGI), acerca de “Vehículos de motor registrados en circulación”, del año 2000 a 2008 la flota vehicular de Morelia ha crecido un 72%, es de decir, actualmente circulan en esa ciudad más de 300 mil vehículos automotores. Como

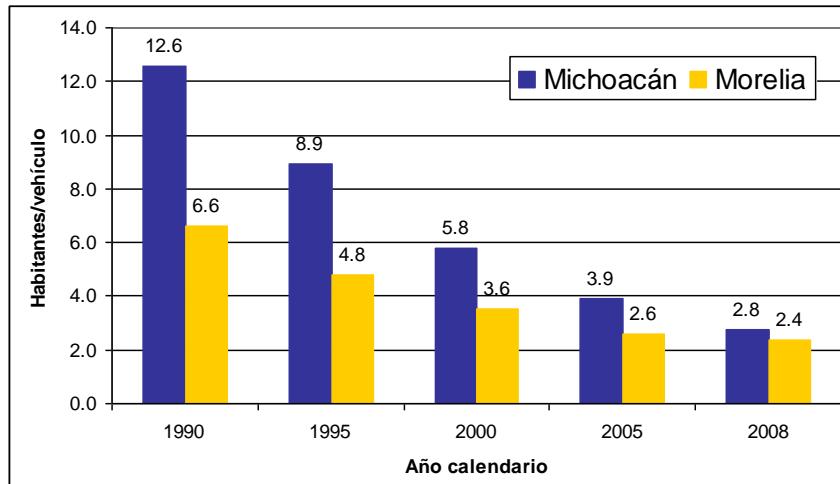
se observa en la figura A.3, la flota vehicular de Morelia representaba, en 2008, el 21% del parque vehicular en circulación del estado de Michoacán.



Fuente: INE, 2009. Elaborada con información de INEGI, 2009.

Figura A.3 Crecimiento de la flota vehicular en Morelia, Michoacán.

A partir de la información de número de habitantes y vehículos en la ciudad de Morelia y en general en el estado de Michoacán, se obtuvo el índice de motorización. La figura A.4 muestra que el año 1990 el índice de motorización promedio en el estado de Michoacán era prácticamente el doble que en el municipio de Morelia; sin embargo, conforme ha avanzado el tiempo, este índice cada vez es más cercano entre la motorización a nivel estatal y la del municipio de Morelia. Es decir, el rápido crecimiento de la flota vehicular en otras ciudades michoacanas diferentes a Morelia, como se observa en la figura A.4 ha hecho que la diferencia del número de habitantes por vehículo, actualmente, sea mínima entre Morelia y el resto de Michoacán.



Fuente: INE, 2009. Elaborada con información de INEGI y CONAPO, 2009.

Figura A.4 Índice de motorización en Morelia, Michoacán.

Como parte de las acciones que ha emprendido el gobierno de Michoacán para la regulación ambiental de la flota vehicular que circula en sus ciudades, en septiembre de 2004 se publicó el Programa de Verificación Vehicular Obligatorio e inició operación con 66 centros de verificación, establecidos en 22 municipios. Posteriormente, el 9 de octubre de 2008, la Secretaría de Urbanismo y Medio Ambiente (SUMA) del gobierno de Michoacán, celebró un acuerdo con autoridades de la Comisión Ambiental Metropolitana (CAM) del valle de México, para homologar el procedimiento y la papelería requerida, para otorgar el holograma requerido para la libre circulación de vehículos con placa de Michoacán en el valle de México.

A.3 Calidad del aire

El H. Ayuntamiento de Morelia; la Secretaría de Urbanismo y Medio Ambiente del Gobierno del Estado (SUMA), y la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo establecieron en el año del 2006 el *Programa de Monitoreo de la Calidad Atmosférica* en la ciudad, con el objetivo de mantener informada a la población la calidad del aire que respira. La Unidad de Monitoreo Atmosférico de Morelia (UNIMAT) empezó a medir la calidad del aire de Morelia de manera continua a finales de 2007. La UNIMAT se encuentra ubicada en la azotea del Palacio Municipal del H. Ayuntamiento de Morelia y mide las concentraciones de los

contaminantes criterio: ozono (O_3), partículas aerodinámicas con diámetro menor a 10 micras (PM_{10}), monóxido de carbono (CO), bióxido de azufre (SO_2) y bióxido de nitrógeno (NO_2).

Con la información de 2008 del UNIMAT, se evaluó el cumplimiento de la calidad del aire de Morelia de acuerdo a las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) publicadas por la Secretaría de Salud (SS). Los resultados del análisis de la información indica que en 2008, el principal problema en Morelia fue el O_3 , debido a que no se cumplió con el límite horario y tampoco con el anual; sin embargo, se cumplieron las normas de calidad del aire para las PM_{10} , el CO, el NO_2 y el SO_2 .

En relación con el O_3 , se superaron los límites horario (0.11 ppm) y anual (0.08 ppm, 8 horas) en alrededor de un 70%; el valor máximo horario fue de 0.19 ppm y el del quinto máximo de los promedios móviles de 8 horas de 0.135 ppm. El límite horario fue rebasado en 51 de los 202 días del año que se contó con información suficiente.

De acuerdo con el inventario nacional de emisiones de México 1999 (INEM 1999), las principales fuentes de emisión antropogénicas (móviles, fijas, fuentes móviles no carreteras y de área) de los precursores de ozono son las fuentes de área, en el caso de los COV; y las fuentes móviles, para los NO_x . La emisión de los COV provenientes de las fuentes de área, representa el 67% del total de las fuentes antropogénicas, mientras que para el caso de los NO_x , las fuentes móviles emiten el 31% del total (INE, 2006).

ANEXO B. Metodología

Los objetivos del estudio de campo en la ciudad de Morelia fueron los siguientes:

- a) Medir las emisiones del parque vehicular en circulación y relacionarlas con sus características (tipo, antigüedad, etc.), y
- b) Obtener información de la flota vehicular de esta ciudad (número de unidades, características, proporción de autos de origen nacional y de origen extranjero, kilómetros recorridos, etc.) que permitan mejorar el inventario de emisiones de fuentes móviles.

Para cumplir con estos objetivos se consideraron dos componentes básicos, la medición de emisiones vehiculares a través de uso de un equipo de detección remota y la caracterización de la flota vehicular a través de la aplicación de encuestas a automovilistas para obtener un panorama general de la actividad vehicular (distancias recorridas, uso del vehículo y consumo de combustible por tipo de vehículo) y las características técnicas (marca, submarca, tipo de vehículos, número de cilindros, cilindrada, etc.) del parque vehicular en circulación.

B.1 Actividad y características de la flota vehicular

B.1.1 Selección de los sitios de muestreo

Las características técnicas de interés para este estudio son el tamaño de la flota, composición por tipo de vehículo, origen, antigüedad; además de sus datos de actividad, como la distancia recorrida, tipo de uso y consumo de combustible. Para obtener esta información, se realizaron las siguientes actividades:

- **Aplicación de encuestas**, en estaciones de servicio (gasolineras) a mil conductores de vehículos.
- **Conteo directo** para obtener de aforos vehiculares y una primera aproximación de la composición del parque vehicular que circula en la ciudad por categoría, de acuerdo con su procedencia.

- **Recopilación de bases de datos de ventas** históricas de la industria automotriz en la ciudad de Morelia para determinar la cantidad y composición de la venta de vehículos nacionales que se incorporó, año con año, al parque vehicular.
- **Análisis de la base de datos vehicular** de la Secretaría de Finanzas del Gobierno del estado de Michoacán de Ocampo para corroborar información de composición y edad vehicular.
- **Captura del tipo de vehículo** a través del acervo fotográfico obtenido durante el trabajo de campo realizado con el equipo de detección remota. Este análisis permitió obtener información de la composición, por tipo de vehículo, de la flota vehicular analizada con el sensor remoto.

Cuadro B.1 Métodos e información recopilada.

Método	Información obtenida
Encuestas	<ul style="list-style-type: none"> • Procedencia del vehículo • Distancia recorrida • Consumo de combustible • Número de cilindros
Conteo directo, ventas históricas de vehículos nuevos y modelo estadístico.	<ul style="list-style-type: none"> • Parque vehicular “vivo” o en circulación
Bases de datos de registro vehicular local y sensor remoto.	<ul style="list-style-type: none"> • Antigüedad del parque vehicular
Bases de datos de sensor remoto	<ul style="list-style-type: none"> • Composición del parque por tipo de vehículo

Selección de sitios de muestreo para la aplicación de encuestas y conteo de vehículos

La selección de los sitios para la aplicación de encuestas a automovilistas y el conteo directo de vehículos se basó en los siguientes criterios:

- Se seleccionaron 5 estaciones de servicio ubicadas lo más cerca posible a los puntos utilizados para el monitoreo con equipo de detección remota, con la finalidad de posteriormente realizar una correlación de los datos de composición, actividad y emisiones vehiculares.

- Se seleccionaron vialidades representativas (en donde circulen vehículos con diferente uso) de la zona de estudio para realizar los conteos de vehículos.

Los cinco puntos donde se llevaron a cabo el conteo y la aplicación de las mil entrevistas se indican en el cuadro B.2.

Cuadro B.2 Puntos seleccionados para la aplicación de encuestas.

Clave	Ubicación
1	Camino a Jesús del Monte No.1200, Col. Santa María de Guido, C.P. 58020
2	Periférico Paseo de La República No.139, Col. Isaac Arriaga, C.P.58210
3	Av. Madero Oriente No. 2518, Col. Vasco de Quiroga, C.P.58230
4	Calz. La Huerta No.550, Col. Centro, C.P.58000
5	Libramiento Paseo de La República Noroeste No.5433, Col. Wenceslao Victoria Soto, C.P.54148

Fuente: INE, 2009. Elaborado con información de TSTES, 2009.

La figura B.1 muestra los sitios seleccionados para la aplicación de encuestas.



Localización de estaciones de servicio para la aplicación de encuestas

Fuente: INE, 2009. Elaborada con información de TSTES, 2009 y Guía Roji, 2008.

Figura B.1 Puntos seleccionados para la aplicación de encuestas.

B.1.2 Recopilación de información en campo

Se realizó el conteo directo durante cinco días, un día en cada uno de los puntos seleccionados (ver cuadro B.2 y figura B.1), del 7 al 11 de julio de 2009, durante 20 minutos cada hora entre las 8:00 y las 18:00 horas. El personal a cargo de los conteos tiene experiencia para identificar en forma visual la procedencia de los vehículos (nacional ó importado), en base a la carrocería, marca y submarca de los vehículos automotores. La clasificación que se realiza considera los siguientes tipos de vehículos: autos, VAN, SUV (Sport Utility Vehicles), pick up y estaquitas, camión de pasaje (servicio público), camión de carga y motocicletas.

Adicionalmente a la información que se obtiene del tipo de vehículo a través de la aplicación de encuestas, se corrobora esta información con el uso del registro fotográfico de los vehículos captados con el sensor remoto, es decir, se realiza una segunda captura del tipo de vehículo, a través de la misma fotografía utilizada para registrar el número de placa de los vehículos captados durante el estudio con

el sensor remoto. La ventaja de este método, es que se tiene una mayor muestra (miles de vehículos) que la obtenida a través de las encuestas (1,000 por ciudad). La clasificación por tipo de vehículo es la misma que la utilizada durante la aplicación de encuestas.

Por otra parte, se diseñó una encuesta en la que se incluyen preguntas orientadas a obtener información acerca de los siguientes aspectos:

- **Características técnicas del vehículo:** año modelo y número de cilindros.
- **Actividad del vehículo:** lectura del odómetro, número de días de la semana que se utiliza, tipo de uso, gasto en consumo de combustible por semana y distancia recorrida por semana
- **Procedencia del vehículo:** Hace cuánto tiempo se adquirió el vehículo y dónde fue comprado como nuevo.
- **Inspección y mantenimiento**

Los formatos empleados para recopilar la información a través del conteo directo y la entrevista se encuentran en los anexos A y B. Cabe resaltar, que las entrevistas se aplicaron en estaciones de servicio localizadas sobre las mismas avenidas donde se realizó el conteo directo de vehículos.

Para estimar el tamaño del parque vehicular por categoría vehicular (automóviles, SUV, VAN y pick-up/estaquitas), se distribuyó el parque por edad y tipo de vehículo, y así poder estimar una curva de mortalidad de acuerdo con las ventas históricas de vehículos nuevos.

Para realizar la aplicación de encuestas y la estimación del parque vehicular “vivo” o en circulación, se contrató a la empresa The Sustainable Transport and Emissions Services Company (TSTES, S.A. de C.V.), quien elaboró un reporte detallado con los resultados de la encuesta. El reporte está disponible en el INE para aquellos interesados en profundizar en algún aspecto en particular.

B.2 Emisiones vehiculares

En este estudio, en lo que respecta a la medición de las emisiones vehiculares, se utilizó un equipo de detección remota porque mediante esta técnica es posible obtener un gran número de mediciones en un tiempo relativamente corto y, adicionalmente, pueden relacionarse con las características generales de los vehículos, lo que permite observar correlaciones entre éstas y sus emisiones. A continuación se describe la metodología empleada para la instalación del sistema de detección remota, la duración del estudio, el criterio de selección de sitios, la calibración del equipo, la recolección y el procesamiento de los datos obtenidos.

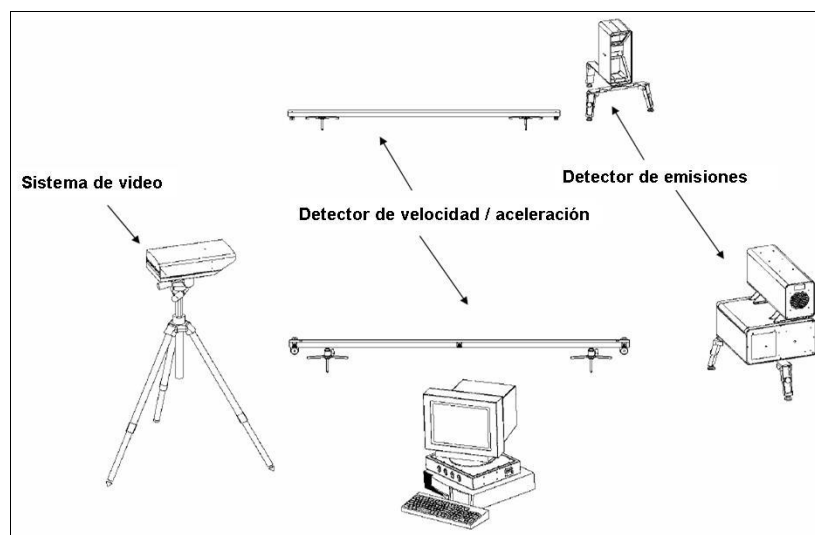
B.2.1 Equipo utilizado y su calibración

Los equipos de monitoreo remoto son ampliamente usados en diversas aplicaciones ambientales, entre ellas, el monitoreo a distancia de las emisiones de vehículos en circulación (Sigrist, 1994). En la ciudad de Morelia se utilizó el equipo Accuscan RSD-4600, propiedad del INE. Mediante este equipo se obtienen mediciones de monóxido de carbono (CO), bióxido de carbono (CO₂), hidrocarburos (HC), óxido nítrico (NO) y opacidad.

Este equipo lanza un haz de luz infrarrojo a lo largo de una trayectoria de entre 4.5 a 8.5 m, a través de la vialidad, a la altura del tubo de escape de gases de los vehículos, hacia una serie de detectores o filtros para bandas de absorción de 3.3, 4.6 y 4.3 micrómetros, en donde se mide la cantidad de energía absorbida. La energía absorbida es proporcional a la concentración de hidrocarburos, monóxido de carbono y bióxido de carbono respectivamente, presentes en la nube dejada por el escape del automotor. La medición del óxido nítrico se lleva a cabo utilizando una fuente de luz ultravioleta; la del HC y CO se realiza mediante el uso de una luz infrarroja. Los resultados obtenidos se presentan en concentración, es decir, en partes por millón para los hidrocarburos y el óxido nítrico, en tanto que

para el monóxido y bióxido de carbono el resultado se expresa en porcentaje de volumen.

El sistema cuenta con sensores que permiten cuantificar la velocidad y la aceleración de cada vehículo monitoreado. Estos parámetros son determinantes para la medición, puesto que sólo se consideran válidas las mediciones en las que se registran valores de velocidad entre 8 y 160 km/h, y de aceleración entre -20.9 y 22.5km/h/s. Estos sensores están perfectamente sincronizados con el equipo que registra las emisiones vehiculares así como con una cámara de fotografía digital, con la cual se toma una fotografía de la parte trasera de cada unidad con la intención de obtener una imagen de cada matrícula, lo que permite obtener los datos particulares, a través de bases de datos del registros del padrón vehicular local, de los vehículos monitoreados (como año modelo, tipo, cilindrada, etc.). La figura B.2 muestra los tres elementos básicos del equipo de medición remota, a decir, el detector de emisiones, las barras de detección de velocidad / aceleración y el sistema de video (ESP, 2004).



Fuente: ESP, 2004.

Figura B.2 Elementos del equipo de detección remota.

Las mediciones realizadas son concentradas en un equipo de cómputo, en donde las lecturas de los gases contaminantes, la aceleración y la velocidad son comparadas en automático por un software que contiene valores preestablecidos

de estos parámetros, de forma tal que al presentarse resultados irregulares, el sistema crea banderas de alerta para que los datos no válidos no sean tomados en cuenta durante el análisis de la información (ESP, 2004).

El equipo fue calibrado todos los días antes de iniciar las mediciones. Adicionalmente, debido a que así lo requiere el sistema, se calibró con el gas estándar cada 2 horas como máximo, dependiendo del número de vehículos monitoreados. De la misma forma, durante las mediciones se revisó la realineación de los espejos del sistema óptico y se ajustó cuando fue necesario para asegurar la calidad de las mediciones realizadas.

B.2.2 Selección de los sitios de muestreo

Los criterios considerados para la selección de los sitios de medición fueron:

- a) Captar vehículos que circulan en zonas con características socioeconómicas distintas, porque se sabe que el tipo de vehículo, su antigüedad y su mantenimiento dependen de este tipo de variables;
- b) Seleccionar vialidades con alto flujo vehicular (800 a 1,100 vehículos por hora), para asegurar la recopilación de suficiencia de información para el análisis estadístico;
- c) Seleccionar vialidades de 2 ó 3 carriles, que permitieran el paso de los vehículos, uno a uno, por entre las barras de detección de velocidad/aceleración;
- d) Seleccionar vialidades que contaran con una pendiente positiva, para asegurar que el vehículo transitara en aceleración y con una velocidad comprendida entre los 30 y 40 kilómetros por hora, al momento de pasar frente al equipo analizador de gases.

Como herramientas de apoyo en la selección de los sitios de muestreo se utilizó la cartografía de la red vial y de uso de suelo de la ciudad. Asimismo, se realizaron

recorridos previos al inicio de las mediciones, para asegurar la correcta selección de los puntos.

El cuadro B.3 describe la ubicación de los puntos en los que se colocó el equipo de medición, así como las fechas en que se realizaron las mediciones en cada uno de estos puntos y el principal tipo de actividad económica en la zona. En todos los casos, la unidad móvil fue instalada en cada vialidad, restringiendo la circulación vehicular a un solo carril para asegurar que los vehículos pasaran entre las barras de detección de velocidad y los espejos del sistema óptico del equipo de detección remota.

Cuadro B.3 Ubicación de los sitios de muestreo en la ciudad de Morelia.

No.	Fecha	Ubicación	Tipo de zona
1	10-Nov-08	Av. Juan Pablo Segundo (Subida a Santa María, frente a la Universidad Vasco de Quiroga)	Habitacional
2	11-Nov-08	Periférico (Frente a la farmacia GEMS)	Comercial
3	12-Nov-08	Calzada Fco. I. Madero (Salida a Charo, frente a Deportes Juventud)	Habitacional/ Comercial
4	13-Nov-08	Calzada La Huerta	Comercial
5	14-Nov-08	Carretera a Zinapécuaro sobre el puente de la carretera a Salamanca (frente a la calera)	Habitacional
6	15-Nov-08	Periférico (a la altura de Soriana de El Realito (Frente a la estación de gas Carburación Comercial)	Comercial

Fuente: INE, 2009. Elaboración propia.

De manera complementaria, la figura B.3 muestra un mapa de la ciudad de Morelia, el cual indica la ubicación de los puntos de monitoreo donde se llevaron a cabo las mediciones empleando el equipo de detección remota.



Fuente: INE, 2009. Elaborada con información de TSTES, 2009 y Guía Roji, 2008.

Figura B.3 Ubicación de los sitios de medición de emisiones vehiculares con equipo de detección remota en la ciudad de Morelia.

B.2.3 Periodo de muestreo

Las mediciones se llevaron a cabo con base en la metodología citada por Schiffer et al, 2003 en estudios previos. En estos estudios se recomienda establecer una meta, en términos del número de vehículos a medir por día, de entre 1,000 y 2,000, (durante el estudio para Morelia se pudieron recopilar, en promedio, más de 5,000 vehículos por día) pudiendo variar este número de un día a otro. Asimismo, por lo general se espera que entre 50 y 60% de las mediciones realizadas sean válidas para análisis (es decir, que cuenten con valores de aceleración y velocidad adecuados). Esto es para que, utilizando un valor conservador de 50% de mediciones válidas, se cuente al final con entre 500 y 1,000 mediciones válidas por día.

En estos estudios es indispensable contar con información de las placas de circulación de los vehículos, ya que éstas se utilizan para consultar las bases de

datos de registros vehiculares y, así, obtener información del vehículo (tipo, año-modelo, etc.). Normalmente se considera que pueden encontrarse los registros vehiculares completos de alrededor del 30% de las placas observadas, por lo que el número de mediciones de emisiones válidas con información de vehículos resulta en aproximadamente 150 a 300 por día. Para asegurar que se recolecta el mayor número de mediciones posibles durante un día se requiere una buena afluencia vehicular, por lo que se sugiere que la recolección de datos sea entre las 8:00 y las 16.00 horas, tomando en cuenta fines de semana, para captar la variabilidad en el tipo de vehículos que circulan en distintos días, así como en zonas con diferente tipo de actividad económica (Unal, 2007).

Con base en estas recomendaciones, el estudio en la ciudad de Morelia se llevó a cabo del lunes 10 al sábado 15 de noviembre de 2008. Las mediciones se realizaron, en general, de las 9:00 a las 15:00 horas, con el objetivo de recolectar un número aproximado de entre 3 y 4 mil mediciones de vehículos por día, para asegurar el mayor número de registros válidos con información.

B.2.4 Captura de la información

Una vez terminado el proceso de recopilación de información de emisiones en campo, se realizó la captura manual de las placas de los vehículos de cada fotografía tomada para así asociarla con las emisiones medidas. En este proceso, se descartaron los datos no válidos, por tratarse de:

- vehículos sin placas, o con placas no visibles o no colocadas en el lugar especificado en el vehículo;
- registros correspondientes a peatones, bicicletas, motocicletas, unidades pesadas, vehículos con escapes altos;
- registros de emisiones con valores de 99.99 o 99999 que representan desalineación del sistema óptico del equipo o descalibración.

B.2.5 Control de calidad de la captura de información

Con el fin de asegurar la correcta captura de las placas de los vehículos se siguió la siguiente metodología para determinar si existían errores significativos en el proceso, y por lo tanto, si era necesario repetir la captura para un determinado día:

1. Se llevó a cabo un *muestreo aleatorio estratificado* de los registros capturados de acuerdo con el número de registros capturados en cada día (asignación proporcional). Los tamaños de muestra se obtuvieron mediante la siguiente ecuación:

$$n = \frac{\left(Z_{1-\frac{\alpha}{2}} \right)^2 \sum_{h=1}^7 w_h S_h^2}{d^2} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

n = tamaño de la muestra

$Z_{1-\frac{\alpha}{2}}$ = percentil donde se acumula el $(1-\alpha/2)$ % de una distribución normal estándar

$h = 1, 2, \dots, 7$ es el día en que se realizó la captura de las placas de los vehículos y que van del 4 al 10 de octubre

w_h = porcentaje del número de placas capturadas en el día h

S_h^2 = varianza de los errores de captura de las placas de los vehículos en el día h

d = margen de error con respecto al verdadero valor de la media de los errores de captura

α = nivel de significancia

Se utilizó un nivel de significancia del 1% ($\alpha= 0.01$) y un margen de error con respecto al verdadero valor de la media de los errores de captura de las placas de 0.015 ($d = 0.015$), basados en estudios previos realizados por la EPA que indican una aceptación de 7.5% ($S^2=0.075$) de la variabilidad de error de la captura de los datos (Gilbert 1987).

2. Una vez determinado el tamaño de muestra para cada día, se seleccionaron aleatoriamente los registros a ser revisados a partir de su número consecutivo en la base de datos.
3. Se procedió a comparar el número de placa capturado con la fotografía correspondiente a estos registros. Como criterio general se determinó que,

para cada uno de los días, si en más del 5% de los registros seleccionados para revisión la placa capturada no coincidía con la fotografía tomada por el equipo de detección remota, se capturarían nuevamente todos los registros de ese día.

La captura del número de placa fue realizada por personal de la Secretaría de Urbanismo y Medio Ambiente de Michoacán, y posteriormente, se llevó a cabo el control de calidad de esta actividad por parte de personal del INE. El cuadro B.4 especifica los tamaños de muestra obtenidos, por día, para este proceso, así como el porcentaje de error en la captura encontrado para cada muestra.

Cuadro B.4 Tamaño de muestra y porcentaje de error en la captura por día de medición.

Fecha	Tamaño de muestra	% de error
10-Nov-08	181	2.21
11-Nov-08	280	2.86
12-Nov-08	216	4.63
13-Nov-08	223	2.24
14-Nov-08	229	3.93
15-Nov-08	150	1.33
Total	1,279	$\hat{x} = 2.87$

Fuente: INE, 2008. Elaboración propia

De acuerdo a los resultados que se presentan en el cuadro B.4, se observa que el porcentaje de error en la captura por día es menor al 5%, que es el límite máximo recomendado de error, por lo que no fue necesario capturar nuevamente la información del número de placa. El porcentaje de error promedio para toda la captura del número de placa fue de 2.87.

B.2.6 Procesamiento de la información

Como se comentó con anterioridad, el número de placa del vehículo es indispensable para poder establecer una relación entre las emisiones registradas de los vehículos y sus características técnicas (como antigüedad, tipo, marca,

tamaño de motor, etc.). Para tal efecto, se obtuvo la base de datos del registro vehicular integrado por la Secretaría de Finanzas del gobierno del estado de Michoacán de Ocampo (Gobierno del estado de Michoacán de Ocampo, 2008).

La base de datos obtenida del equipo de medición y la base de datos de registro vehicular fueron sometidas a un proceso semi-automatizado para comparar y comprobar la existencia de dichos registros en ambas bases. Como resultado se generó una sola base de datos que integró tanto las características técnicas como las emisiones contaminantes de cada vehículo.

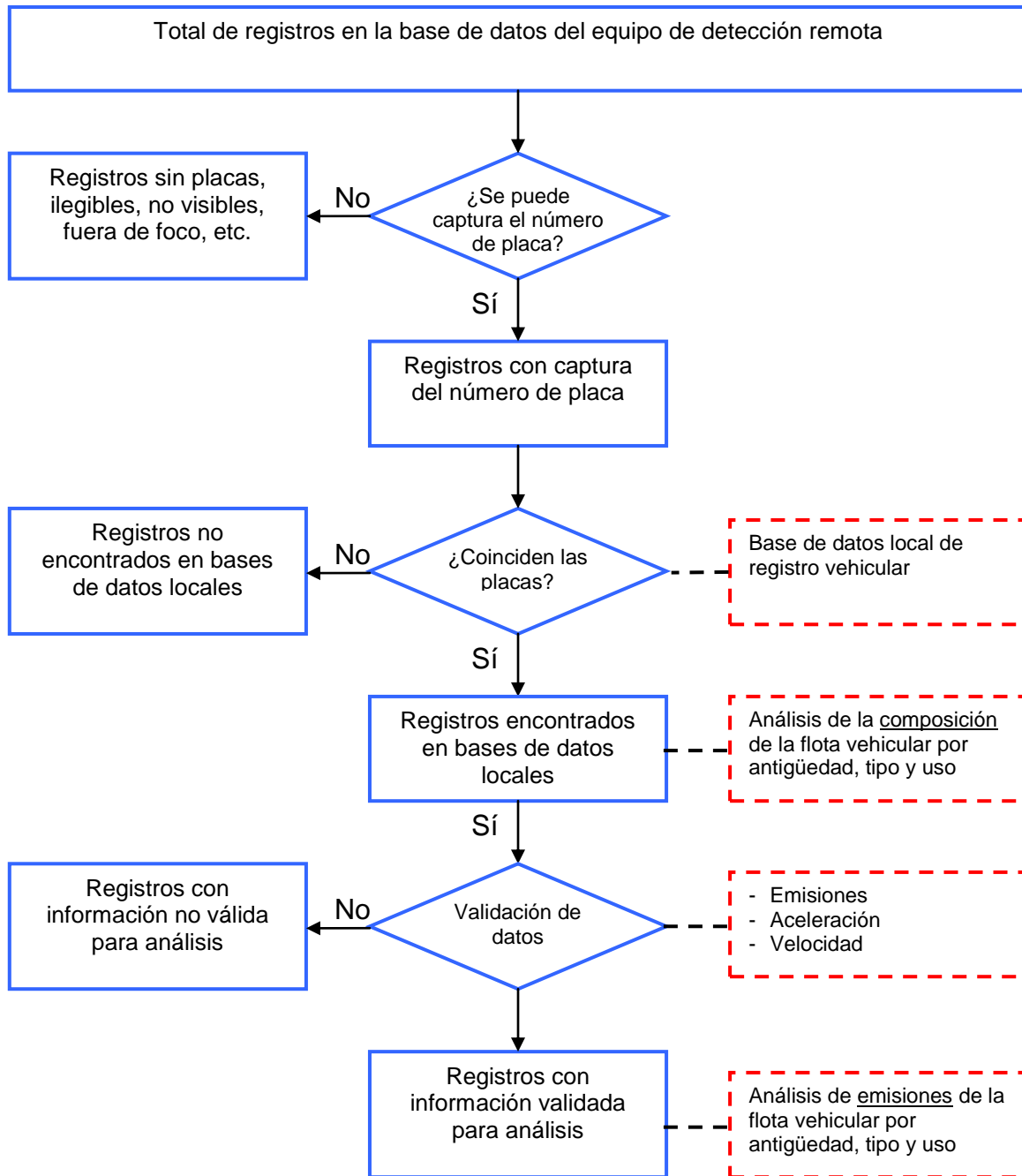
La información recopilada en la base de datos integrada permitió identificar y clasificar la flota vehicular bajo las siguientes características:

1. Tipo de vehículo, para identificar si es sedán, camión ligero (Vagoneta, Pick-Up, etc.) y camión pesado (Autobús, ómnibus, microbús, volteo, etc.);
2. Tipo de uso del vehículo, Particular o de servicio (taxis), relacionado con la actividad del vehículo (distancia recorrida y consumo de combustible);
3. Tipo de combustible, si usa gasolina, diesel, gas natural, gas LP y eléctricos, relacionado con el tipo y cantidad de contaminantes emitidos;
4. Año-modelo: para identificar los diferentes estratos tecnológicos en base a la tecnología utilizada para el control de emisiones.

Una vez definidas las características técnicas de interés, se llevó a cabo un proceso de disgregación (ver figura B.4), mediante dos procesos. En principio, para obtener la información de la flota, se toma la base de datos integrada (con información sobre emisiones y características).

Por otra parte, en lo que respecta a las emisiones, es necesario considerar únicamente los registros válidos del equipo de detección remota, es decir, aquellos con placa y registro y con todas las lecturas de emisiones, aceleración y velocidad aceptables. Para tal efecto, se utilizaron los siguientes criterios de validación (Bishop y Stedman, 2006 y 2007; Popp, et al. 1999):

- Si la concentración de CO (%) medida resultó menor a -1% o mayor a 21%, entonces las lecturas de todos los gases se consideraron no válidas.
- Si la concentración medida de HC (ppm, como propano) resultó menor a - 1,000 ppm ó mayor a 40,000 ppm, entonces se consideró la lectura de HC como no válida.
- Si la concentración medida de NO (ppm) resultó menor a -700 ppm o mayor a 7,000 ppm, entonces se consideró la lectura de NO como no válida.



Fuente: INE, 2008. Elaboración propia.

Figura B.4 Diagrama de flujo para el procesamiento de la información proveniente del equipo de detección remota.

Al final de este proceso, la base de datos validada es utilizada para realizar el análisis de estadística descriptiva e inferencial. La primera permitiría identificar las características de la muestra obtenida en términos de sus emisiones, de su antigüedad y del tipo de servicio. La segunda, a partir de la muestra obtenida, permite realizar supuestos sobre la población que se está examinando, los cuales son soportados en pruebas probabilísticas que rigen la certidumbre de los resultados presentados (por ejemplo, los intervalos de confianza).

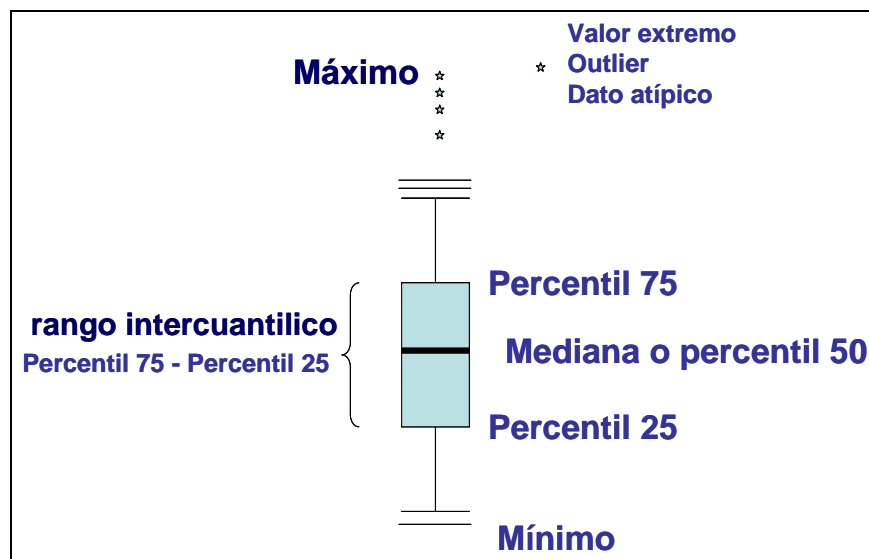
Estadística descriptiva (descripción de la muestra de vehículos medidos)

Para realizar el análisis estadístico de la medición de las emisiones se llevó a cabo lo siguiente:

- Se realizó la agrupación de los datos de emisión, con el fin de observar las posibles diferencias entre las emisiones de los vehículos con antigüedad mayor a diez años y aquéllos más recientes. Así, en este caso, los intervalos de año-modelo se definieron como 1998 y anteriores y 1999 y posteriores.
- Se agruparon los vehículos por tipo de servicio (particular vs. Taxi y SUV/VAN particulares vs. SUV/VAN de servicio público) con el objeto de identificar las diferencias entre ambos tipos de servicio. Estos dos grupos se dividieron, a su vez, en los estratos vehiculares de diez años o más de antigüedad y más recientes, para comparar el comportamiento de sus emisiones por edad y por tipo de servicio.
- Se llevó a cabo un análisis comparativo simple de las emisiones promedio por ciudad, de estudios similares realizados por el INE.

Para cada uno de los casos anteriores se obtuvieron las estadísticas descriptivas de las emisiones de CO, CO₂, HC y NO (número de mediciones, mínimo, mediana, promedio, desviación estándar, percentil 95, percentil 98 y máximo), así como gráficas de caja (Boxplot). Las gráficas de caja resumen la distribución de los valores de las emisiones vehiculares y muestran el percentil 25, la mediana, el percentil 75, el rango intercuartil (percentil 75- percentil 25) y los valores extremos

(Visauta, 2007). En la gráfica, el símbolo “★” indica valores más de tres veces el rango intercuartil, desde el percentil 25 hacia abajo o desde el percentil 75 hacia arriba, que son los valores más extremos de la distribución. Los símbolos “•” ó “-” indican valores más de 1.5 veces el rango intercuartil desde el percentil 25 hacia abajo o desde el percentil 75 hacia arriba, es decir, valores menores o mayores a los más extremos respectivamente. En este tipo de gráficos el 50% de los casos están dentro de la caja (figura B.5).



Fuente: INE, 2008. Elaboración propia.

Figura B.5 Descripción de la gráfica de caja.

Estadística inferencial (inferencias sobre la población total de vehículos en ambas ciudades a partir de la muestra de vehículos medidos)

Estudios aplicados a flotas vehiculares indican que el comportamiento probabilístico de éstas corresponde a una distribución gamma. De acuerdo con Zhang, et al. 1994, las mediciones de emisiones de CO y HC provenientes de vehículos en circulación se comportan siguiendo aproximadamente una distribución gamma, sin embargo, esto no ocurre con las emisiones de CO₂ ni con las de NO. Con base en lo anterior, se puede utilizar esta distribución probabilística para hacer inferencias sobre el comportamiento de las emisiones de los vehículos en una zona determinada. En este caso, para realizar inferencias

sobre las mediciones de HC y CO se estimaron los parámetros α y β para las mediciones realizadas en la Ciudad de Morelia, y se verificó que la distribución de los datos efectivamente se comportará como una distribución gamma. Una vez que se determinaron los parámetros de la distribución, se utilizaron para lo siguiente:

- Generación de intervalos de confianza del 95% para el promedio de las emisiones de CO y HC. Un intervalo de confianza es un rango de valores factibles basados en una muestra tomada de una población, en el que cabe esperar que se encuentre el verdadero valor del o los parámetros poblacionales. Por ejemplo, un intervalo de confianza del 95% indica que si el estudio se repite en las mismas condiciones pero con distintas muestras aleatorias, noventa y cinco de cada cien veces se obtendrían intervalos que contendrían el verdadero parámetro poblacional y cinco veces se obtendría intervalos que no lo contendrían. Es decir, un intervalo de confianza da idea de qué tanta incertidumbre existe acerca del valor del parámetro que se está estimando; por lo tanto, si el intervalo resulta muy grande, existe mucha incertidumbre acerca de dónde se localiza el verdadero valor del parámetro; si el intervalo resulta muy pequeño, la incertidumbre es igualmente pequeña.
- Cálculo de las probabilidades de que los valores de CO se encuentren por arriba de 2% de CO y de 1000 ppm de HC. La ventaja de obtener una distribución teórica (en este caso, una gamma) es que, a partir de ésta, se puede conocer la probabilidad de que los valores de emisión excedan un cierto umbral y, con esa probabilidad, inferir cuál es el porcentaje del total de los vehículos en la ciudad que exceden los umbrales seleccionados. En el caso de las emisiones vehiculares de CO e HC, el gobierno del estado de California en Estados Unidos utiliza los umbrales mencionados para detectar a los vehículos que muy probablemente no cumplirían con los límites máximos permisibles establecidos en su programa de inspección/mantenimiento, aproximadamente equivalentes a los límites especificados en la normatividad mexicana para la verificación de emisiones de vehículos en circulación mediante el procedimiento de aceleración simulada (Wenzel et al, 2004; DOF, 2007).

ANEXO C. Formato de encuesta

Formato utilizado para la aplicación de entrevistas

Determinación de características de los vehículos

Ciudad:

Clave de la ubicación

FECHA

Día	Mes	Año
-----	-----	-----

Descripción de la ubicación _____

SUPERVISOR: _____ AUTORIZO: _____ REALIZO: _____

Categoría de vehículo entrevistado Automóvil () () SUV (Sports Utility Vehicle)
Van () () Pick up /estaquitas

Buenos días (tardes) estamos realizando un estudio para determinar las características del parque vehicular de la ciudad y nos gustaría saber:

1.- ¿Qué marca es su vehículo?

- | | | | | | |
|---------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> Acura | <input type="checkbox"/> Daewoo | <input type="checkbox"/> Hummer | <input type="checkbox"/> Lincoln | <input type="checkbox"/> Panoz | <input type="checkbox"/> Seat |
| <input type="checkbox"/> Alfa Romeo | <input type="checkbox"/> Dodge | <input type="checkbox"/> Hyundai | <input type="checkbox"/> Lotus | <input type="checkbox"/> Peugeot | <input type="checkbox"/> Smart |
| <input type="checkbox"/> Aston Martin | <input type="checkbox"/> Eagle | <input type="checkbox"/> Infiniti | <input type="checkbox"/> Maserati | <input type="checkbox"/> Plymouth | <input type="checkbox"/> Subaru |
| <input type="checkbox"/> Audi | <input type="checkbox"/> Ferrari | <input type="checkbox"/> Isuzu | <input type="checkbox"/> Mazda | <input type="checkbox"/> Pontiac | <input type="checkbox"/> Suzuki |
| <input type="checkbox"/> Bentley | <input type="checkbox"/> Fiat | <input type="checkbox"/> Jaguar | <input type="checkbox"/> Mercedes Benz | <input type="checkbox"/> Porsche | <input type="checkbox"/> Toyota |
| <input type="checkbox"/> BMW | <input type="checkbox"/> Ford | <input type="checkbox"/> Jeep | <input type="checkbox"/> Mercury | <input type="checkbox"/> Renault | <input type="checkbox"/> Volkswagen |
| <input type="checkbox"/> Buick | <input type="checkbox"/> Geo | <input type="checkbox"/> Kia | <input type="checkbox"/> Mini | <input type="checkbox"/> Rolls-Royce | <input type="checkbox"/> Volvo |
| <input type="checkbox"/> Cadillac | <input type="checkbox"/> GMC | <input type="checkbox"/> Lamborghini | <input type="checkbox"/> Mitsubishi | <input type="checkbox"/> Saab | <input type="checkbox"/> Otra, ¿cuál? |
| <input type="checkbox"/> Chevrolet | <input type="checkbox"/> Hino | <input type="checkbox"/> Land Rover | <input type="checkbox"/> Nissan | <input type="checkbox"/> Saturn | |
| <input type="checkbox"/> Chrysler | <input type="checkbox"/> Honda | <input type="checkbox"/> Lexus | <input type="checkbox"/> Oldsmobile | <input type="checkbox"/> Scion | |

2.- ¿Qué año / modelo es su vehículo?

3.- ¿Hace cuánto tiempo lo adquirió usted? Años ó Meses

4.- Sabe usted si su auto de nuevo ¿fue comprado en México ó Estados Unidos?

- () No sé (*pase a la siguiente pregunta*) () Sí ¿en dónde? () México
() Estados Unidos
() Otro ¿cuál? _____

5.- ¿Cuál es el kilometraje total de su vehículo según su odómetro? Millas
Si no funciona señalarlo y anotar lectura de odómetro
() está descompuesto o no funciona Kilómetros

6.- ¿Cuántos días a la semana utiliza usted su vehículo? Días

7.- El vehículo, ¿lo emplea usted para () Uso personal () Negocio

8.- ¿Qué tipo de combustible emplea? () Gasolina () Diesel () Gas

9.- ¿De cuántos cilindros es y de qué cilindrada? Cilindros Litros (cilindrada) No sé

10.- ¿Cuánto gasta usted de combustible a la semana? **Importe \$** _____ () pesos
() USD

11.- ¿Cuánto recorre en promedio a la semana? **Recorrido** _____ () Km No sé
() Millas

12.- ¿Cada cuánto tiempo afina usted su vehículo? 1 vez al año () () 3 o más veces
2 veces al año () () No lo ha afinado

13.- Su vehículo: Tiene el convertidor catalítico original () () No tiene, lo compré sin convertidor
Tiene convertidor pero no es el original () () No tiene, usted se lo quitó
Tiene convertidor pero no sabe si es original o de reemplazo () () No sé

14.- Su vehículo cuenta con sistema de aire acondicionado:
() No () No sé () Sí () Funcionando
() Pero no funciona

15.- Finalmente, me podría indicar, si su vehículo ha presentado alguna prueba de verificación?
() Sí () No () No sé

Muchas gracia Señor (a), eso es todo, agradezco su atención y el tiempo brindado. Buenos días (tardes)

Formato utilizado para el conteo de vehículos

Conteo de vehículos Clave de la ubicación: Ciudad:

Descripción Ubicación: _____ FECHA:

Día	Mes	Año
-----	-----	-----

SUPERVISO: _____ AUTORIZO: _____ REALIZO: _____

De (H.M)	a	Número de Vehículos					Observaciones:
		Vehículos Nacionales	Vehículos importados				
			Con placa americana	Con placa Fronteriza	Con placa Nacional	Sin placa	
1		Autos					
		Vans					
		SUV (Sports Utility Vehicle)					
		Pick ups y estaquitas					
		Camión pasaje					
		Camión de carga					
		Motocicletas					

De (H.M)	a	Número de Vehículos					Observaciones:
		Vehículos Nacionales	Vehículos importados				
			Con placa americana	Con placa Fronteriza	Con placa Nacional	Sin placa	
2		Autos					
		Vans					
		SUV (Sports Utility Vehicle)					
		Pick ups y estaquitas					
		Camión pasaje					
		Camión de carga					
		Motocicletas					

De (H.M)	a	Número de Vehículos					Observaciones:
		Vehículos Nacionales	Vehículos importados				
			Con placa americana	Con placa Fronteriza	Con placa Nacional	Sin placa	
3		Autos					
		Vans					
		SUV (Sports Utility Vehicle)					
		Pick ups y estaquitas					
		Camión pasaje					
		Camión de carga					
		Motocicletas					

De (H.M)	a	Número de Vehículos					Observaciones:
		Vehículos Nacionales	Vehículos importados				
			Con placa americana	Con placa Fronteriza	Con placa Nacional	Sin placa	
4		Autos					
		Vans					
		SUV (Sports Utility Vehicle)					
		Pick ups y estaquitas					
		Camión pasaje					
		Camión de carga					
		Motocicletas					

De (H.M)	a	Número de Vehículos					Observaciones:
		Vehículos Nacionales	Vehículos importados				
			Con placa americana	Con placa Fronteriza	Con placa Nacional	Sin placa	
5		Autos					
		Vans					
		SUV (Sports Utility Vehicle)					
		Pick ups y estaquitas					
		Camión pasaje					
		Camión de carga					
		Motocicletas					

Clave de la ubicación

Ciudad:

FECHA

REALIZO:

De (H:M) _____ a _____ _____	Número de Vehículos				Observaciones:
	Vehículos Nacionales	Vehículos importados			
		Con placa americana	Con placa Fronteriza	Con placa Nacional	
6 Autos					
Vans					
SUV (Sports Utility Vehicle)					
Pick ups y estaquitas					
Camión pasaje					
Camión de carga					
Motocicletas					

De (H:M) _____ a _____ _____	Número de Vehículos				Observaciones:
	Vehículos Nacionales	Vehículos importados			
		Con placa americana	Con placa Fronteriza	Con placa Nacional	
7 Autos					
Vans					
SUV (Sports Utility Vehicle)					
Pick ups y estaquitas					
Camión pasaje					
Camión de carga					
Motocicletas					

De (H:M) _____ a _____ _____	Número de Vehículos				Observaciones:
	Vehículos Nacionales	Vehículos importados			
		Con placa americana	Con placa Fronteriza	Con placa Nacional	
8 Autos					
Vans					
SUV (Sports Utility Vehicle)					
Pick ups y estaquitas					
Camión pasaje					
Camión de carga					
Motocicletas					

De (H:M) _____ a _____ _____	Número de Vehículos				Observaciones:
	Vehículos Nacionales	Vehículos importados			
		Con placa americana	Con placa Fronteriza	Con placa Nacional	
9 Autos					
Vans					
SUV (Sports Utility Vehicle)					
Pick ups y estaquitas					
Camión pasaje					
Camión de carga					
Motocicletas					

De (H:M) _____ a _____ _____	Número de Vehículos				Observaciones:
	Vehículos Nacionales	Vehículos importados			
		Con placa americana	Con placa Fronteriza	Con placa Nacional	
10 Autos					
Vans					
SUV (Sports Utility Vehicle)					
Pick ups y estaquitas					
Camión pasaje					
Camión de carga					
Motocicletas					

ANEXO D. Análisis de distribución probabilística tipo Gamma

La estimación del modelo probabilístico que mejor puede justificar el comportamiento de las emisiones vehiculares ha sido bien descrito por Zhang y coautores. Basados en este estudio se obtiene que las emisiones vehiculares de CO y HC siguen una distribución gamma con parámetros α y β (Zhang et. al, 1994). Con el fin de realizar inferencias acerca de las mediciones de las emisiones vehiculares de estos dos contaminantes se verificó que los datos de la flota vehicular de la ciudad de Morelia siguieran esta distribución.

Cuadro D.1 Intervalos de clase, distribución empírica y teórica de las emisiones vehiculares de CO en la ciudad de Morelia.

Intervalo de clase	Frecuencia	Promedio de la clase	Distribución empírica (% de la frecuencia)	Distribución teórica Gamma (α, β)	
				Momentos $\alpha = 0.3182$ $\beta = 3.1814$	Máxima Verosimilitud $\alpha = 0.6017$ $\beta = 1.6822$
(0-1]	13,181	0.33	0.7789	0.7194	0.6647
(1-2]	1,633	1.39	0.0965	0.1210	0.1786
(2-3]	585	2.46	0.0346	0.0612	0.0794
(3-4]	377	3.47	0.0223	0.0353	0.0382
(4-5]	298	4.47	0.0176	0.0217	0.0190
(5-6]	223	5.49	0.0132	0.0138	0.0097
(6-7]	185	6.49	0.0109	0.0090	0.0050
(7-8]	139	7.47	0.0082	0.0059	0.0026
(8-9]	106	8.47	0.0063	0.0040	0.0014
(9-10]	91	9.44	0.0054	0.0027	0.0007
(10-11]	46	10.51	0.0027	0.0018	0.0004
(11-12]	27	11.47	0.0016	0.0013	0.0002
(12-13]	17	12.41	0.0010	0.0009	0.0001
> 13	14	13.96	0.0008	0.0020	0.0001

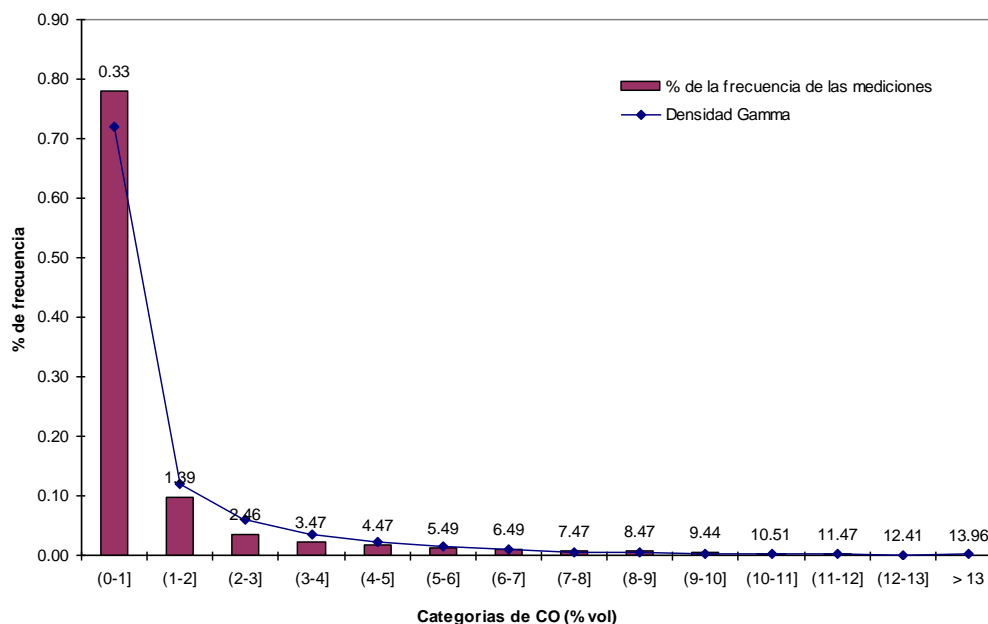
Fuente: INE, 2009. Elaboración propia, con información del sensor remoto 2008.

En el cuadro D.1 se presentan los intervalos de clase, la distribución empírica y teórica de las emisiones vehiculares de CO en Morelia, como se observa, se obtuvo una mejor aproximación para los parámetros calculados por el método de

momentos; sin embargo, se presentan los parámetros del método de máxima verosimilitud porque con estos se calcularon los intervalos de confianza para el promedio de la distribución teórica.

Cabe mencionar que para la obtención de los parámetros y el ajuste de la distribución gamma sólo se consideraron las emisiones vehiculares de CO mayores que cero, de acuerdo a los valores que puede tomar la función de densidad de una distribución gamma (ver la definición en la sección de metodología).

En la figura D.1 se comparan de manera gráfica las emisiones vehiculares de CO medidas contra la distribución gamma ajustada a los datos con los parámetros estimados a través del Método de Momentos. Como se aprecia, el ajuste es bueno.



Fuente: INE, 2009. Elaboración propia, con información del sensor remoto 2008.

Nota: Los valores que se encuentran arriba de cada una de las barras corresponden a los promedios de cada uno de los intervalos de clase

Figura D.1 Comparación de las emisiones vehiculares de CO y su aproximación a la distribución Gamma ($\alpha = 0.3182$, $\beta = 3.1814$) en Morelia.

El promedio de los valores de la distribución gamma está dado por $\mu = \alpha\beta$; en este caso, $\mu_{(Morelia)} = 0.3182 \times 3.1814 = 0.0123$ que es idéntico al valor obtenido de las mediciones de las emisiones vehiculares.

En lo que respecta a los HC, el cuadro D.2 presenta los intervalos de clase para las emisiones vehiculares de HC, así como las distribuciones empírica y teórica de los datos de Morelia. Al igual que para el caso del CO, los parámetros α y β de la distribución se estimaron mediante el método de momentos y el método de máxima verosimilitud.

Cuadro D.2 Intervalos de clase, distribución empírica y teórica de las emisiones vehiculares de HC en Morelia.

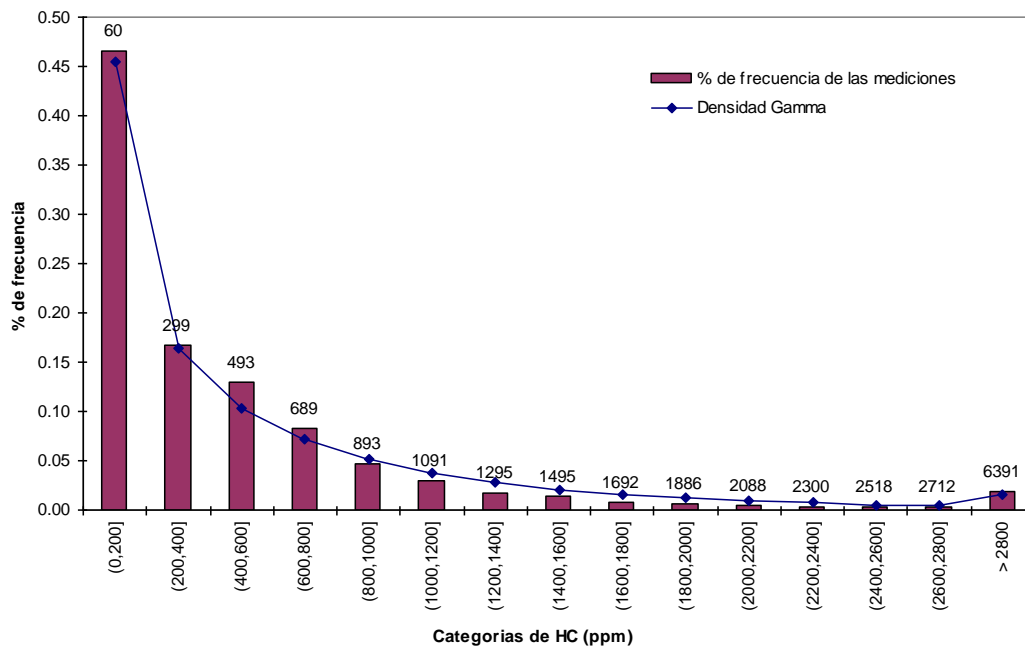
Intervalo de clase	Frecuencia	Promedio de la clase	Distribución empírica	Distribución teórica Gamma (α y β)	
			% de la frecuencia	Momentos $\alpha = 0.1979$ $\beta = 2511$	Máxima Verosimilitud $\alpha = 0.5492$ $\beta = 904.7546$
(0,200]	6886	60	0.4661	0.6513	0.4551
(200,400]	2466	299	0.1669	0.0864	0.1646
(400,600]	1909	493	0.1292	0.0519	0.1037
(600,800]	1220	689	0.0826	0.0364	0.0712
(800,1000]	684	893	0.0463	0.0274	0.0509
(1000,1200]	441	1091	0.0298	0.0215	0.0372
(1200,1400]	263	1295	0.0178	0.0174	0.0277
(1400,1600]	200	1495	0.0135	0.0143	0.0208
(1600,1800]	126	1692	0.0085	0.0119	0.0158
(1800,2000]	97	1886	0.0066	0.0101	0.0120
(2000,2200]	78	2088	0.0053	0.0086	0.0092
(2200,2400]	46	2300	0.0031	0.0074	0.0071
(2400,2600]	38	2518	0.0026	0.0064	0.0055
(2600,2800]	36	2712	0.0024	0.0055	0.0042
> 2800	285	6391	0.0193	0.0000	0.0151

Fuente: INE, 2009. Elaboración propia, con información del sensor remoto 2008.

Como se observa en el cuadro D.2, se obtuvo una mejor aproximación para los parámetros calculados por el método de máxima verosimilitud, con estos se calcularon los intervalos de confianza para el promedio de la distribución teórica

que se presentan en la figura D.2. Cabe recordar que para obtener los parámetros y el ajuste de la distribución gamma sólo se consideraron las emisiones vehiculares de HC mayores que cero.

En la figura D.2 se comparan de manera gráfica las emisiones vehiculares de HC medidas, así como la distribución gamma ajustada a los datos con los parámetros estimados a través del método de máxima verosimilitud. Se observa que el ajuste es bastante bueno.



Fuente: INE, 2009. Elaboración propia, con información del sensor remoto 2008.

Nota: Los valores que se encuentran arriba de cada una de las barras corresponden a los promedios de cada uno de los intervalos de clase.

Figura D.2 Comparación de las emisiones vehiculares de HC y su aproximación a la distribución Gamma ($\alpha = 0.5492$, $\beta = 904.7546$) en Morelia.

Del mismo modo, para el caso de HC, el promedio de los valores de la distribución gamma está dado por $\mu = \alpha\beta$; entonces el caso de $\mu_{(Morelia)} = 0.5492 \times 904.7546 = 496.9$, que es muy parecido al obtenido de las mediciones de las emisiones vehiculares.

ANEXO E. Archivo fotográfico del trabajo de campo



Camino a Jesús del Monte No.1200, Col. Santa María de Guido.



Periférico Paseo de La República No.139, Col. Isaac Arriaga





Av. Madero Oriente No. 2518, Col. Vasco de Quiroga



Calz. La Huerta No.550, Col. Centro.



Calz. La Huerta No.550, Col. Centro, C.P.58000



Libramiento Paseo de La República Noroeste No.5433, Col. Wenceslao Victoria Soto