



INECC
INSTITUTO NACIONAL
DE ECOLOGÍA
Y CAMBIO CLIMÁTICO

SEMARNAT
SECRETARÍA DE
MEDIO AMBIENTE
Y RECURSOS NATURALES



ESTUDIO DE EMISIONES Y ACTIVIDAD VEHICULAR EN EL ÁREA METROPOLITANA DE MONTERREY, NL.

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 vehicular en EL Área Metropolitana de Monterrey, N.L.



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	ii
LISTA DE FIGURAS	iii
SIGLAS Y ACRÓNIMOS	vi
AGRADECIMIENTOS	viii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. ASPECTOS GENERALES DE LA ZONA DE ESTUDIO	6
a. Situación geográfica	6
b. Calidad del aire.....	7
III. METODOLOGÍA	11
a. Emisiones vehiculares	11
1. Equipo utilizado	12
2. Periodo del estudio.....	14
3. Selección de sitios	15
4. Calibración del equipo y recolección de datos.....	17
5. Procesamiento de la información	19
b. Características, composición, origen y actividad de la flota vehicular	25
1. Selección de sitios	26
2. Recolección de datos	27
IV. RESULTADOS	29
a. Emisiones vehiculares	29
1. Recolección de datos y captura de la información	29
2. Procesamiento de la información	31
3. Comportamiento de las emisiones vehiculares	33
b. Características, composición, origen y actividad de la flota vehicular	57
1. Características y composición de la flota vehicular	57
2. Origen y actividad de la flota vehicular	60
V. CONCLUSIONES	62
VI. BIBLIOGRAFIA	64
ANEXO A. Formato empleado para la realización de la entrevista	66
ANEXO B. Análisis de la distribución probabilística Gamma	69

LISTA DE CUADROS

Cuadro 3.1 Ubicación de los sitios de muestreo en el AMM.	16
Cuadro 3.2 Puntos seleccionados para la aplicación de encuestas en el AMM... ..	26
Cuadro 4.1 Distribución del número de registros capturados por día de muestreo.	29
Cuadro 4.2 Depuración de registros durante la captura.....	30
Cuadro 4.3 Tamaño de muestra y porcentaje de error en la captura por día de medición.....	30
Cuadro 4.4 Relación de los registros del equipo de detección remota.....	31
Cuadro 4.5 Estadísticas descriptivas de CO (% en volumen) para dos estratos vehiculares.....	34
Cuadro 4.6 Estadísticas descriptivas de CO (% en volumen) para cinco estratos vehiculares en el AMM.....	36
Figura 4.4 Distribución de las concentraciones de CO (% en volumen) para cinco estratos vehiculares.	37
Cuadro 4.7 Estadísticas descriptivas de CO ₂ (% en volumen) para dos estratos vehiculares.....	38
Cuadro 4.8 Estadísticas descriptivas de CO ₂ (% en volumen) para cinco estratos vehiculares en la AMM.....	40
Cuadro 4.9 Estadísticas descriptivas de HC (ppm) para dos estratos vehiculares en el AMM.....	42
Cuadro 4.10 Estadísticas descriptivas de HC (ppm) para cinco estratos vehiculares en el AMM.....	44
Cuadro 4.11 Estadísticas descriptivas de NO (ppm) para dos estratos vehiculares en el AMM.....	46
Cuadro 4.12 Estadísticas descriptivas de NO (ppm) para cinco estratos en el AMM.....	48
Cuadro 4.13 Cantidad de vehículos por estrato de edad en el AMM.	50
Cuadro 4.14 Estadísticas descriptivas de las emisiones de CO (% en volumen) de los vehículos particulares vs. taxis.	51
Cuadro 4.15 Estadísticas descriptivas de las emisiones de CO ₂ (% en volumen) de los vehículos particulares vs. taxis.	52
Cuadro 4.16 Estadísticas descriptivas de las emisiones de HC (ppm) de los vehículos particulares vs. taxis.	53

Cuadro 4.17 Estadísticas descriptivas de las concentraciones de NO (ppm) por tipo de transporte en Monterrey, 1999 y posteriores..... 54

Cuadro 4.18 Intervalos de confianza al 95% de CO para el AMM. 55

Cuadro 4.20 Distribución del número de entrevistas realizadas en el AMM..... 59

Cuadro 4.21 Recorrido promedio semanal por tipo de vehículo..... 61

Cuadro C.1 Intervalos de clase, distribución empírica y teórica de las emisiones vehiculares de CO en el AMM 69

Cuadro C.2 Intervalos de clase, distribución empírica y teórica de las emisiones vehiculares de HC en el AMM..... 71

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 Arreglo típico del sistema de detección remota para medición de emisiones de vehículos en circulación (RSR, 2005)..... 2

Figura 2.1 Promedio anual, número de días por arriba del valor de la norma y percentil 98 de PM10 en el AMM, 1997-2007 (INE, 2008) 7

Figura 2.2 Número de días por arriba del valor de la norma diaria (65 µg/m³) de PM2.5 en el AMM*, 1997-2006 (INE, 2008). 8

Figura 2.3 Concentración horaria máxima y número de días por arriba del valor de la norma horaria (0.11 ppm) de O₃ en el ZMM, 1997-2006 (INE, 2008). 8

Figura 2.4 Quinto máximo de los promedios móviles de 8 horas** de O₃ en el AMM, 1997-2007 (INE, 2008)..... 9

Figura 2.5 Segundo máximo de los promedios móviles de 8 horas y número de días por arriba del valor de la norma de 8 horas de CO (11 ppm) en el AMM, 1997-2007 (INE, 2008)..... 9

Figura 3.1 Elementos del equipo de detección remota: sistema de video, detector de velocidad /aceleración y detector de emisiones (RSR, 2005)..... 13

Figura 3.2. Ubicación de los sitios de medición de emisiones vehiculares con equipo de detección remota en el AMM. 16

Figura 3.3 Diagrama de flujo para el procesamiento de la información proveniente del equipo de detección remota..... 22

Figura 3.4 Descripción de la gráfica de caja. 24

Figura 3.5 Puntos seleccionados para la aplicación de encuestas en el AMM. ... 27

Figura 4.1 Resultado del procesamiento y validación de la información obtenida del equipo de detección remota..... 32

Figura 4.2 Distribución de las concentraciones de CO (% en volumen) para dos estratos vehiculares en la AMM..... 34

Figura 4.3 Mediana, promedio y percentil 95 de CO (% en volumen) para dos estratos vehiculares..... 35

Figura 4.5 Mediana, promedio y percentil 95 de CO (% en volumen) para cinco estratos vehiculares..... 37

Figura 4.6 Distribución de las concentraciones de CO₂ (% en volumen) para dos estratos vehiculares..... 39

Figura 4.7 Mediana, promedio y percentil 95 de CO₂ (% en volumen) para dos estratos vehiculares..... 39

Figura 4.8. Distribución de las concentraciones de CO₂ (% en volumen) para cinco estratos vehiculares en el AMM..... 41

Figura 4.9 Mediana, promedio y percentil 95 de CO₂ (% en volumen) para cinco estratos vehiculares en el AMM..... 41

Figura 4.10 Distribución de las concentraciones de HC (ppm) para dos estratos vehiculares en el AMM. 43

Figura 4.11 Mediana, promedio y percentil 95 de HC (ppm) para dos estratos vehiculares en el AMM. 43

Figura 4.12 Distribución de las concentraciones de HC (ppm) para cinco estratos vehiculares en el AMM. 45

Figura 4.13 Mediana, promedio y percentil 95 de HC (ppm) para cinco estratos vehiculares en el AMM. 45

Figura 4.14 Distribución de las concentraciones de NO (ppm) para dos estratos vehiculares en el AMM. 47

Figura 4.15 Mediana, promedio y percentil 95 de NO (ppm) para dos estratos vehiculares en el AMM. 47

Figura 4.16 Distribución de las concentraciones de NO (ppm) para cinco estratos en el AMM. 49

Figura 4.17 Mediana, promedio y percentil 95 de NO (ppm) para cinco estratos vehiculares en el AMM. 49

Figura 4.18 Comparación de las emisiones de CO (% en volumen) de los vehículos de uso particular y de los taxis. 51

Figura 4.19 Comparación de las emisiones de CO₂ (% en volumen) de los vehículos de uso particular y de los taxis. 52

Figura 4.20 Comparación de las emisiones de HC (ppm) de los vehículos de uso particular y de los taxis. 53

Figura 4.21 Comparación de las emisiones de NO (ppm) de los vehículos de uso particular y de los taxis. 54

Figura 4.22. Emisiones de CO vs. Emisiones de HC promedio diarias, por fecha y punto de muestreo. 56

Figura 4.23. Composición de la flota, de acuerdo con su antigüedad, por fecha de medición. 57

Figura 4.24. Comparación de las flotas vehiculares de Mexicali, Tijuana, la ZMVM y el AMM. 58

Figura 4.25 Distribución de la flota por tipo de vehículo en el AMM, la ZMVM, Tijuana y Mexicali. 60

Figura 4.26 Recorrido promedio diario por tipo de vehículo en el AMM, la ZMVM, Mexicali y Tijuana. 61

Figura C.1 Comparación de las emisiones vehiculares de CO y su aproximación a la distribución Gamma ($\alpha = 0.27$, $\beta = 3.93$) en el AMM 70

Figura C.2 Comparación de las emisiones vehiculares de HC y su aproximación a la distribución Gamma ($\alpha = 0.45$, $\beta = 1395$) en el AMM 72

SIGLAS Y ACRÓNIMOS

APMARN	Agencia de Protección al Medio Ambiente y de Recursos Naturales
CENICA	Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental
CETYV	Consejo estatal de Transporte y Vialidad
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
PM _{2.5}	Partículas suspendidas con diámetro menores a 2.5 micras

ppm	Concentración en partes por millón
RSD	Remote Sensing Device (equipo de detección remota)
SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
SO ₂	Bióxido de azufre
SS	Secretaría de Salud
SUV	Sport Utility Vehicles (Vehículo utilitario)
TLCAN	Tratado de Libre Comercio de América del Norte
TSTES	The Sustainable Transport and Emissions Services Company
ZMVM	Zona Metropolitana del Valle de México
% en vol.	Concentración volumétrica en porcentaje

AGRADECIMIENTOS

Los resultados obtenidos del estudio de emisiones y actividad vehicular para el Área Metropolitana de Monterrey, N.L., fueron posibles gracias a la participación y apoyo de las siguientes instituciones involucradas en las actividades de diseño, coordinación, ejecución y el procesamiento de los resultados del estudio:

- **Gobierno del estado de Nuevo León**
 - Agencia de Protección al Medio Ambiente y de Recursos Naturales (APMARN)
 - Gobiernos municipales del Área Metropolitana de Monterrey
 - Secretaría de Seguridad Pública
 - Secretaría de Finanzas y Administración
 - Consejo Estatal de Transporte y Vialidad (CETYV)
- **Delegación de SEMARNAT del estado de Nuevo León**
- **Centro de Transporte Sustentable de México (CTS)**
- **The Sustainable Transport and Emissions Services Company (TSTES)**

I. 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 muchas ciudades los niveles de ozono rebasaron la norma horaria en el 2005 y la norma anual en el periodo 1998-2005. Asimismo, se registran concentraciones muy elevadas de partículas suspendidas con diámetro aerodinámico menor a 10 micras en el periodo 1997-2005, y varias ciudades no cumplen prácticamente en ninguno de estos años con la norma de 24 horas ni con la norma anual para este contaminante (INE, 2007).

De acuerdo con el Inventario Nacional de Emisiones de México, 1999 (INE, 2006), 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.

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).



Figura 1.1 Arreglo típico del sistema de detección remota para medición de emisiones de vehículos en circulación (RSR, 2005)

En el país se han llevado a cabo diversas campañas de medición de emisiones con equipo de detección remota en la ZMVM y en otras ciudades, que han arrojado información sumamente valiosa como apoyo para la gestión ambiental. Una de ellas fue la realizada por el Centro Mario Molina (CMM) en el 2006 en Ciudad Juárez, con el fin de conocer el comportamiento ambiental de los vehículos extranjeros que ingresan al país de manera permanente, en el que se detectaron diferencias entre las emisiones de los vehículos usados que han sido internados al país provenientes del mercado norteamericano y que circulan en dicha ciudad y las emisiones vehiculares promedio medidas con el mismo método y equipo en la ZMVM en el año 2005 (CMM, 2006).

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. Esta información permite relacionar las características de los vehículos antes mencionadas con las emisiones medidas y evaluar de qué manera influyen las primeras en las segundas. 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.

Contar con esta información en el corto plazo es relevante para aquellas zonas en las que el parque vehicular cuenta con una elevada proporción de autos usados de procedencia extranjera, debido a que el Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN) establece que, a partir del 1º de enero de 2009, México no podrá adoptar ni mantener una prohibición o restricción a la importación de automóviles usados, que sean originarios de Estados Unidos de América o de Canadá, cuyo año-modelo sea de más de diez años anteriores al de la importación (Apéndice 300-A.2 del Tratado de Libre Comercio de América del Norte [TLCAN] firmado el 17 de diciembre de 1992).

Adicionalmente, el 22 de agosto de 2005, se publicó en el Diario Oficial de la Federación el Decreto por el que se establecen las condiciones para la importación definitiva de vehículos automotores usados provenientes de Estados Unidos y Canadá. Dicho decreto acelera el proceso para eliminar las barreras de importación en 2009 y comenzó la apertura del mercado mexicano a la importación definitiva de vehículos usados procedentes de esos países, cuyo año-modelo sea entre 10 y 15 años anteriores al año en que se realice la importación.

Lo anterior se ha reflejado -y seguirá reflejándose en el futuro cercano- en un incremento del parque vehicular de 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.

De acuerdo con los datos de ventas de autos a nivel nacional reportados por la Asociación Mexicana de Distribuidores de Automóviles (AMDA) y la información proporcionada por el Servicio de Administración Tributaria (SAT) de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP) sobre la importación de vehículos usados, se tiene que en promedio, de Octubre de 2005 a Enero de 2007 se legalizaron dos millones de vehículos usados provenientes de EUA y Canadá. Es decir, por cada vehículo nuevo vendido en agencia se legalizaron aproximadamente dos vehículos usados -estos vehículos son adicionales a los ilegales, también conocidos como *autos chocolate*, que se encuentran en nuestro país desde antes de 2005, sobre los que no se cuenta con información fidedigna, pues fueron introducidos de manera irregular y pudieran no estar legalizados. Si bien la tasa de legalización ha disminuido y se ha estabilizado en los meses posteriores, de seguir así se espera que cada año se importen a México aproximadamente un millón de vehículos usados. A partir de 2009 se esperaría que la tasa volviera a incrementarse, por lo que los vehículos usados con tecnologías caducas para el control de emisiones formarán parte importante del parque vehicular nacional, con el consecuente incremento en las emisiones contaminantes y el deterioro de la calidad del aire en los centros urbanos en los que circulen dichos vehículos (SEMARNAT, 2007).

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 vehículos usados, que incluye el establecimiento de programas de verificación vehicular en las ciudades fronterizas. Como sustento para la instrumentación de dicha estrategia se contará con la medición de las emisiones de vehículos usados en circulación, utilizando equipo de detección remota y la obtención de información sobre el número y características de los mismos (SEMARNAT, 2007).

Por lo anterior, 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 mismo 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 mayo y junio de 2008 se llevó a cabo un estudio en Monterrey, también bajo la coordinación del INE y en estrecha colaboración con la Agencia de Protección al Medio Ambiente del Estado de Nuevo León y las autoridades ambientales y de tránsito de los municipios que conforman el Área Metropolitana de Monterrey (AMM): Apodaca, General Escobedo, San Nicolás de los Garza, Guadalupe, San Pedro Garza García, Santa Catarina y Monterrey. Asimismo, se contó con el apoyo del CTS y la Delegación de SEMARNAT en el Estado de Nuevo León. 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 los resultados obtenidos de las actividades de campo llevadas a cabo en el AMM, así como el análisis posterior y las conclusiones del estudio en esta ciudad.

II. ASPECTOS GENERALES DE LA ZONA DE ESTUDIO

a. Situación geográfica

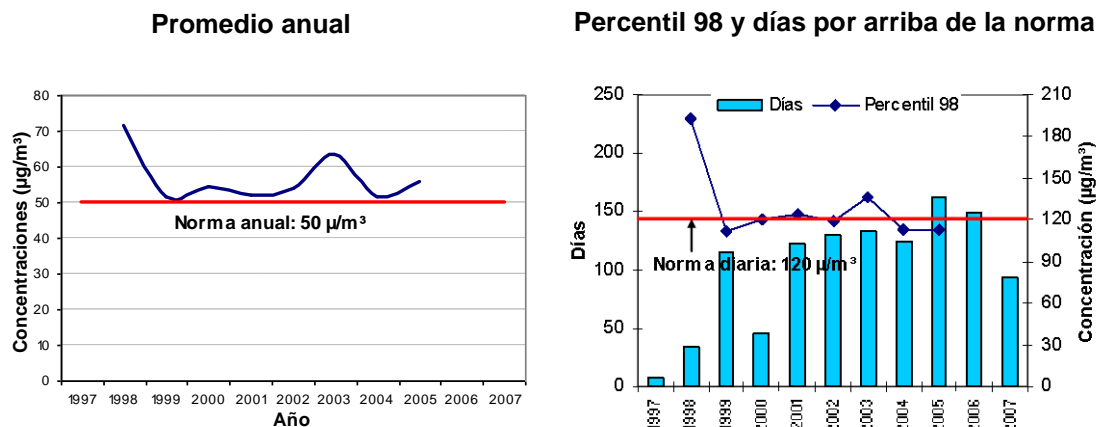
Monterrey se encuentra ubicado al noreste de México, es la capital del estado de Nuevo León. Al año 2005 contaba con una población de 1,133,814 habitantes; sin embargo, la zona conurbada, integrada por la ciudad de Monterrey y otros 11 municipios de Nuevo León (Apodaca, Escobedo, Guadalupe, Monterrey, San Nicolás de los Garza, San Pedro Garza García, García, Santa Catarina, Santiago, Salinas Victoria, y Juárez) cuenta con aproximadamente 3 millones 700 mil habitantes (INEGI, 2006b).

La ciudad es sede de importantes grupos industriales y financieros, por lo que en ella operan industrias de diversa índole. Está comunicada por autopistas con la frontera con los Estados Unidos (autopistas a Nuevo Laredo y a Reynosa), al Golfo de México (carretera Panamericana) y al resto del país (troncales Saltillo-Torreón-Mazatlán y Matehuala-San Luis Potosí-México DF). Cuenta con servicio de carga por ferrocarril hacia la ciudad y puerto de Tampico y otras zonas del país.

El transporte público en Monterrey es limitado y está basado principalmente en un sistema de dos líneas de metro (Metrorrey), autobuses y taxis (más de 30,000 unidades). Según algunas estimaciones, el parque vehicular de Monterrey es el segundo más grande del país después del Distrito Federal con más de 2 millones de vehículos (Municipio de Monterrey, Nuevo León, México, 2008).

b. Calidad del aire

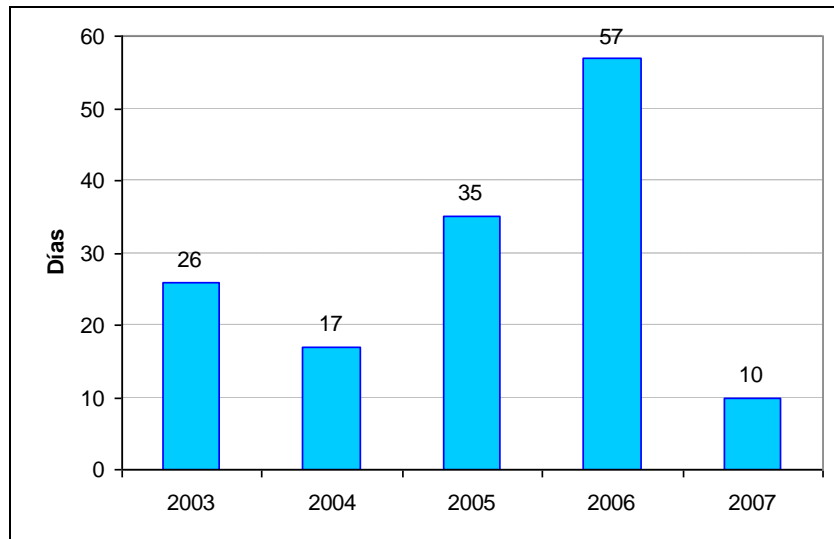
El análisis de la información proveniente de la red de monitoreo del AMM indica que, históricamente, en esta zona metropolitana se rebasan las normas de calidad de aire establecidas por la Secretaria de Salud (SS) principalmente para las partículas aerodinámicas con diámetro menor a 10 micras (PM₁₀), en menor medida para el ozono (O₃) y para monóxido de carbono (CO). Así, para las PM₁₀, en los años que se cumple con el criterio de suficiencia de información, se aprecia de la figura 2.1 que en prácticamente todos los años se rebasan la norma anual y la norma diaria correspondientes. De manera complementaria a los dos indicadores anteriores, el número de días que se rebasó el valor de la norma diaria en 2007 de las PM₁₀ fue de 94 días, mientras que en el 2005 fue de 163; lo que refleja, por lo menos para este indicador, una mejoría en las concentraciones del contaminante.



Fuente: INE, 2008. Elaboración propia, con información del sistema de monitoreo atmosférico de Monterrey, N.L.

Figura 2.1 Promedio anual, número de días por arriba del valor de la norma y percentil 98 de PM₁₀ en el AMM, 1997-2007 (INE, 2008)

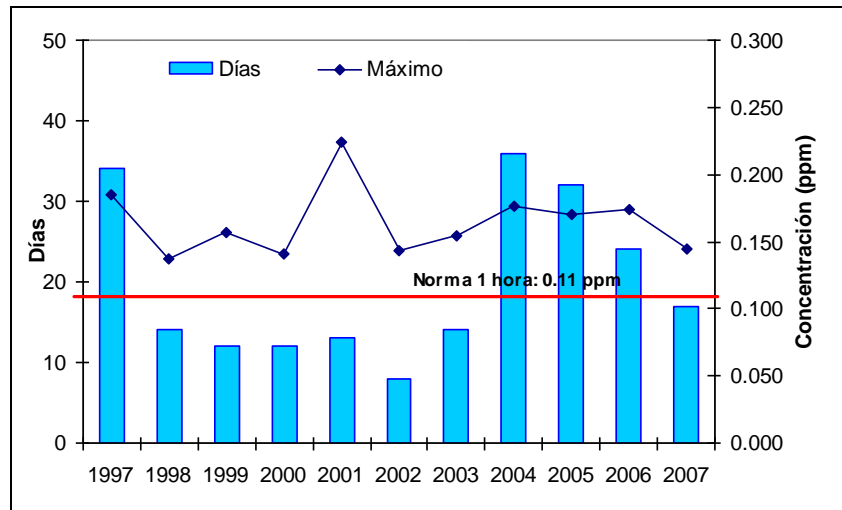
Asimismo, y con respecto a las PM_{2.5}, en 2007 se rebasó la norma diaria durante 10 días, 47 días menos que en 2006, lo que refleja con respecto del año anterior, una mejoría en los niveles de las PM_{2.5} (figura 2.2).



Fuente: INE, 2008. Elaboración propia, con información del sistema de monitoreo atmosférico de Monterrey, N.L.

*No fue posible determinar el cumplimiento de la norma anual y del percentil 98, debido a que no se contó con la información suficiente para cada uno de los años que se analizaron.

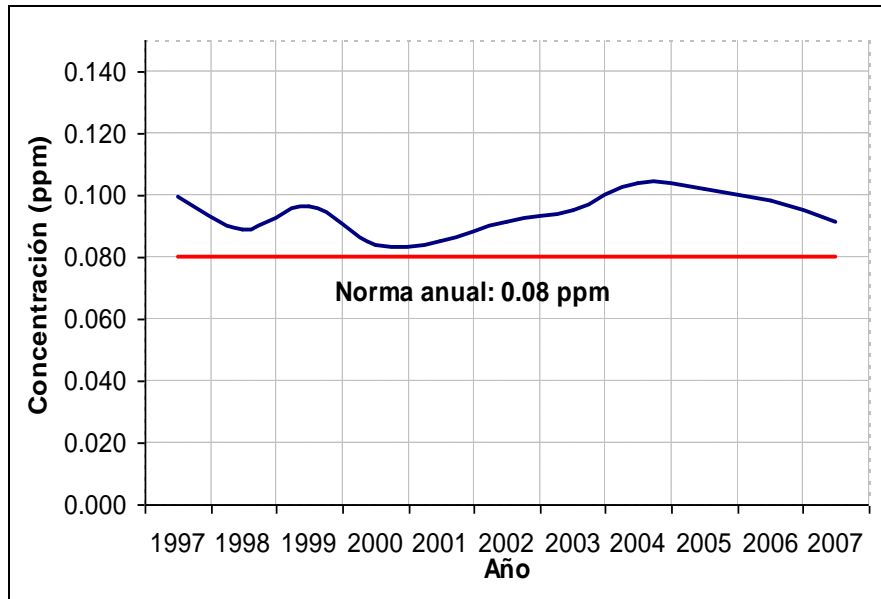
Figura 2.2 Número de días por arriba del valor de la norma diaria ($65 \mu\text{g}/\text{m}^3$) de $\text{PM}_{2.5}$ en el AMM*, 1997-2006 (INE, 2008).



Fuente: INE, 2008. Elaboración propia, con información del sistema de monitoreo atmosférico de Monterrey, N.L.

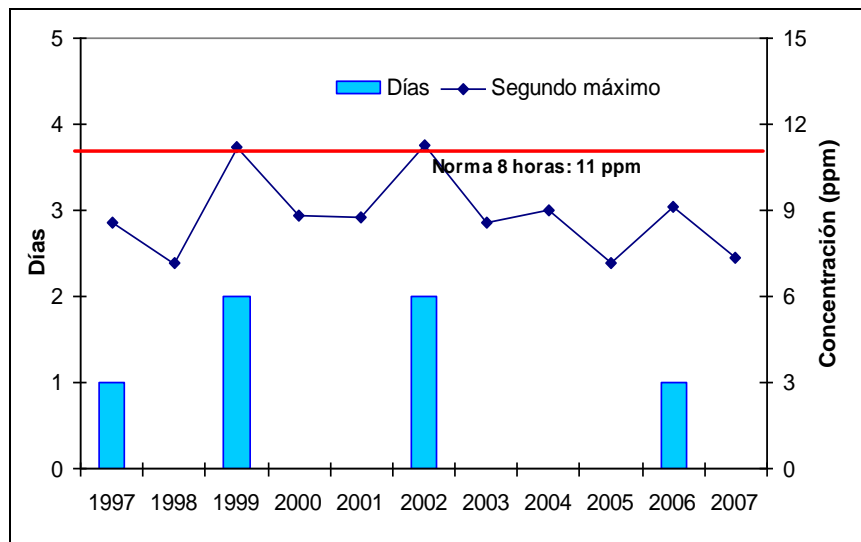
Figura 2.3 Concentración horaria máxima y número de días por arriba del valor de la norma horaria (0.11 ppm) de O_3 en el ZMM, 1997-2006 (INE, 2008).

En lo que respecta al ozono (figuras 2.3 y 2.4) se aprecia que no se cumplen ni la norma horaria ni la anual para este contaminante, aunque con una ligera disminución de días por arriba del valor de la norma horaria a partir de 2005.



Fuente: INE, 2008. Elaboración propia, con información del sistema de monitoreo atmosférico de Monterrey, N.L.

Figura 2.4 Quinto máximo de los promedios móviles de 8 horas** de O₃ en el AMM, 1997-2007 (INE, 2008).



Fuente: INE, 2008. Elaboración propia, con información del sistema de monitoreo atmosférico de Monterrey, N.L.

Figura 2.5 Segundo máximo de los promedios móviles de 8 horas y número de días por arriba del valor de la norma de 8 horas de CO (11 ppm) en el AMM, 1997-2007 (INE, 2008).

En la figura 2.5 se aprecia el cumplimiento de la norma de 8 horas de CO (11 ppm. 8 horas) en el AMM desde el 2003.

De acuerdo con el inventario nacional de emisiones de México 1999 (INEM 1999)-, la gran mayoría de las emisiones de PM_{10} en Monterrey provienen de fuentes fijas (62%). En lo que respecta a los precursores de ozono, las fuentes móviles tienen la mayor contribución, emitiendo un 44% de los COV y un 69% de NO_x (INE, 2006).

III. METODOLOGÍA

Los objetivos del estudio de campo en el AMM fueron:

- a) Obtener información de la flota vehicular de esta ciudad para determinar la proporción de autos de origen nacional y de origen extranjero que circulan en ella, y,
- b) Medir las emisiones del parque vehicular en circulación y relacionarlas con sus características (tipo, antigüedad, etc.).

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 de ambas ciudades a través de la realización de una serie de encuestas para obtener un panorama general del uso de los vehículos y de sus características.

a. 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.

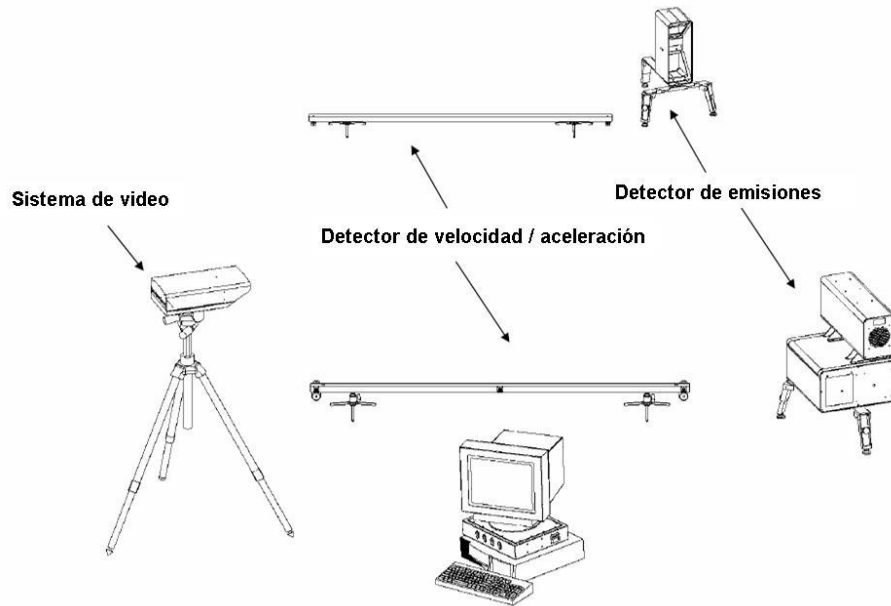
1. Equipo utilizado

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 el AMM, se utilizó el sistema Accuscan 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 y 8.5 metros a través de la vialidad a la altura del tubo de escape de gases, 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 de los óxidos de nitrógeno se lleva a cabo utilizando una fuente de luz ultravioleta. Los resultados obtenidos se presentan en base volumétrica, 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 (figura 3.1).

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 registraron valores de velocidad entre 8 y 160 km/h, y de aceleración entre -20.9 y 22.5 km/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 impresión de la placa trasera de cada automotor para después obtener los datos particulares de los vehículos monitoreados (como año-modelo, tipo, cilindrada, etc.). La figura 3.1 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 3.1 Elementos del equipo de detección remota: sistema de video, detector de velocidad /aceleración y detector de emisiones (RSR, 2005)

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 inadecuados no sean tomados en cuenta durante el análisis de la información (ESP, 2004).

2. Periodo del estudio

Las mediciones se llevaron a cabo con base en la metodología citada por Schifter 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, 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 zonas con diferente tipo de actividad económica (Unal, 2007).

Con base en estas recomendaciones, el estudio en el AMM se llevó a cabo del martes 27 de mayo al jueves 5 de junio de 2008. Las mediciones se realizaron 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.

3. Selección de sitios

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, que permitieran el paso de los vehículos por entre las barras de detección de velocidad y que contaran con una ligera pendiente, para asegurar una aceleración adecuada y una velocidad comprendida entre los 30 y 40 kilómetros por hora.

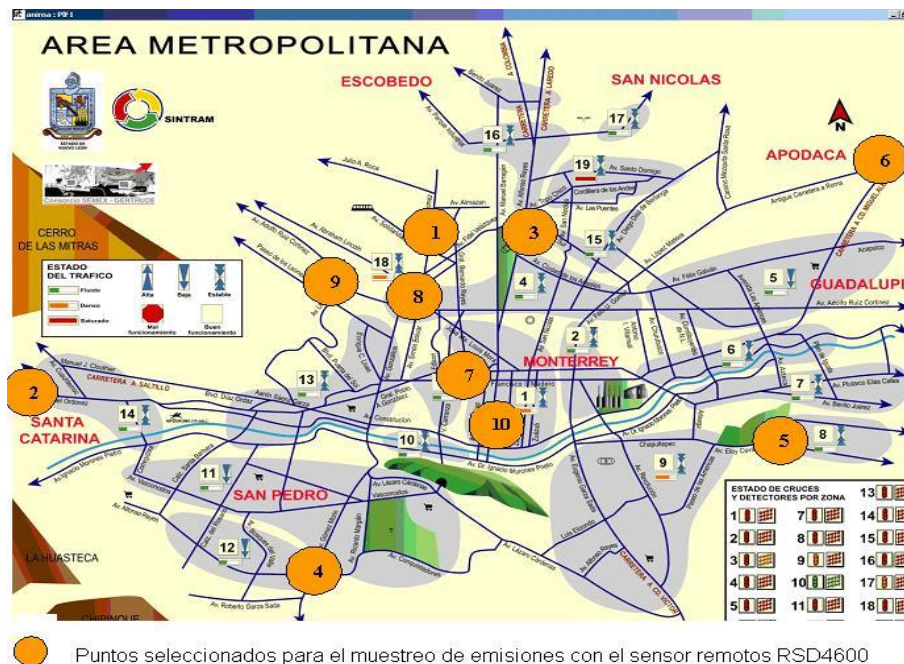
Como herramientas de apoyo en la selección de los sitios se utilizaron la cartografía de la ciudad, los registros de aforos vehiculares y velocidades de circulación proporcionados por el Consejo Estatal de Transporte y Vialidad de Nuevo León (CETYV), y los puntos muestreados anteriormente en estudios similares con equipo de detección remota por parte de la Agencia para la Racionalización y Modernización del Sistema de Transporte Público de Nuevo León. Asimismo, se realizó un recorrido previo al inicio de las mediciones, para asegurar la correcta selección de los puntos.

El cuadro 3.1 y la figura 3.2 describen la ubicación de los puntos en los que se colocó el equipo de medición, así como la fecha en que se realizaron las mediciones en cada uno de estos puntos y la principal actividad económica realizada 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 3.1 Ubicación de los sitios de muestreo en el AMM.

No.	Fecha	Municipio	Ubicación	Tipo de zona
1	27-Mayo-2008	Escobedo	Raúl Salinas Lozano (esquina con Av. Crescencio Monroy)	Comercios y servicios
2	28-Mayo-2008	Santa Catarina	Av. Manuel Ordóñez (casi esquina con Segunda Avenida)	Habitacional /Comercial
3	29-Mayo-2008	Escobedo/ San Nicolás	Av. Sendero (esquina con Av. Morenita Mía)	Comercial /habitacional /Industrial
4	30-Mayo-2008	San Pedro Garza García	Av. Gómez Morín (Frente a Plaza Chipinque)	Residencial
5	31-Mayo-2008	Guadalupe	Av. Eloy Cavazos (Frente al Parque La Pastora)	Habitacional /Comercial
6	01-Junio-2008	Apodaca	Carretera Santa Rosa (frente a la industria SANMINA SCI)	Industrial
7	02-Junio-2008	Monterrey	Av. Alfonso Reyes	Comercial /habitacional
8	03-Junio-2008	Monterrey	Av. Rangel Frías (casi esquina con Av. Lincoln de norte a sur)	Comercial /habitacional
9	04-Junio-2008	Monterrey	Av. Ruiz Cortines (casi esquina con Lincoln de poniente a oriente)	Comercial /habitacional
10	05-Junio-2008	Monterrey	Av. Serafín Peña	Habitacional

Fuente: INE, 2008. Elaboración propia.



Fuente: INE, 2008 con información del Consejo Estatal de Transporte y Vialidad de Nuevo León.

Figura 3.2. Ubicación de los sitios de medición de emisiones vehiculares con equipo de detección remota en el AMM.

4. Calibración del equipo y recolección de datos

El equipo fue calibrado todos los días, antes de iniciar las mediciones. Adicionalmente, se calibró con el gas estándar cada hora 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.

Como mencionó con antelación, los contaminantes que se midieron son CO, CO₂, HC, NO y opacidad, que junto con los registros de velocidad y aceleración del vehículo fueron almacenados en la computadora del sistema.

Captura de la información

Una vez terminado el proceso de medición, se realizó la captura manual de las placas a partir de cada fotografía. 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 ó 99999 que representan desalineación del sistema óptico del equipo o descalibración.

Control de calidad de la captura de la información

Con el fin de asegurar la correcta captura de las placas se realizó lo siguiente 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:

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

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, ..., 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.

5. 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, cilindros, cilindrada, etc.). Para tal efecto, se obtuvieron las bases de datos del registro vehicular del gobierno del estado de Nuevo León.

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. Dicha base se usó tanto para la estadística descriptiva como la inferencial, la primera con el objeto de identificar y clasificar la flota vehicular y la segunda orientada al estudio del comportamiento de los valores de las emisiones vehiculares. Por medio de la estadística descriptiva se pretende identificar y clasificar la flota vehicular en función de las siguientes características técnicas de los vehículos:

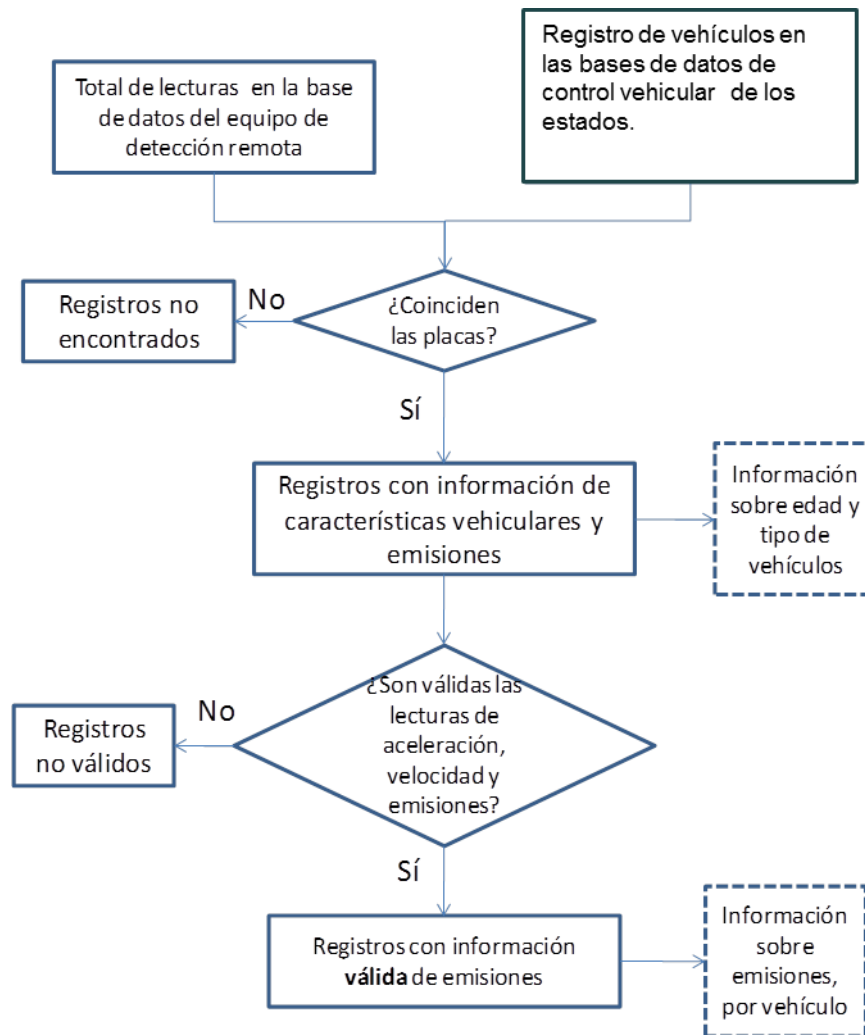
- **Tipo:** sedán, Sport Utility Vehicle (SUV), pick up, camioneta tipo VAN, camión ligero, autobús de transporte público, foráneo, microbús, camión de volteo.
- **Antigüedad:** diferencia entre el último año-modelo (2008) y el año-modelo del vehículo.
- **Número de cilindros del vehículo:** 4 o menos, 5 o más
- **Tipo de uso:** Particular o de servicio
- **Tipo de combustible:** gasolina, diesel, gas natural, gas LP y eléctricos

Una vez definidas las características técnicas de interés y las variables explicativas del análisis, se llevó a cabo un proceso de disgregación, para utilizar la información obtenida de la campaña (ver figura 3.3). Con el objeto de utilizar el mayor número de registros posibles, la disgregación se llevó a cabo mediante dos procesos. En principio, para obtener las características de la flota, se tomó la base de datos integrada (con información sobre emisiones y características) y se complementó con los registros que, si bien no contaban con la información de la placa, al momento de la captura se identificó el tipo de vehículo de que se trataba.

La identificación y clasificación de las características técnicas se llevó a cabo cuantificando la frecuencia de las diferentes características técnicas de los vehículos, por ejemplo, identificado cuántos vehículos eran del tipo sedán, camión ligero, etc. Para la elaboración de los histogramas correspondientes al tipo de vehículo se utilizaron tres categorías generales, que fueron “sedán” que incluyó los vehículos compactos y subcompactos, “camión ligero” que incluyó los identificados como vagoneta, *vannette*, pick-up, VAN, SUV y demás vehículos similares; y finalmente, “camión pesado” donde se incluyó camión, autobús, minibús, ómnibus, microbús, volteo y todos aquellos similares.

Por otra parte, en lo que respecta a las emisiones, fue necesario validarlas, porque para el tratamiento estadístico se consideran 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 (% en volumen) 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 de propano) resultó menor a -1000 ppm o mayor a 40,000 ppm, entonces se considera que la lectura de HC no es válida.
- Si la concentración medida de NO (ppm) resultó menor a -700 ppm o mayor a 7000 ppm, entonces se considera que la lectura de óxido nítrico (NO) no es válida.



Fuente: INE, 2008. Elaboración propia.

Figura 3.3 Diagrama de flujo para el procesamiento de la información proveniente del equipo de detección remota.

Estadística descriptiva (descripción de la muestra de vehículos medidos)

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

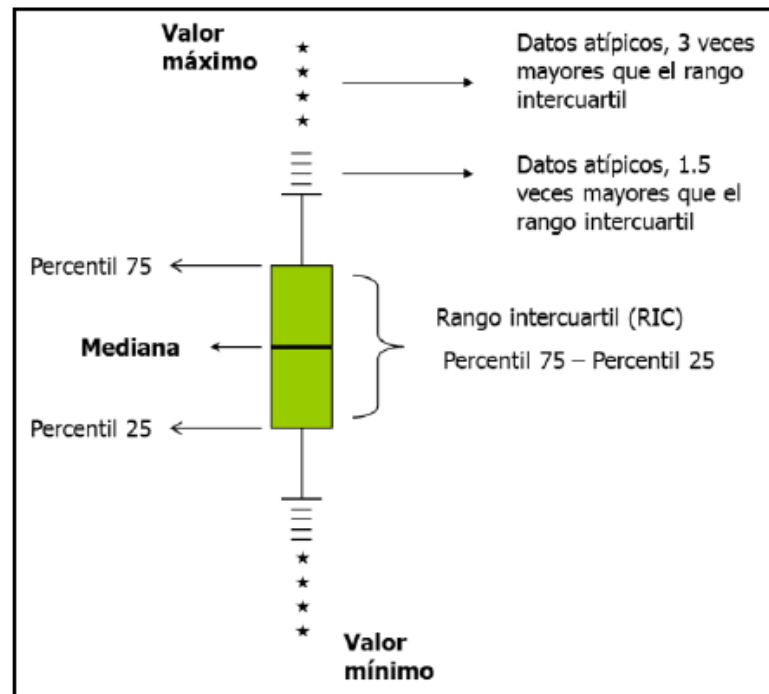
- Se realizó la agrupación de los datos de emisión, con el fin de observar las posibles diferencias entre las emisiones de los vehículos con antigüedad mayor a diez años (de interés por la entrada en vigor de las disposiciones

del TLCAN comentadas en la introducción) y aquéllos más recientes. Así, en este caso, los intervalos de año-modelo se definieron como *1998 y anteriores* y *1999 y posteriores*.

- Utilizando la categorización empleada en la ZMVM, basada en los cambios tecnológicos observados en la flota vehicular nacional, que considera cinco estratos de edad vehicular, de acuerdo con el año-modelo: *1980 y anteriores*; *1981-1990*; *1991-1992*; *1993-1998* y *1999 y posteriores*.
- Se agruparon los vehículos por tipo de servicio (particular vs. taxi) 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.
- Comportamiento de las emisiones por sitio de muestreo. Se llevó a cabo un análisis comparativo simple de las emisiones promedio diarias registradas en cada sitio de muestreo y se compararon entre sí (Bishop, et al., 1997 y SMA-GDF, 2006).

Para cada uno de los casos anteriores se obtuvieron las estadísticas descriptivas de las emisiones de CO, CO₂, HC y NO (número de mediciones, mediana, promedio, desviación estándar, percentil 95 y percentil 98), 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 inter-cuartil (percentil 75 menos percentil 25) y los valores extremos (Visauta, 2007). En la gráfica, el símbolo “★” indica valores más de tres veces el rango inter-cuartil, desde el percentil 25 hacia abajo o desde el percentil 75 hacia arriba, que son los valores más extremos de la distribución. El símbolo “-” indica valores más de 1.5 veces el rango inter-cuartil 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 3.4).



Fuente: INE, 2008. Elaboración propia.

Figura 3.4 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)

De acuerdo con Zhang, et al. 1994, puede suponerse que 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 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 en cada una de las ciudades se estimaron los parámetros α y β para las mediciones realizadas en la ZMM y se verificó que la distribución de los datos efectivamente se comporta 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, para un intervalo de confianza del 95%, el intervalo de confianza indica que si el estudio se repite en las mismas condiciones pero con distintas muestras aleatorias, noventa y cinco de cada cien veces obtendría intervalos que contendrían el verdadero parámetro poblacional y cinco veces obtendría intervalos que no lo contendrían. Un intervalo de confianza da idea de qué tanta incertidumbre existe acerca del valor del parámetro que se está estimando, si el intervalo resulta muy grande, hay mucha incertidumbre acerca de dónde se localiza el verdadero valor del parámetro; si el intervalo resulta muy pequeño, hay poca incertidumbre acerca de dónde se localiza el verdadero valor del parámetro.

b. Características, composición, origen y actividad de la flota vehicular

Con el objeto de determinar la población total de vehículos en circulación en el AMM y su composición, haciendo una distinción entre vehículos de origen nacional o importado, así como para determinar las características del parque vehicular por año-modelo y clase de vehículo, se utilizó la información del padrón vehicular del estado de Nuevo León y se levantaron encuestas a propietarios de vehículos en la zona. A este respecto se llevaron a cabo las siguientes actividades.

- **Entrevistas** directas a mil conductores de vehículos en estaciones de servicio.
- **Conteo directo** para obtener una primera aproximación de la composición del parque vehicular que circula en la ciudad por categoría de vehículo de acuerdo con su procedencia.

- **Recopilación de bases de datos de ventas** históricas de la industria automotriz en el AMM para determinar la composición de la venta de vehículos nacionales que entró al parque vehicular.

Estas actividades se llevaron a cabo del 4 al 8 de noviembre de 2008. Asimismo, para complementar esta información, se utilizó la información recabada sobre las características vehiculares a partir de las placas de circulación durante la medición de emisiones con el equipo de detección remota.

1. Selección de sitios

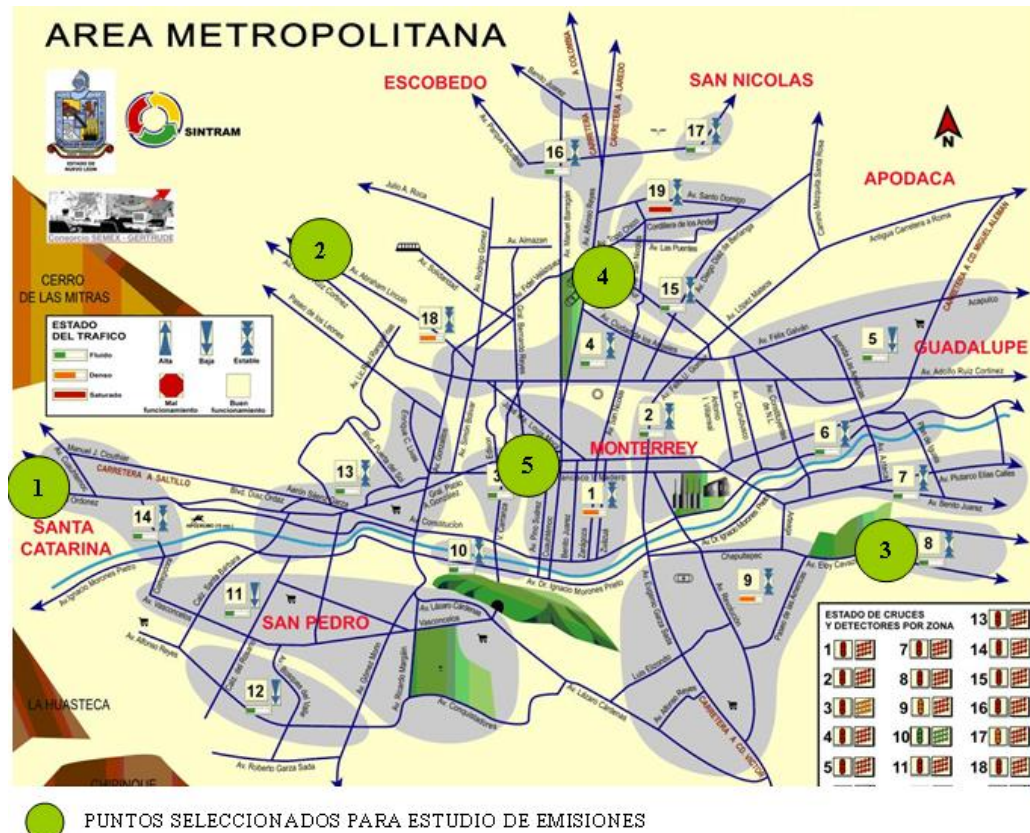
La selección de los sitios de aplicación de encuestas se basó en los mismos criterios de selección tomados para los sitios de medición de emisiones. Los cinco puntos donde se llevaron a cabo el conteo y la aplicación de las mil entrevistas se indican en el cuadro 3.2.

Cuadro 3.2 Puntos seleccionados para la aplicación de encuestas en el AMM.

Clave de ubicación	Municipio - Ubicación
1	Escobedo - Raúl Salinas Lozano (esquina con Av. Crescencio Monroy)
2	Santa Catarina - Av. Manuel Ordóñez (casi esquina con Segunda Avenida)
3	Guadalupe - Av. Eloy Cavazos (Frente al parque "La Pastora")
4	Escobedo/San Nicolás - Av. Sendero (esquina con Av. Morenita Mía)
5	Monterrey - Av. Alfonso Reyes (entre agencia de viajes BCD Travel y tienda OXXO)

Fuente: INE, 2008. Elaboración propia.

La figura 3.5 muestra los sitios seleccionados para la aplicación de encuestas.



Fuente: INE, 2008 con información del Consejo Estatal de Transporte y Vialidad de Nuevo León.

Figura 3.5 Puntos seleccionados para la aplicación de encuestas en el AMM.

2. Recolección de datos

Se realizó el conteo directo durante cinco días, un día en cada uno de los puntos seleccionados. El conteo se realizó durante 20 minutos cada hora entre las 8:00 y las 18:00 horas. El personal a cargo de los conteos contaba con experiencia para hacer una clasificación preliminar, por medio de una identificación visual de los vehículos por procedencia (nacional e importada) y por categoría (autos, vehículos comerciales ligeros y pesados, autobuses y motos).

Se diseñaron las encuestas para incluir una serie de preguntas sobre el tipo, marca, procedencia, el recorrido semanal y el promedio de consumo de combustible de los vehículos, entre otra información. Los formatos empleados para recopilar la información, el conteo físico y la entrevista se encuentran en los anexos A y B.

Se aplicaron las entrevistas a conductores en gasolineras ubicadas en las mismas avenidas donde se realizó el conteo directo, de acuerdo con la distribución preliminar obtenida mediante el conteo directo.

Ahora bien, para poder estimar el tamaño del parque vehicular de cada ciudad se procedió a hacer una separación por categoría de los vehículos evaluados de acuerdo a la información obtenida con las entrevistas (autos, VAN, SUV y pick-up/estaquitas) para determinar la edad promedio de los vehículos de origen nacional registrados durante este estudio, y así poder estimar una curva de mortalidad de acuerdo con las ventas históricas de la industria automotriz en esta ciudad, para cada una de estas categorías.

IV. RESULTADOS

El análisis de resultados de la información obtenida se presenta en dos secciones: la primera sobre la medición de emisiones vehiculares con el equipo de detección remota y la segunda con la información recabada por medio de encuestas.

a. Emisiones vehiculares

1. Recolección de datos y captura de la información

Durante los diez días de medición en el AMM se obtuvieron un total de 42,989 lecturas de emisiones vehiculares. El cuadro 4.1 muestra la distribución del número de registros obtenidos por día de muestreo.

Cuadro 4.1 Distribución del número de registros capturados por día de muestreo.

No.	Ubicación	Día de muestreo	Placas capturadas por día
1	VÍA RÁPIDA PONIENTE	Martes 27 de mayo	5,171
2	BOULEVARD CASA BLANCA	Miércoles 28 de mayo	4,375
3	CAMINO AL AEROPUERTO	Jueves 29 de mayo	4,801
4	VÍA RÁPIDA PONIENTE	Viernes 30 de mayo	3,966
5	LIBRAMIENTO SUR	Sábado 31 de mayo	4,513
6	PASEO ENSENADA EN PLAYAS DE TIJUANA	Domingo 1º de junio	3,045
7	VÍA RÁPIDA PONIENTE	Lunes 2 de junio	6,123
8	BOULEVARD CASA BLANCA	Martes 3 de junio	3,767
9	CAMINO AL AEROPUERTO	Miércoles 4 de junio	4,996
10	VÍA RÁPIDA PONIENTE	Jueves 5 de junio	2,232
Total			42,989

Fuente: INE, 2008. Elaboración propia.

Como puede observarse, se logró el objetivo de recopilar en promedio entre tres y cuatro mil mediciones por día. Del total de registros obtenidos, 5,287 fueron descartados debido a que los vehículos no contaban con placas, o eran ilegibles o poco visibles. Como resultado, la base de datos se redujo a 37,095 registros, como puede observarse del cuadro 4.2

Cuadro 4.2 Depuración de registros durante la captura.

Registros	No. de observaciones
Registros totales	42,989
Registros sin placas, ilegibles o poco visibles	5,287
Registros con placa capturada	37,702

Fuente: INE, 2008. Elaboración propia.

Para el control de calidad de la captura, se aplicó la fórmula descrita en la metodología. El cuadro 4.3 especifica los tamaños de muestra obtenidos para este proceso así como el porcentaje de error en la captura encontrado para cada muestra.

Cuadro 4.3 Tamaño de muestra y porcentaje de error en la captura por día de medición.

Día	Tamaño de muestra	% de error
27-Mayo-08	169	4
28-Mayo-08	182	4
29-Mayo-08	218	3
30-Mayo-08	205	5
31-Mayo-08	228	8
01-Junio-08	134	2
02-Junio-08	307	9
03-Junio-08	158	3
04-Junio-08	238	7
05-Junio-08	77	3
Total	1,916	$\hat{x} = 2.51$

Fuente: INE, 2008. Elaboración propia.

Como puede observarse, el porcentaje de error promedio fue menor al 5%, por lo que no fue necesario volver a capturar la información de las placas.

2. Procesamiento de la información

Al realizarse la captura de las placas vehiculares correspondientes a estas mediciones y compararlas con los registros vehiculares del estado de Nuevo León, se obtuvieron dos grandes grupos de datos:

- registros encontrados en la base de datos de registro vehicular del estado de Nuevo León,
- registros no encontrados o sin información (sin placas, con placas de otras entidades nacionales, con placas de otros estados de Estados Unidos o con placas ilegibles).

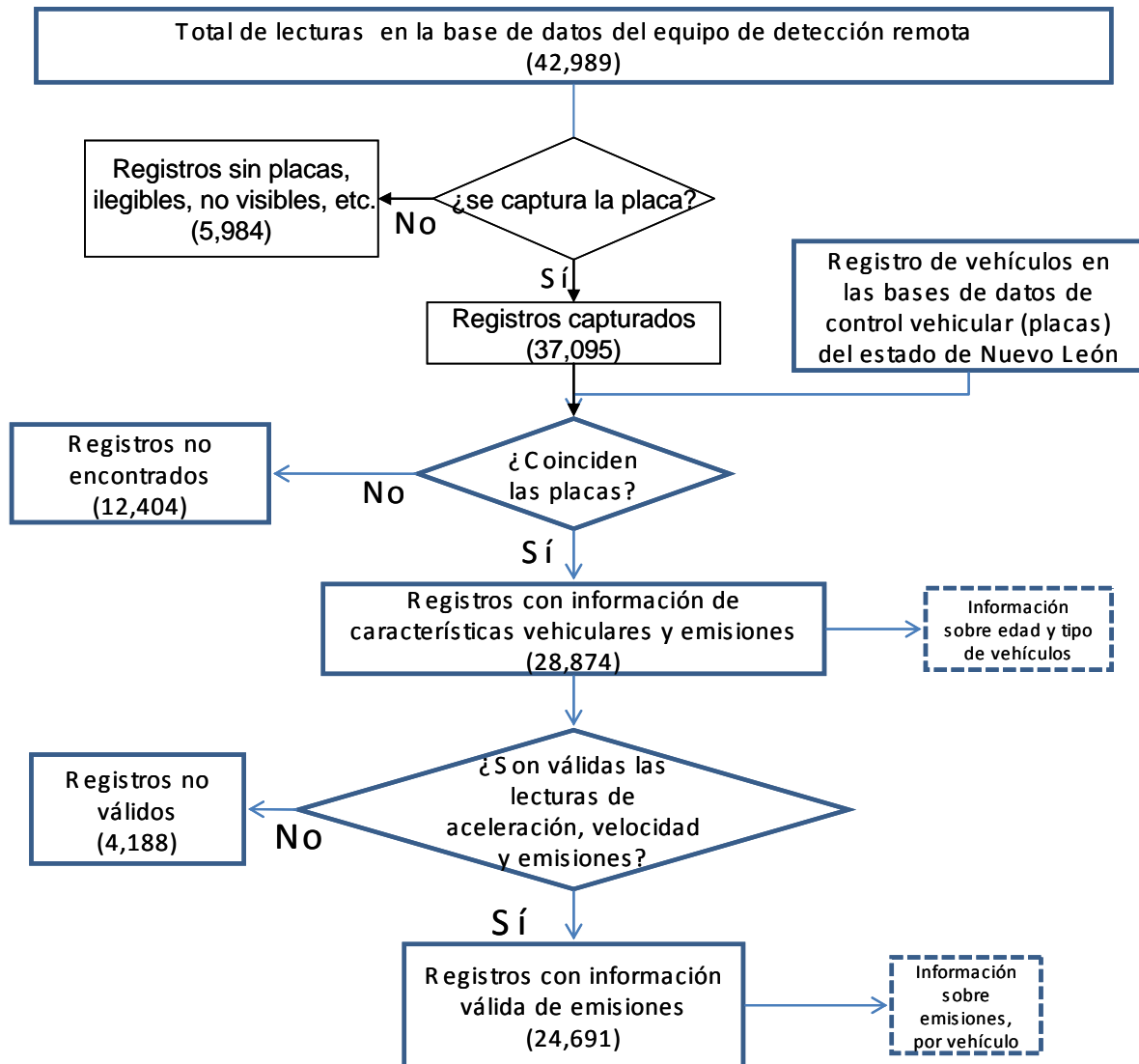
El número de registros correspondiente a cada uno de estos grupos se detalla en el cuadro 4.4.

Cuadro 4.4 Relación de los registros del equipo de detección remota.

Grupo de datos	Número de registros	%
Registros encontrados en la base de datos de autos particulares o en la de vehículos de servicio	24,691	67
Registros con placas de otras entidades y registros sin información	12,404	33
Total	37,095	100

Fuente: INE, 2008. Elaboración propia.

De estos dos grupos, se utilizó el primero (es decir, aquellos registros encontrados en las bases de datos de control vehicular de Nuevo León) para describir el perfil de la muestra de vehículos con respecto a su antigüedad. Los resultados de la descripción de la flota con respecto a su antigüedad y características se muestran en la sección b.



Fuente: INE, 2008. Elaboración propia.

Figura 4.1 Resultado del procesamiento y validación de la información obtenida del equipo de detección remota.

Por otra parte, como se mencionó en la metodología, para el análisis de las mediciones de emisiones, es necesario utilizar únicamente aquellos registros con todas las lecturas válidas. En este caso, del total de registros cuya información se encontró en las bases de datos de Nuevo León (es decir, de la muestra con tamaño igual a 37,095) únicamente 24,691 vehículos cumplieron con este último criterio. Es decir, aproximadamente el 67% de los registros con información en las bases de datos de control vehicular pudieron efectivamente ser utilizados para los

análisis posteriores. (Ver figura 4.1). Del total de mediciones efectuadas, esta muestra representa aproximadamente 54%. Este porcentaje es consistente con los porcentajes reportados en estudios similares (Unal, 2007).

3. Comportamiento de las emisiones vehiculares

Estadística descriptiva

A continuación se presenta una serie de cuadros y figuras que muestran los resultados del análisis del comportamiento de las emisiones vehiculares en el AMM. Para cada contaminante se analizó el comportamiento de las emisiones considerando, en primera instancia, los vehículos con diez o más años de antigüedad y aquéllos más recientes. Adicionalmente, se presentan los resultados de la categorización de la flota vehicular, de acuerdo a los cinco estratos que ha utilizado. De este modo los estratos por año-modelo son: 1980 y anteriores, 1981-1990, 1991-1992, 1993-1998 y 1999 y posteriores.

En esta sección se muestra, para cada contaminante, un cuadro con las estadísticas descriptivas de las emisiones vehiculares (tamaño de muestra, mediana, promedio y desviación estándar), gráficos de caja, gráficas con la mediana, promedio y percentil 95 para cada caso: dos y cinco estratos. Con estas figuras se pretende identificar si existe una relación entre las emisiones medidas y la antigüedad de los vehículos y, por ende, su tecnología de control de emisiones.

Monóxido de carbono (CO)

Dos estratos (vehículos de diez años o más de antigüedad vs. vehículos más recientes)

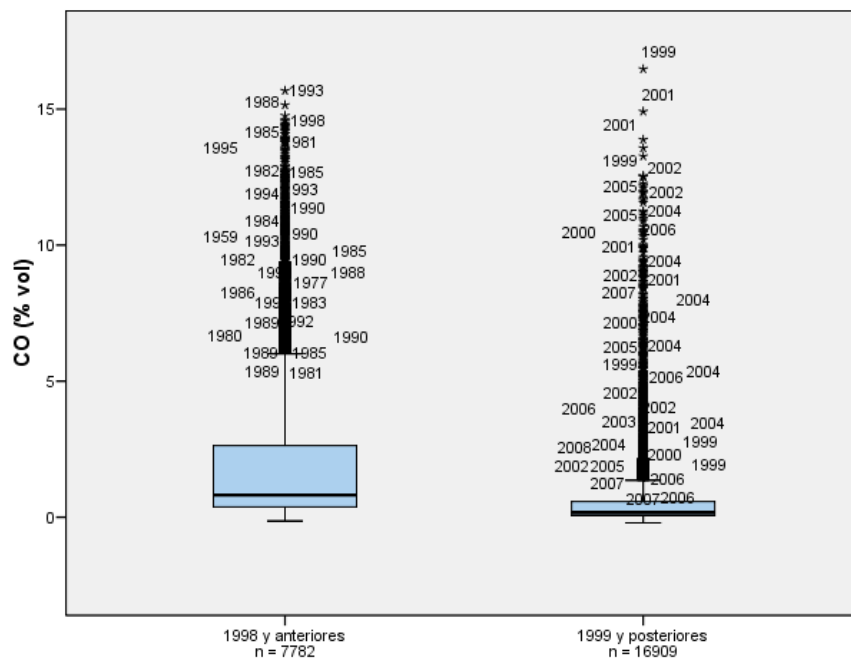
En el cuadro 4.5 se detallan las estadísticas descriptivas para este análisis. Como puede observarse en promedio las emisiones de los vehículos con diez años o más de antigüedad son cuatro veces las emisiones de los vehículos más

recientes. En el caso de la mediana (más representativa del comportamiento de un gran número de vehículos) esta relación es de 5 a 1.

Cuadro 4.5 Estadísticas descriptivas de CO (% en volumen) para dos estratos vehiculares.

Estadística	1998 y anteriores	1999 y posteriores
Número de mediciones	7,782	16,909
Mediana	0.81	0.16
Promedio	2.08	0.49
Desviación estándar	2.77	1.03

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

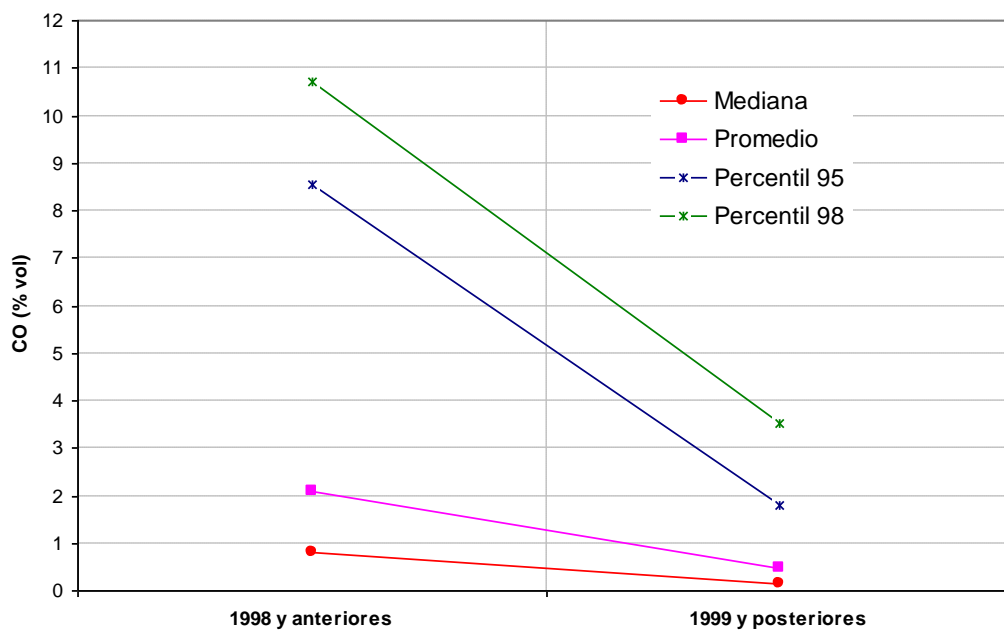


Fuente: INE, 2009. Elaboración propia, con información del sensor remoto 2008.

Figura 4.2 Distribución de las concentraciones de CO (% en volumen) para dos estratos vehiculares en la AMM.

Como puede observarse en la figura 4.2, 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 que para los vehículos más recientes) y, además, presenta también un gran número de valores extremos. En

contraste, los vehículos más recientes presentan menos dispersión (con un rango inter-cuartílico más reducido), pero también presentan muchos valores extremos, comparables a los que se presentan en el estrato de los vehículos de mayor edad. Sin embargo, en la figura 4.3 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 la mayoría de los vehículos más viejos. Esto se observa al comparar el percentil 98 de ambos grupos, siendo el del grupo más reciente menos de la mitad que el del grupo de más edad.



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

Figura 4.3 Mediana, promedio y percentil 95 de CO (% en volumen) para dos estratos vehiculares.

Cinco estratos (agrupación de años-modelo por edad tecnológica aproximada)

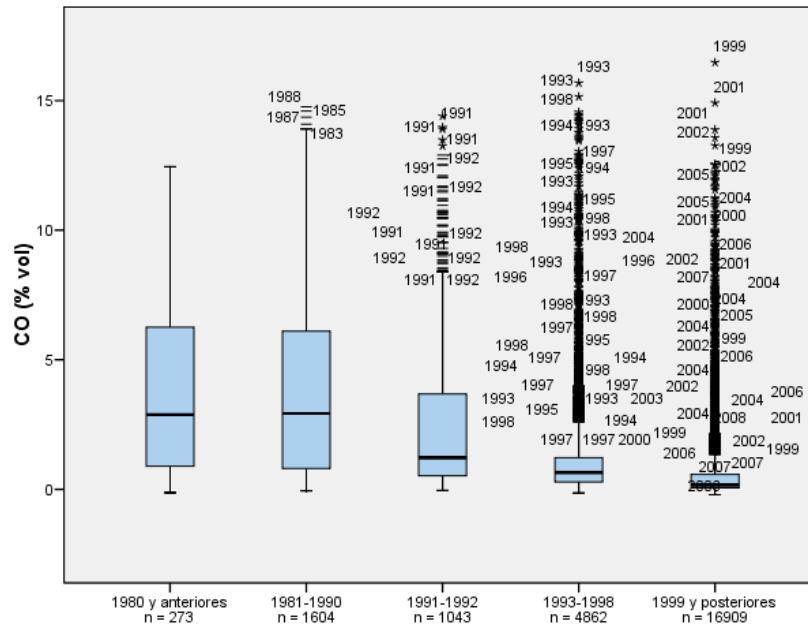
El cuadro 4.6 presenta las estadísticas descriptivas de las mediciones de CO, al agrupar los vehículos en cinco estratos.

Cuadro 4.6 Estadísticas descriptivas de CO (% en volumen) para cinco estratos vehiculares en el AMM.

Estadística	1980 y anteriores	1981-1990	1991-1992	1993-1998	1999 y posteriores
Número de mediciones	273	1,604	1,043	4,862	16,909
Mediana	2.88	2.92	1.22	0.64	0.16
Promedio	3.76	3.82	2.53	1.31	0.49
Desviación estándar	3.27	3.41	2.86	2.08	1.03

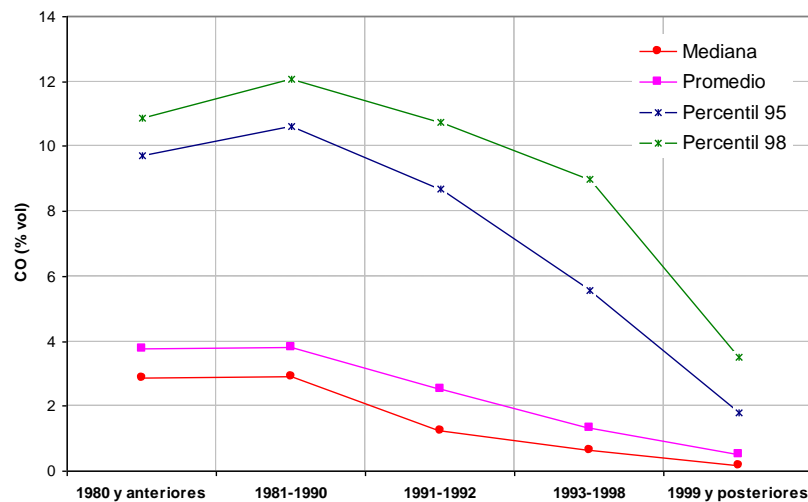
Fuente: INE, 2009. Elaboración propia, con información del sensor remoto 2008.

El cuadro 4.6 y las figuras 4.4 y 4.5 muestran que, conforme los vehículos son más recientes, sus emisiones promedio y mediana disminuyen, y la distribución de los valores medidos en cada estrato se hace más compacta (disminuye también la desviación estándar). Cabe notar que en los dos estratos más recientes se presentan valores extremos muy altos, comparables con los registrados por vehículos mucho más antiguos. Sin embargo, la posición de los percentiles 95 y 98 sugiere que los valores extremos de este tipo no son muy numerosos en estos grupos.



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

Figura 4.4 Distribución de las concentraciones de CO (% en volumen) para cinco estratos vehiculares.



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

Figura 4.5 Mediana, promedio y percentil 95 de CO (% en volumen) para cinco estratos vehiculares.

Bióxido de carbono (CO₂)

Dos estratos (vehículos de diez años o más de antigüedad vs. vehículos más recientes)

Las estadísticas descriptivas de las emisiones de CO₂, agrupadas en dos estratos, de acuerdo con la antigüedad de los vehículos se muestran en el cuadro 4.7.

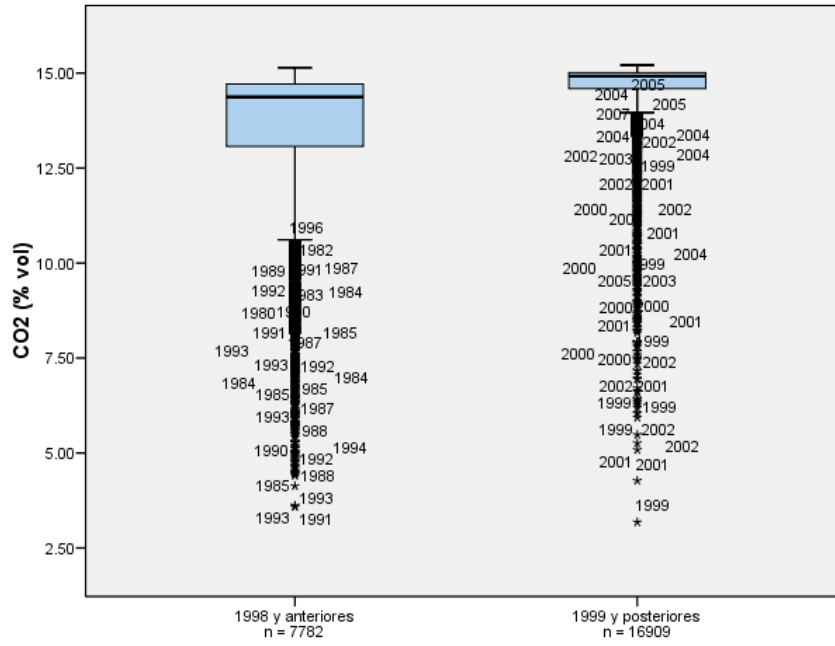
Cuadro 4.7 Estadísticas descriptivas de CO₂ (% en volumen) para dos estratos vehiculares.

Estadística	1998 y anteriores	1999 y posteriores
Número de mediciones	7,782	16,909
Mediana	14.37	14.92
Promedio	13.49	14.67
Desviación estándar	2.00	0.75

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

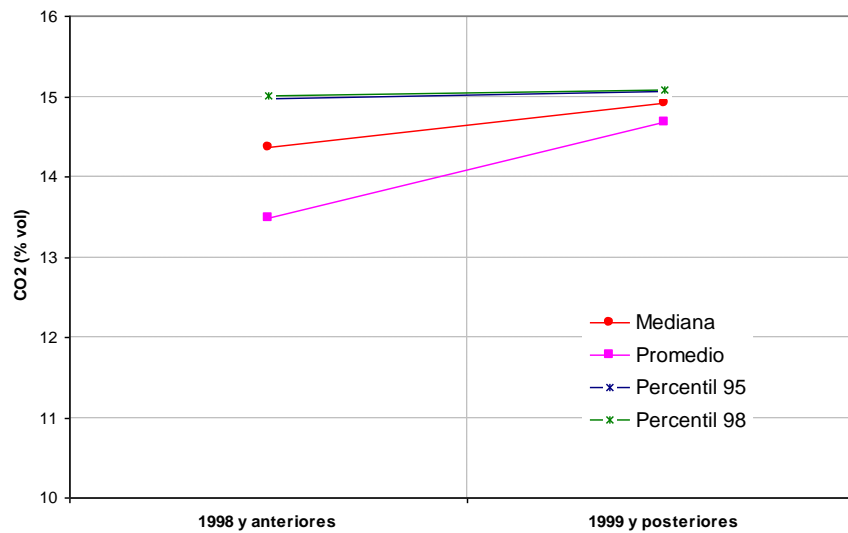
El comportamiento de las emisiones de CO₂ con respecto a la antigüedad de los vehículos es el esperado (ver figuras 4.6 y 4.7) pues los vehículos más recientes cuentan con mejor combustión y, por lo tanto, la concentración de CO₂ en el escape es mayor que la que presentan vehículos con combustión deficiente, pues estos últimos tienen menores emisiones de CO₂ porque el CO (un subproducto de la combustión) no se oxida totalmente.

Asimismo, puede observarse una mayor variabilidad en las mediciones de los vehículos de diez años o más de antigüedad y un gran número de valores extremos. En este caso, también los vehículos recientes presentan muchos valores extremos.



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

Figura 4.6 Distribución de las concentraciones de CO₂ (% en volumen) para dos estratos vehiculares.



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

Figura 4.7 Mediana, promedio y percentil 95 de CO₂ (% en volumen) para dos estratos vehiculares.

Cinco estratos (agrupación de años-modelo por edad tecnológica aproximada)

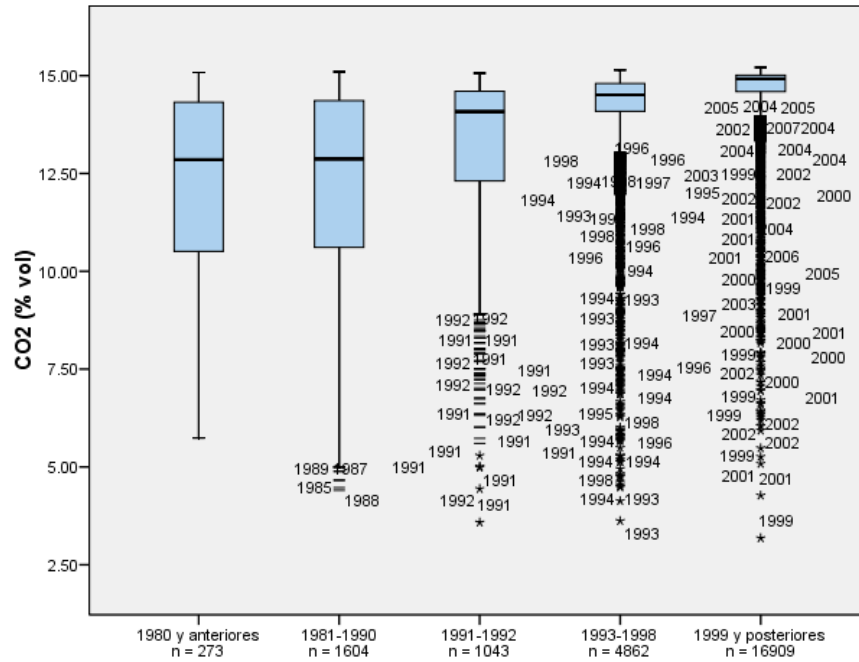
El cuadro 4.8 presenta las estadísticas descriptivas de las mediciones de CO₂, al agrupar los vehículos en cinco estratos.

Cuadro 4.8 Estadísticas descriptivas de CO₂ (% en volumen) para cinco estratos vehiculares en la AMM.

Estadística	1980 y anteriores	1981-1990	1991-1992	1993-1998	1999 y posteriores
Número de mediciones	273	1,604	1,043	4,862	16,909
Mediana	12.85	12.87	14.08	14.51	14.92
Promedio	12.25	12.22	13.15	14.04	14.67
Desviación estándar	2.35	2.44	2.05	1.50	0.75

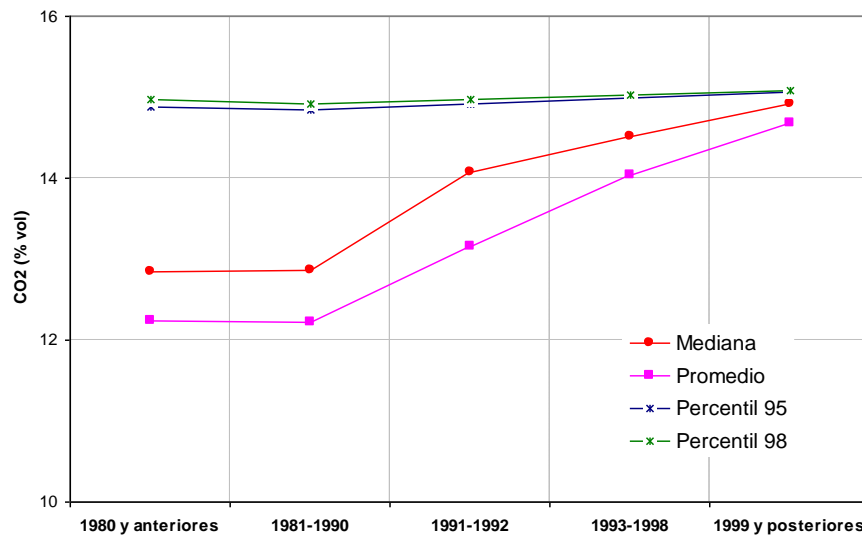
Fuente: INE, 2009. Elaboración propia, con información del sensor remoto 2008.

En el caso del CO₂, las emisiones registradas siguen el comportamiento esperado: a menor edad, mayor concentración de CO₂ en las emisiones del escape. Las figuras 4.8 y 4.9 ilustran esta situación y en ellas se puede observar el gran número de valores extremos muy bajos que se registran en los dos últimos estratos de edad vehicular.



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

Figura 4.8. Distribución de las concentraciones de CO₂ (% en volumen) para cinco estratos vehiculares en el AMM.



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

Figura 4.9 Mediana, promedio y percentil 95 de CO₂ (% en volumen) para cinco estratos vehiculares en el AMM.

Hidrocarburos (HC)

Dos estratos (vehículos de diez años o más de antigüedad vs. vehículos más recientes)

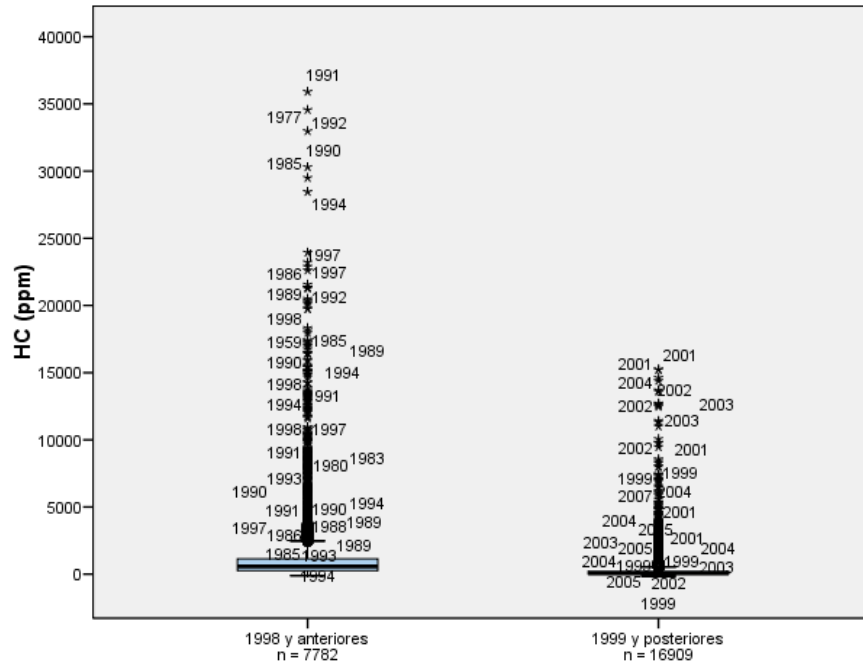
El cuadro 4.9 presenta las estadísticas descriptivas de las mediciones de HC, al agrupar los vehículos en dos estratos de antigüedad vehicular. En este caso, la diferencia entre los valores promedio y mediana no es significativa. Sin embargo, como lo muestra la figura 4.10, las distribuciones de los valores de cada uno de los estratos son muy diferentes.

Cuadro 4.9 Estadísticas descriptivas de HC (ppm) para dos estratos vehiculares en el AMM.

Estadística	1998 y anteriores	1999 y posteriores
Número de mediciones	7,782	16,909
Mediana	14.37	14.92
Promedio	13.49	14.67
Desviación estándar	2.00	0.75

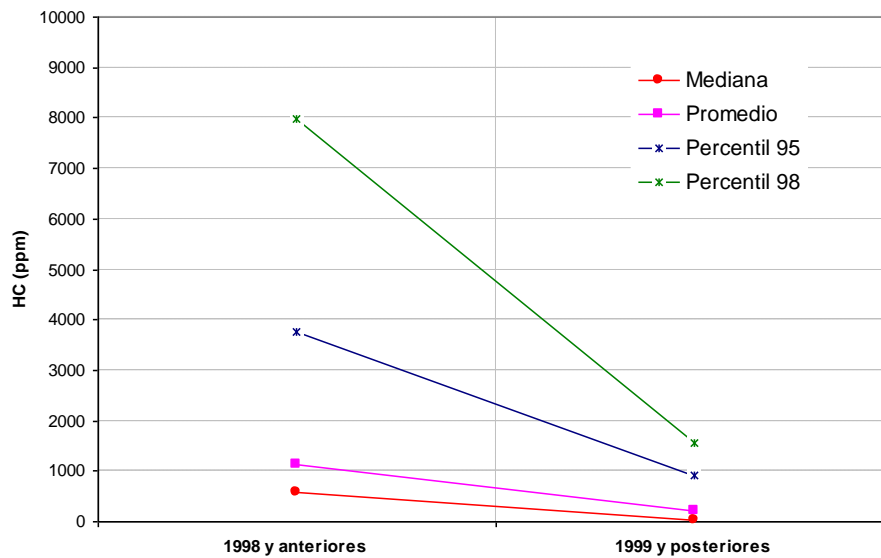
Fuente: INE, 2009. Elaboración propia, con información del sensor remoto 2008.

El estrato de vehículos de diez años o más de antigüedad presenta mayor dispersión de datos y valores extremos que son casi el doble de los valores más altos encontrados en el estrato más reciente.



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

Figura 4.10 Distribución de las concentraciones de HC (ppm) para dos estratos vehiculares en el AMM.



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

Figura 4.11 Mediana, promedio y percentil 95 de HC (ppm) para dos estratos vehiculares en el AMM.

Este mismo comportamiento se advierte en la figura 4.11, que muestra que el 98% de los valores del estrato más reciente son aproximadamente 80 por ciento menores que el 98% de los valores del estrato más antiguo.

Cinco estratos (agrupación de años-modelo por edad tecnológica aproximada)

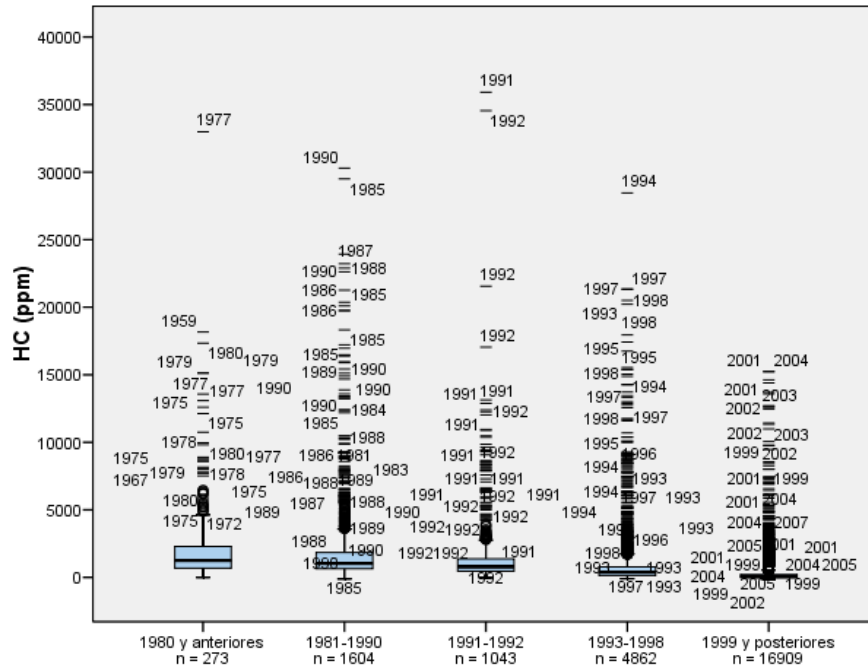
Las estadísticas descriptivas de las mediciones de emisiones de HC, con la agrupación en cinco estratos de edad vehicular se muestran en el cuadro 4.10.

Cuadro 4.10 Estadísticas descriptivas de HC (ppm) para cinco estratos vehiculares en el AMM.

Estadística	1980 y anteriores	1981-1990	1991-1992	1993-1998	1999 y posteriores
Número de mediciones	273	1,604	1,043	4,862	16,909
Mediana	1,252.00	1,037.40	791.00	390.80	41.90
Promedio	2,385.19	1,848.48	1,371.29	771.86	218.13
Desviación estándar	3,503.33	2,821.19	2,414.21	1,573.67	617.14

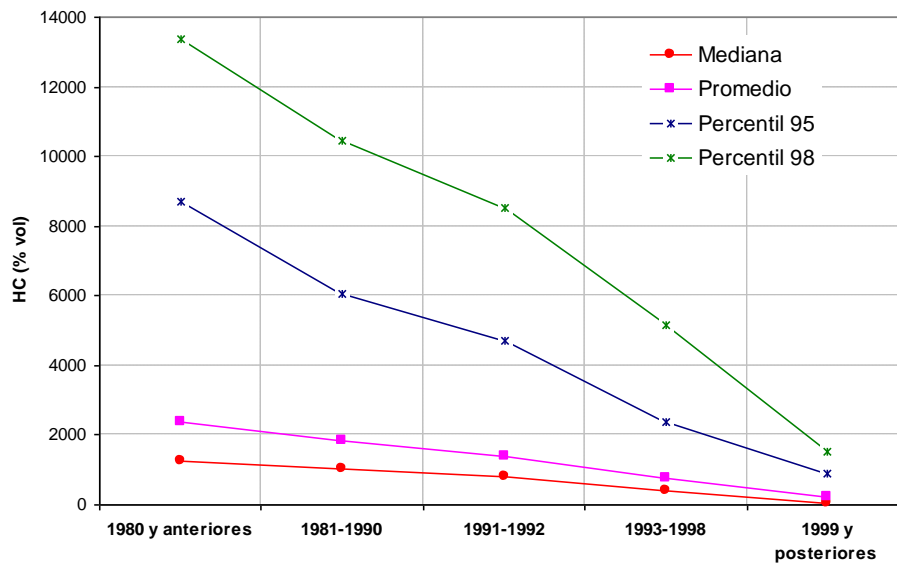
Fuente: INE, 2009. Elaboración propia, con información del sensor remoto 2008.

En este caso, al igual que en el del CO, las emisiones de los vehículos más recientes resultaron significativamente menores que las de los vehículos más antiguos. La diferencia en el promedio de emisiones medidas en el estrato más reciente con respecto al promedio del estrato más antiguo es de más de un orden de magnitud. Sin embargo, se repite la presencia de valores extremos en las distribuciones de valores de los estratos más recientes, aunque los percentiles 95 y 98 sugieren que los valores extremos no son muy numerosos (figuras 4.12 y 4.13).



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

Figura 4.12 Distribución de las concentraciones de HC (ppm) para cinco estratos vehiculares en el AMM.



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

Figura 4.13 Mediana, promedio y percentil 95 de HC (ppm) para cinco estratos vehiculares en el AMM.

Óxido nítrico (NO)

Dos estratos (vehículos de diez años o más de antigüedad vs. vehículos más recientes)

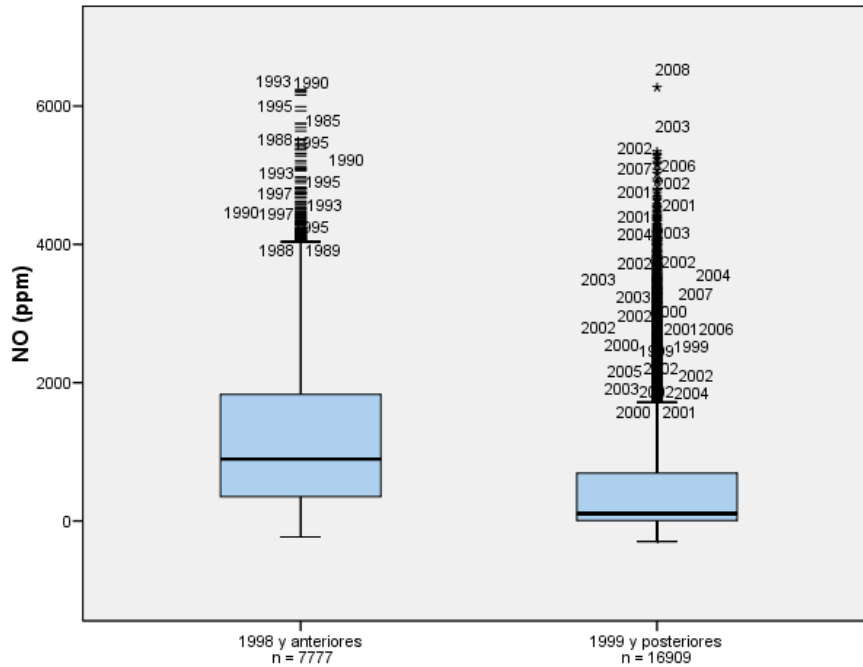
En el cuadro 4.11 se detallan las estadísticas descriptivas obtenidas para las mediciones de NO, de acuerdo con la agrupación en dos estratos de antigüedad.

Cuadro 4.11 Estadísticas descriptivas de NO (ppm) para dos estratos vehiculares en el AMM.

Estadística	1998 y anteriores	1999 y posteriores
Número de mediciones	7,777	16,909
Mediana	893	107
Promedio	1,210	545
Desviación estándar	1,061	901

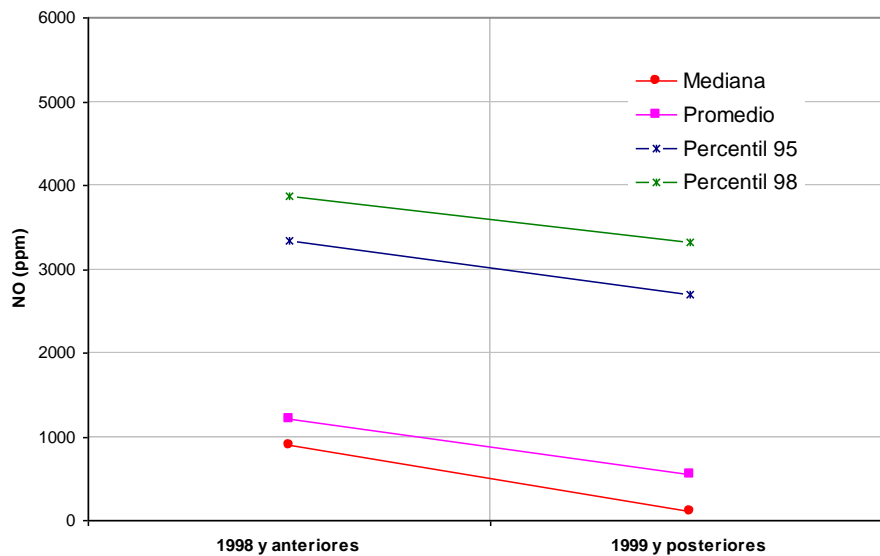
Fuente: INE, 2009. Elaboración propia, con información del sensor remoto 2008.

En el caso del NO, la diferencia entre ambos grupos de vehículos es notoria. Tanto la mediana como el promedio del estrato más antiguo son significativamente mayores (ocho y dos veces, respectivamente) que los mismos estadísticos del segundo grupo. Esta conclusión se refuerza con la figura 4.14, en la que se muestra la distribución de los valores de emisión encontrados en cada uno de los grupos. Sin embargo, si bien los valores del primer grupo son mayores y presentan una mayor dispersión que los de los vehículos más recientes, en este último grupo se observan valores extremos comparables a los encontrados en el primer grupo. Asimismo, en la figura 4.15 se observa que la diferencia entre el percentil 95 de ambos grupos no es muy grande, lo que corrobora que existe un número importante de valores extremos que están muy por encima del rango intercuartílico en el segundo grupo.



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

Figura 4.14 Distribución de las concentraciones de NO (ppm) para dos estratos vehiculares en el AMM.



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

Figura 4.15 Mediana, promedio y percentil 95 de NO (ppm) para dos estratos vehiculares en el AMM.

Cinco estratos (agrupación de años-modelo por edad tecnológica aproximada)

El cuadro 4.12 muestra las estadísticas descriptivas para el análisis de las mediciones, agrupadas con respecto a cinco estratos de antigüedad vehicular.

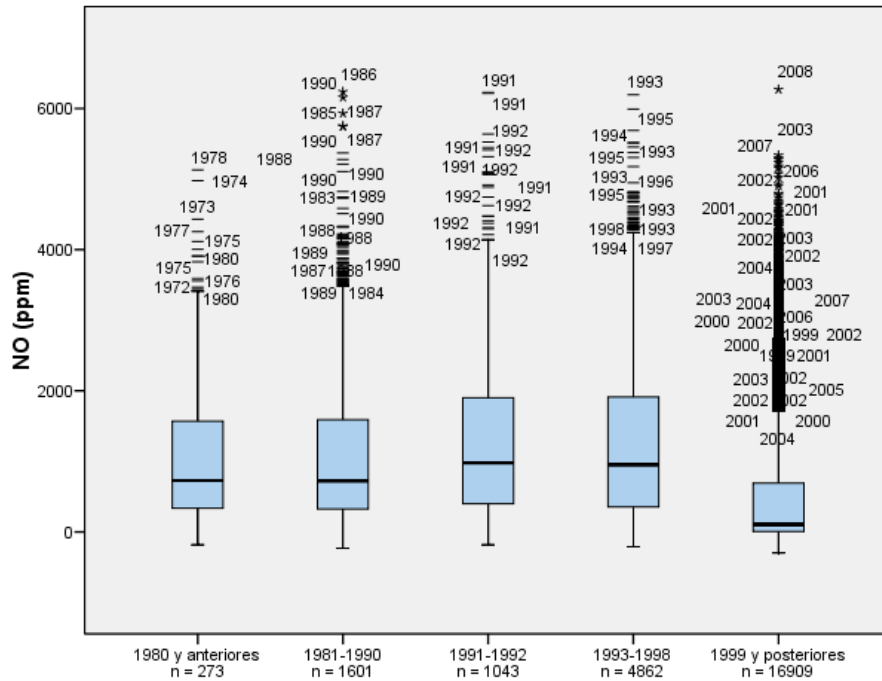
Cuadro 4.12 Estadísticas descriptivas de NO (ppm) para cinco estratos en el AMM.

Estadística	1980 y anteriores	1981-1990	1991-1992	1993-1998	1999 y posteriores
Número de mediciones	273	1601	1043	4860	16,909
Mediana	728.90	724.00	979.70	952.35	107.20
Promedio	1,111.05	1,095.08	1,279.73	1,238.61	545.10
Desviación estándar	1,045.28	1,036.10	1,099.36	1,059.47	900.55

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

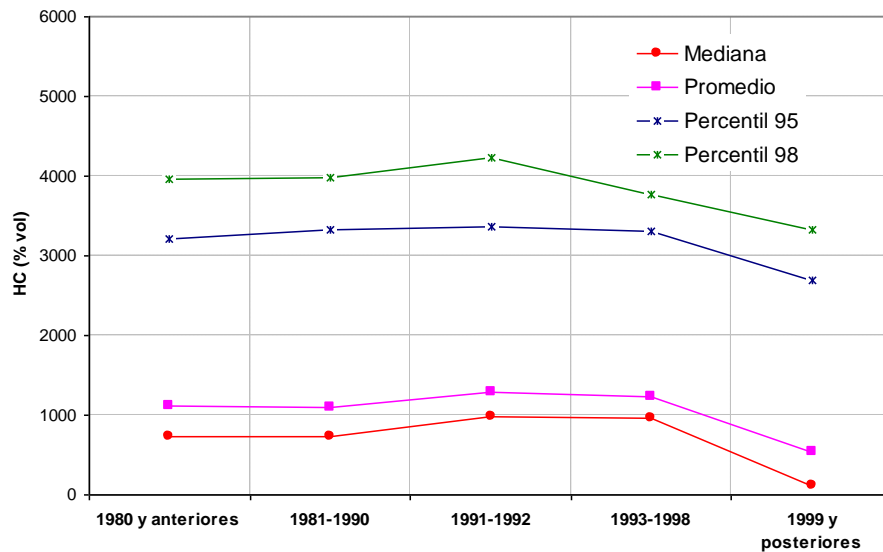
A diferencia de los demás contaminantes, en el caso del NO, no se observa una diferencia marcada entre los grupos de vehículos, a excepción de los que se encuentran en el último estrato. Los cuatro primeros estratos, que incluyen años-modelo 1998 y anteriores parecen tener aproximadamente el mismo comportamiento con valores promedio, mediana y distribuciones muy similares.

Como se observa en la figura 4.16 únicamente el último estrato muestra un comportamiento notoriamente diferente, con valores de mediana y promedio significativamente menores que los de los demás grupos. Sin embargo, en este último estrato se presentan un número importante de valores extremos muy altos, lo cual se refleja en percentiles 95 y 98 sólo ligeramente menores que los del estrato inmediatamente anterior (figura 4.17).



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

Figura 4.16 Distribución de las concentraciones de NO (ppm) para cinco estratos en el AMM.



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

Figura 4.17 Mediana, promedio y percentil 95 de NO (ppm) para cinco estratos vehiculares en el AMM.

Comparación entre vehículos particulares y taxis

Para llevar a cabo esta comparación, se hizo la estratificación de los vehículos particulares y los de servicio público en dos grupos: 1998 y anteriores y 1999 y posteriores, obteniéndose los siguientes resultados:

Cuadro 4.13 Cantidad de vehículos por estrato de edad en el AMM.

Estrato	Vehículos particulares	Servicios (taxis y autobuses)
1998 y anteriores	7,747	385
1999 y posteriores	13,149	3,410

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

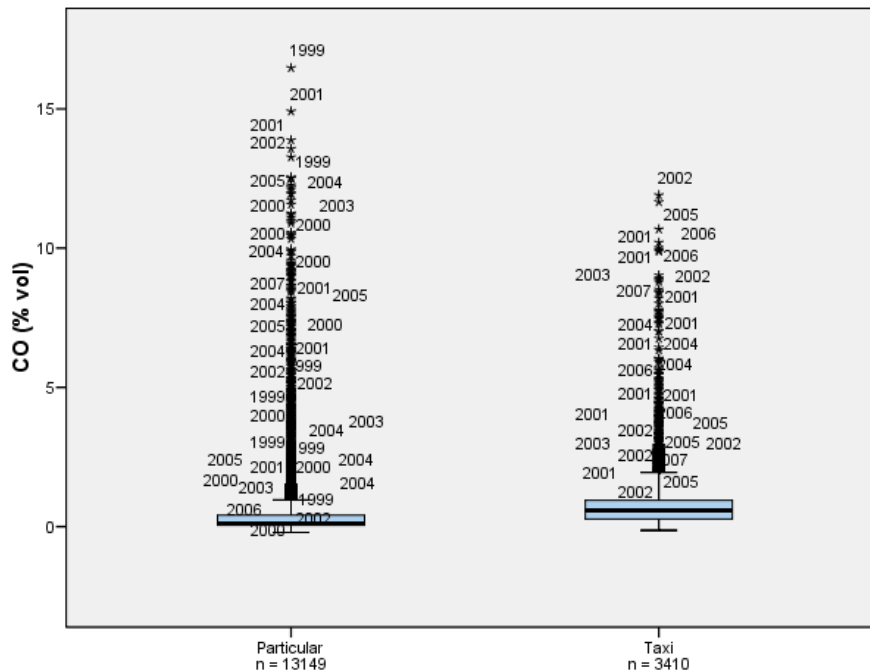
Ahora bien, en el estrato *1998 y anteriores*, los autobuses presentaron un número de observaciones muy bajo (35) por lo que únicamente se consideró el total de taxis. Asimismo, la comparación que se presenta a continuación se realizó únicamente para el estrato 1999 y posteriores, puesto que la muestra de vehículos de servicio en el estrato más antiguo era significativamente más pequeña que la muestra de los vehículos particulares para ese mismo estrato y la comparación perdería robustez estadística.

Las figuras de la 4.18 a la 4.21 ilustran la distribución de las mediciones de los autos particulares vs. vehículos de servicio (taxis) en el AMM, para cada contaminante. En el caso del CO (figura 4.18), las emisiones de los taxis presentan mayor dispersión pero aunque se registraron valores extremos, no llegan a ser tan altos como los que registraron los vehículos particulares. La media y el promedio son mayores en los taxis.

Cuadro 4.14 Estadísticas descriptivas de las emisiones de CO (% en volumen) de los vehículos particulares vs. taxis.

Estadística	Tipo de transporte	1999 y posteriores
Número de mediciones	Particular	13,149
	Taxi	3,410
Mediana	Particular	0.12
	Taxi	0.58
Promedio	Particular	0.42
	Taxi	0.84
Desviación estándar	Particular	1.00
	Taxi	1.09

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



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

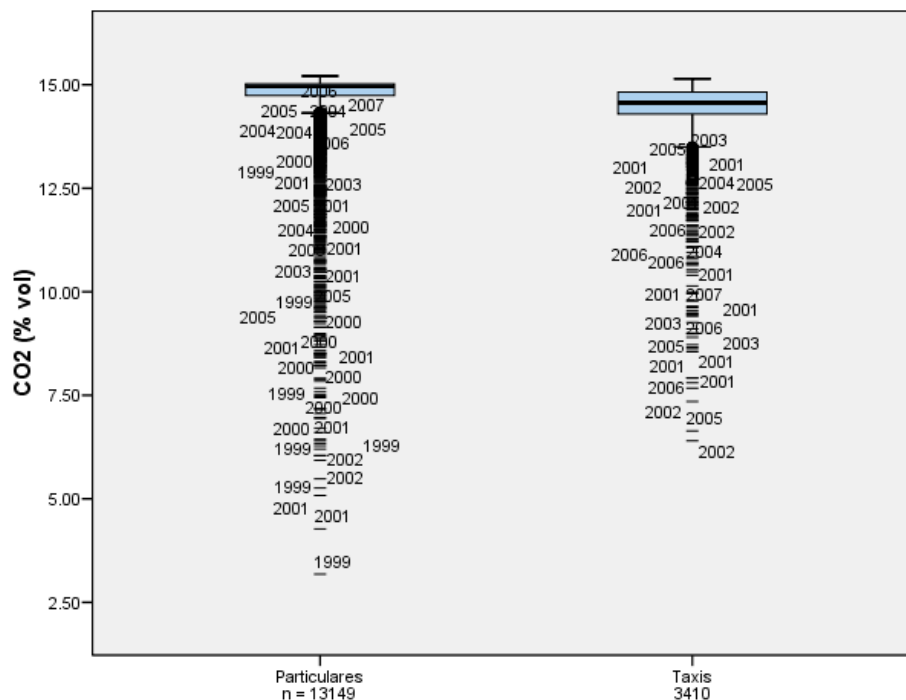
Figura 4.18 Comparación de las emisiones de CO (% en volumen) de los vehículos de uso particular y de los taxis.

En el caso del CO₂, se observa el mismo comportamiento, a la inversa. Las emisiones de los autos particulares son mayores (en términos del promedio y la mediana) y tienen una distribución más compacta (figura 4.19).

Cuadro 4.15 Estadísticas descriptivas de las emisiones de CO₂ (% en volumen) de los vehículos particulares vs. taxis.

Estadística	Tipo de transporte	1999 y posteriores
Número de mediciones	Particular	13,149
	Taxi	3,410
Mediana	Particular	14.96
	Taxi	14.57
Promedio	Particular	14.74
	Taxi	14.40
Desviación estándar	Particular	0.73
	Taxi	0.79

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



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

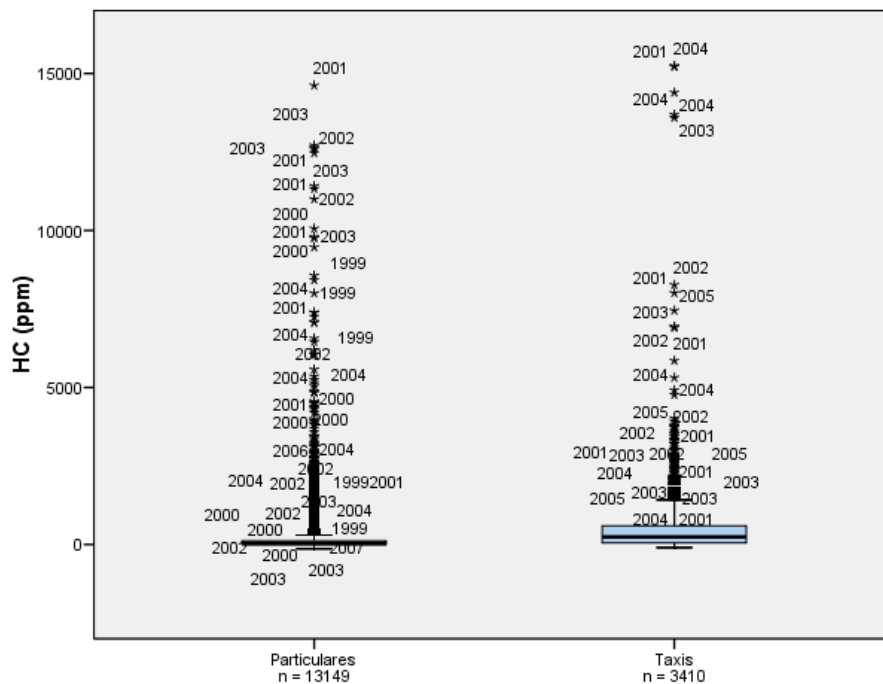
Figura 4.19 Comparación de las emisiones de CO₂ (% en volumen) de los vehículos de uso particular y de los taxis.

Los HC presentan un comportamiento consistente con lo encontrado en los otros contaminantes (figura 4.20). La distribución de los autos particulares es más compacta alrededor de valores menores que los que presentan los taxis. Asimismo, se presentan valores extremos en ambos grupos.

Cuadro 4.16 Estadísticas descriptivas de las emisiones de HC (ppm) de los vehículos particulares vs. taxis.

Estadística	Tipo de transporte	1999 y posteriores
Número de mediciones	Particular	1,3149
	Taxi	3,410
Mediana	Particular	28
	Taxi	238
Promedio	Particular	160
	Taxi	451
Desviación estándar	Particular	546
	Taxi	818

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



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

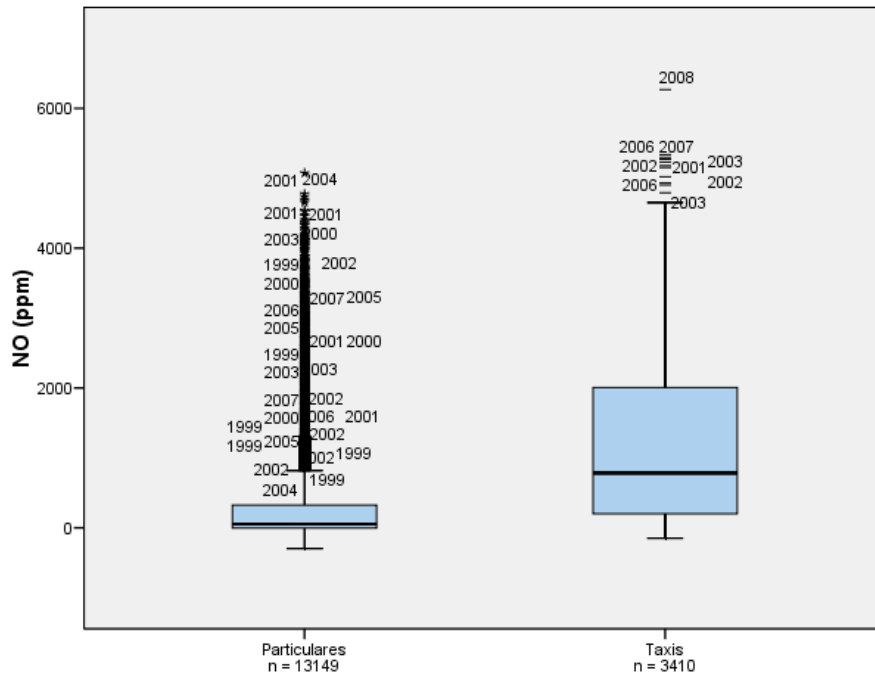
Figura 4.20 Comparación de las emisiones de HC (ppm) de los vehículos de uso particular y de los taxis.

En el caso del NO, los valores promedio y mediana para los taxis son mayores que para los autos particulares. Esto puede deberse, en parte, a que los taxis que circulan en el AMM utilizan gas natural como combustible.

Cuadro 4.17 Estadísticas descriptivas de las concentraciones de NO (ppm) por tipo de transporte en Monterrey, 1999 y posteriores.

Estadística	Tipo de transporte	1999 y posteriores
Número de mediciones	Particular	13,149
	Taxi	3,410
Mediana	Particular	54
	Taxi	784
Promedio	Particular	371
	Taxi	1,185
Desviación estándar	Particular	745
	Taxi	1,156

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



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

Figura 4.21 Comparación de las emisiones de NO (ppm) de los vehículos de uso particular y de los taxis.

Estadística inferencial

El anexo 3 muestra los detalles de la obtención de los parámetros de la distribución gamma para las mediciones de emisiones de CO y HC obtenidas en el AMM. Dado que se obtuvo un muy buen ajuste a los datos reales para ambos casos, se utilizó esta distribución para estimar un intervalo de confianza al 95% para el promedio de las mediciones de las emisiones vehiculares de CO y HC, suponiendo que siguen una distribución gamma.

Monóxido de carbono (CO)

El intervalo de confianza al 95% obtenido para el AMM para las mediciones de CO se presenta en la figura 4.22.

Cuadro 4.18 Intervalos de confianza al 95% de CO para el AMM.

Estadística	AMM
Límite Inferior	1.04076
Media	1.08950
Límite Superior	1.13947

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

Dado que los intervalos resultaron relativamente pequeños, se supone una incertidumbre muy baja en esta aseveración.

Hidrocarburos (HC)

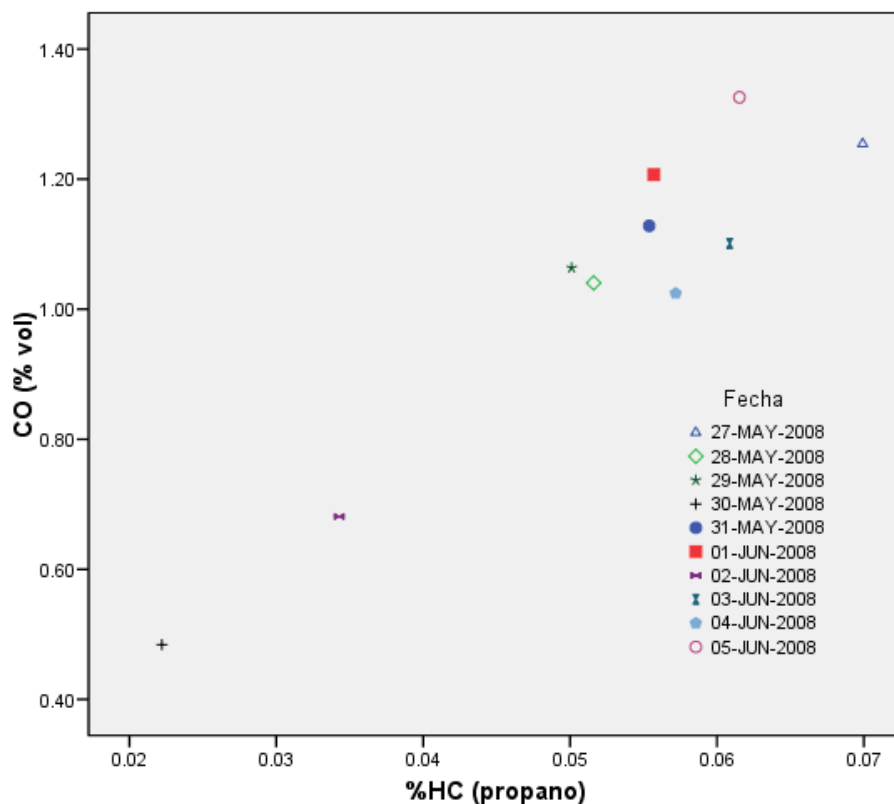
El intervalo de confianza al 95% obtenido para el promedio de las mediciones de HC en el AMM (suponiendo que siguen una distribución gamma) se presenta en la figura 4.24.

Cuadro 4.19 Intervalos de confianza al 95% de HC para el AMM y la ZMVM.

Estadística	AMM
Límite Inferior	549.6
Media	628.19
Límite Superior	708.75

Comportamiento de las emisiones por sitio de muestreo

La figura 4.22 muestra los promedios diarios de mediciones de CO (% en vol.) vs. promedios diarios de mediciones de HC (% propano), de acuerdo con la fecha de muestreo en el AMM. Como puede observarse, los dos puntos donde se registraron las concentraciones promedio más bajas corresponden a las fechas en que se llevaron a cabo las mediciones sobre la vía rápida poniente (30 de mayo y 2 de junio).

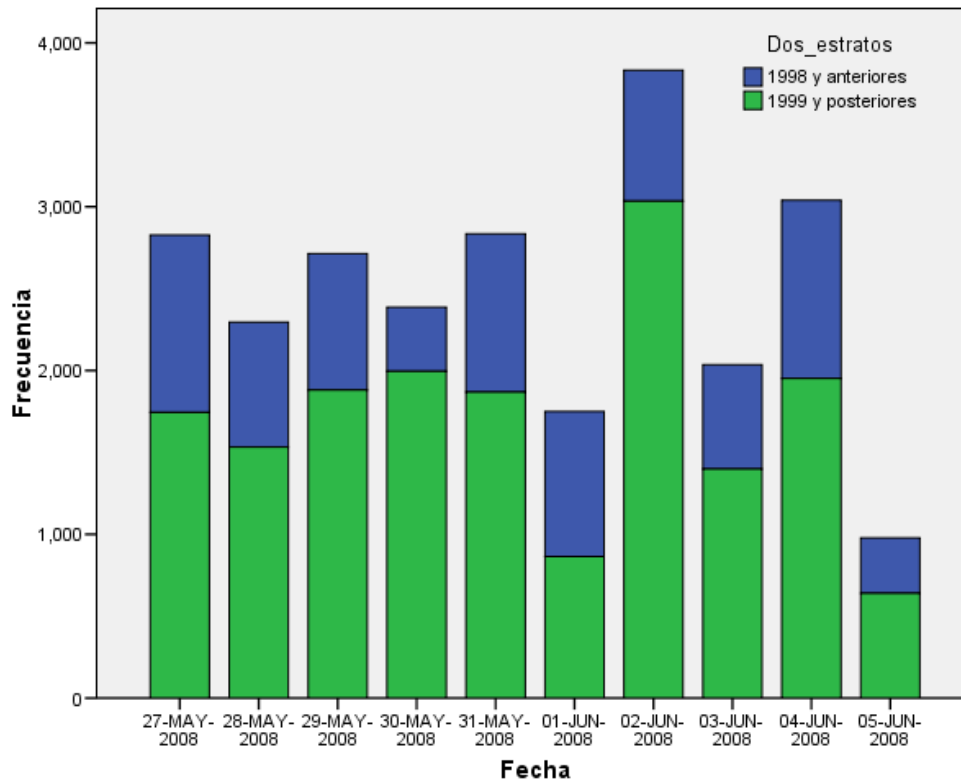


Fuente: INE, 2009. Elaboración propia, con información del sensor remoto 2008.

Figura 4.22. Emisiones de CO vs. Emisiones de HC promedio diarias, por fecha y punto de muestreo.

Como muestra la figura 4.23, en cada uno de los puntos se midieron vehículos con antigüedad variable, lo que puede explicar, al menos en parte, las diferencias encontradas entre las emisiones de cada punto. Por ejemplo, en la vía rápida

poniente se observa que, en ambos casos, el 80% de los vehículos que circulan en la zona son año-modelo 1999 y posteriores. En cambio, en los puntos con mayores emisiones, correspondientes al 27 de mayo y 5 de junio, el porcentaje de vehículos de más de diez años de antigüedad se duplica con respecto a los puntos más “limpios”, puesto que asciende hasta 35-40%.



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

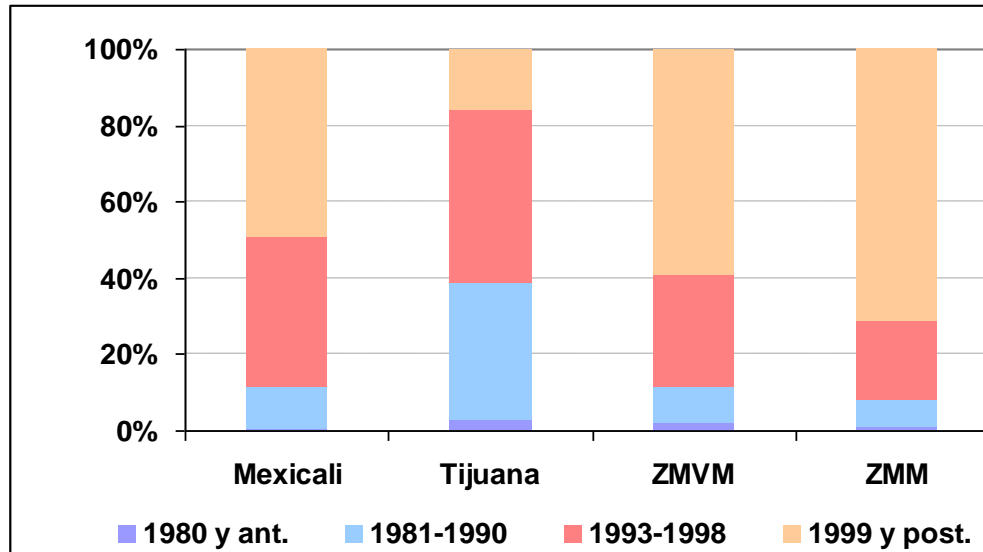
Figura 4.23. Composición de la flota, de acuerdo con su antigüedad, por fecha de medición.

b. Características, composición, origen y actividad de la flota vehicular

1. Características y composición de la flota vehicular

La medición de emisiones con el equipo de detección remota proporcionó una muestra considerable de los vehículos que circulan por las vialidades del AMM, por lo que se utilizó esta muestra para obtener las características de la flota en la zona. Con base en la información encontrada en los registros vehiculares, se

obtuvo el año-modelo de cada vehículo y se comparó con la distribución de la flota de la zona metropolitana del valle de México (ZMVM), y con las flotas vehiculares de Mexicali y Tijuana como lo muestra la figura 4.24.



Fuente: Elaboración propia, con datos de SMA-DF, 2006 e INE 2007b.

Figura 4.24. Comparación de las flotas vehiculares de Mexicali, Tijuana, la ZMVM y el AMM.

El número de entrevistas realizadas en cada uno de los puntos seleccionados se muestra en el cuadro 4.20. Como puede observarse, el AMM cuenta con una flota vehicular muy reciente, ya que más del 60% de los vehículos son año-modelo 1999 y posteriores. Este porcentaje es aún mayor que el de la ZMVM (40%), aunque debe tomarse en cuenta que los datos de esta última son del año 2005. Comparada con las ciudades fronterizas de Tijuana y Mexicali, el AMM es mucho más reciente y su flota, en su mayoría, debe contar con equipo de control de emisiones más eficientes.

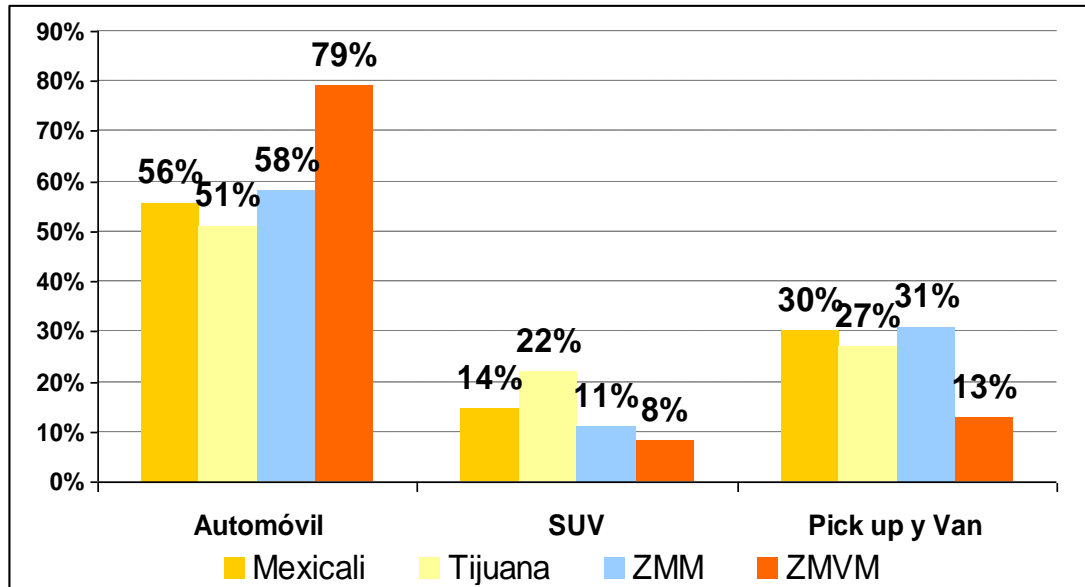
Cuadro 4.20 Distribución del número de entrevistas realizadas en el AMM.

Fecha	Clave ubicación	Cantidad entrevistas
4-Nov-08	1	194
5-Nov-08	2	199
6-Nov-08	3	200
7-Nov-08	4	201
8-Nov-08	5	200
Total		994

Fuente: INE, 2009. Elaboración propia.

El 44% de los vehículos de esta muestra son año-modelo 2001 o posteriores; sin embargo, el 96% de las personas encuestadas en Mexicali y señaló haber comprado su vehículo en los últimos siete años. En este sentido, puede inferirse que el mercado de automóviles en esa ciudad es en parte cubierto por las ventas de autos nuevos, pero la otra parte está cubierta por vehículos de segunda mano.

A partir de las encuestas realizadas se obtuvo una caracterización del tipo de vehículos que circulan en el AMM. La figura 4.25 muestra los resultados obtenidos y su comparación con otras ciudades del país. Mientras que en la ZMVM los automóviles sedan comprenden casi el 80% de la flota, en el AMM, Mexicali y Tijuana este tipo de vehículo representa aproximadamente el 50% de la flota. Asimismo, los autos tipo pick up y VAN son más comunes en el AMM, Tijuana y Mexicali (aproximadamente 30%) que en la ZMVM (13%).



Fuente: Elaboración propia, con datos de Lents, 2006 e INE 2007b.

Figura 4.25 Distribución de la flota por tipo de vehículo en el AMM, la ZMVM, Tijuana y Mexicali.

En las encuestas también se solicitó a los conductores especificar si su vehículo cuenta con convertidor catalítico. El 60% de los conductores entrevistados en el AMM señaló que su vehículo cuenta con el convertidor catalítico original, mientras que el 22% dijo no saber y el 6 % indicó que se lo había retirado.

2. Origen y actividad de la flota vehicular

Origen

Todos los conductores encuestados señalaron saber dónde fue adquirido por primera vez el vehículo que conducen. El 76% señaló que su vehículo fue adquirido en México y el 24% en Estados Unidos de Norteamérica.

Actividad

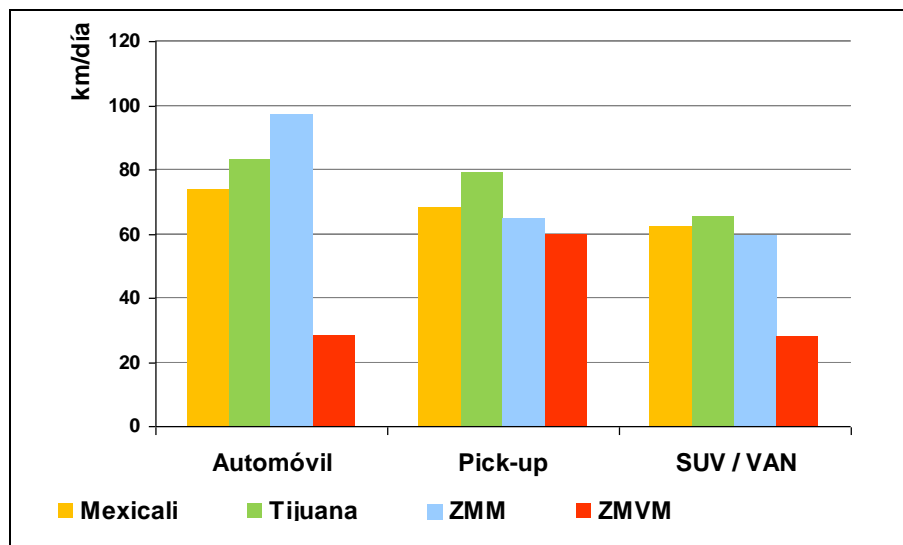
Suponiendo un rendimiento promedio específico para cada tipo de vehículo a partir de los rendimientos en ciudad reportados por los fabricantes (INE, 2008), fue posible calcular los kilómetros recorridos por tipo de vehículo en cada ciudad. El cuadro 4.21 incluye los resultados de esta estimación.

Cuadro 4.21 Recorrido promedio semanal por tipo de vehículo.

Tipo de vehículo	Recorrido promedio semanal (km)
Automóvil	680
Pick-up	453
SUV	428
VAN	405

Fuente: INE, 2009. Elaboración propia.

La figura 4.26 muestra la comparación de los valores obtenidos en el AMM con los encontrados en Tijuana, Mexicali y la ZMVM, en términos del recorrido promedio diario. Como puede observarse, los recorridos promedio diarios en las tres ciudades del norte del país son similares y superiores para todos los tipos de vehículo que los de la ZMVM. Destaca la diferencia entre la actividad de los automóviles del AMM y la ZMVM. Asimismo, cabe resaltar que los recorridos realizados por los autos tipo SUV/VAN son más largos en las ciudades del norte del país con respecto a la ZMVM.



Fuente: Elaboración propia, con datos de INE 2007b y SMA-GDF 2004.

Figura 4.26 Recorrido promedio diario por tipo de vehículo en el AMM, la ZMVM, Mexicali y Tijuana.

V. CONCLUSIONES

Este estudio proporciona información importante sobre la composición y las emisiones del parque vehicular en el Área Metropolitana de Monterrey (AMM). Los hallazgos principales se comentan a continuación:

- La flota vehicular del AMM está compuesta principalmente por vehículos nacionales, aunque hay un porcentaje importante (25%) de vehículos usados importados de EUA. Los vehículos que circulan en el AMM son relativamente más recientes, comparados con ciudades fronterizas y su edad es comparable con la de la ZMVM.
- Los vehículos del AMM son más grandes que en la ZMVM, ya que el porcentaje de camiones ligeros (Pick up, VAN y SUV) en Monterrey es mayor que en la ZMVM (43% vs. 21%). Los autos del AMM recorren en promedio casi cuatro veces más kilómetros que los autos en la ZMVM; las VAN recorren aproximadamente el doble de kilómetros en aquella que en ésta. Es decir, se cuenta con vehículos más grandes, que recorren en promedio mayores distancias.
- En cuanto a sus emisiones, los vehículos de diez años o más de antigüedad resultaron ser evidentemente más contaminantes que los más recientes. Sin embargo, en los vehículos de menos de diez años de antigüedad también se dan valores extremos de emisión, aunque los casos no son muy numerosos. Este comportamiento es consistente en todos los contaminantes.
- Al analizar con más detalle las emisiones con respecto a la tecnología de los vehículos (considerando cinco estratos de edad), las diferencias entre los vehículos más antiguos y los más recientes persiste pero no es muy notoria entre cada uno de los estratos. Si bien es notoria la tendencia decreciente en las emisiones conforme el año-modelo son más recientes,

en el caso del NO casi no hay diferencia entre los cuatro primeros estratos y únicamente los vehículos más recientes se muestran más limpios, aunque con un gran número de casos con valores extremos. Esto sugiere que, probablemente, la tecnología de control de emisiones se deteriora rápidamente después de los primeros.

- o En términos del servicio que proporcionan, los vehículos particulares muestran, en general, emisiones ligeramente menores a las de los taxis, aunque esta diferencia se acentúa en el caso del NO, ya que las emisiones de los taxis resultaron considerablemente mayores, probablemente por el uso de gas natural.

Claramente, 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 y sin tecnología de control de emisiones, pero sin excluir a los vehículos más recientes, pues éstos también pueden presentar emisiones elevadas, dependiendo de diversos factores.

VI. BIBLIOGRAFIA

- 20023-Banco de Desarrollo de América del Norte. 2003. Disponible en línea: http://www.nadbank.org/reports/press_releases/spanish/2003/08-15-03.pdf
- Bishop G.A. and D.H. Stedman. 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., 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. 1997. 31, 3505-3510.
- Bishop G. A. & D. H. Stedman. 1995. *On Road Remote Sensing of Vehicle Emissions in Monterrey, N.L. México*. University of Denver. Prepared for: The World Bank Group, Department of Environment & Urban Development. Denver CO.
- Centro Mario Molina, 2006. Medición de emisiones vehiculares en Ciudad Juárez. Disponible en línea: <http://www.centromariomolina.org/publicaciones.html>
- EPS, 2004. *Remote Sensing Milestones, "US Experience"* Niranján Vescio. Environmental Systems Products, 2002 N. Forbes Tucson, Arizona 85745-1446 USA.
- Finlayson-Pitts, B.J., Pitts, James N. Jr. 2000. *Chemistry of the Upper and Lower Atmosphere*. Academic Press.
- Gilbert, Richard O. Statistical methods for environmental pollution monitoring. 1987, John Wiley & Sons.
- INE, 2006. *Inventario nacional de emisiones de México, 1999*. Instituto Nacional de Ecología, SEMARNAT y Western Governors' Association. México, DF.
- INE, 2007a. *Tercer almanaque de datos y tendencias de la calidad del aire en nueve ciudades mexicanas*. Instituto Nacional de Ecología, México, DF.
- INE, 2007b. Estudio de emisiones y actividades vehiculares en Tijuana y Mexicali, Baja California.
- 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. 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.

RSD, 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. Chavez y E. López. 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, 2004. *Inventario de Emisiones de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, 2004*.

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>

Unal Alper. 2007. *Chocolate Vehicle Emissions Measurements on Mexico-US Border Cities: Data Collection Protocol*, EMBARQ, Centro de Transporte sustentable de México.

Visauta Vinacua B. *Análisis estadístico con SPSS 14*, Tercera edición, McGraw-Hill, España 2007.

Y Zhang, G.A Bishop, D.H Stedman. Automobile Emissions Are Statistically γ -Distributed. *Environmental Science & Technology*, 1994.

ANEXO A. Formato empleado para la realización de la entrevista

a) 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 _____

SUPERVISO: _____ 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?

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

b) Formato utilizado para el conteo de vehículos

Conteo de vehículos Clave de la ubicación:

Descripción Ubicación: _____ Ciudad:

FECHA:

Dia	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 importados				
Vehículos Nacionales		Con placa americana	Con placa Fronteriza	Con placa Nacional	Sin placa	
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 importados				
Vehículos Nacionales		Con placa americana	Con placa Fronteriza	Con placa Nacional	Sin placa	
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 importados				
Vehículos Nacionales		Con placa americana	Con placa Fronteriza	Con placa Nacional	Sin placa	
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 importados				
Vehículos Nacionales		Con placa americana	Con placa Fronteriza	Con placa Nacional	Sin placa	
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 importados				
Vehículos Nacionales		Con placa americana	Con placa Fronteriza	Con placa Nacional	Sin placa	
10	Autos					
	Vans					
	SUV (Sports Utility Vehicle)					
	Pick ups y estaquitas					
	Camión pasaje					
	Camión de carga					
	Motocicletas					

ANEXO B. Análisis de la distribución probabilística Gamma

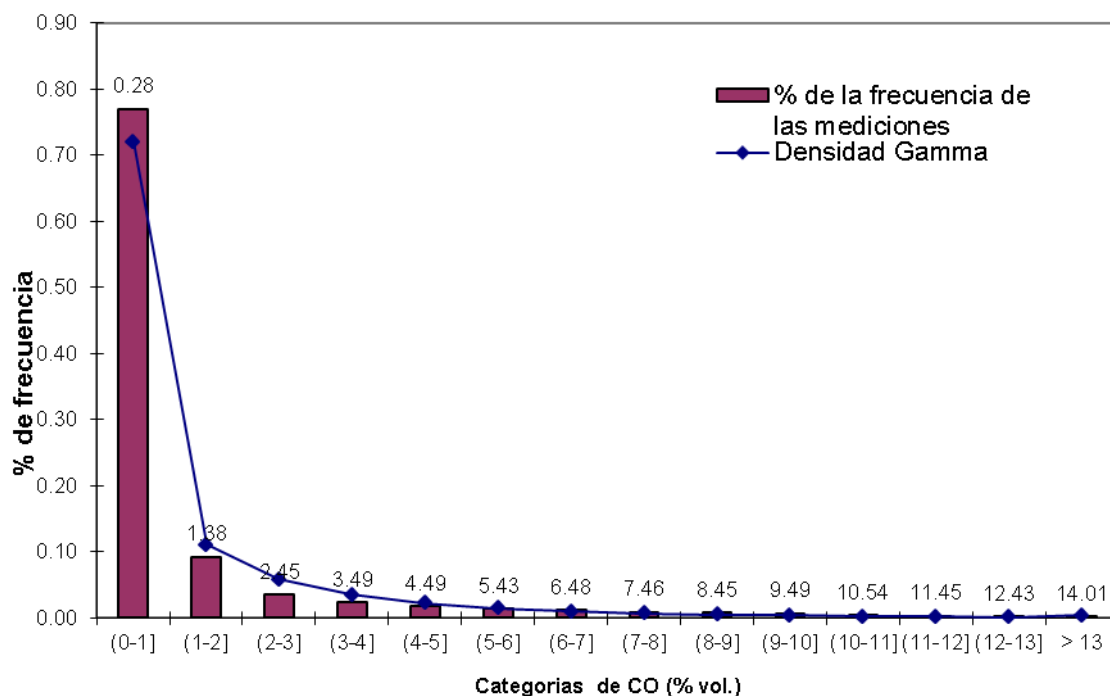
La estimación del modelo probabilístico que mejor puede justificar el comportamiento de las emisiones vehiculares ha sido bien descrito por Zhang y coautores. En ese estudio se obtuvo que las emisiones vehiculares de CO y HC siguen una distribución gamma con parámetros α y β (Zhang et al., 1994). Con 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 ZMM siguieran esta distribución (ver cuadro C.1).

Cuadro C.1 Intervalos de clase, distribución empírica y teórica de las emisiones vehiculares de CO en el AMM

Intervalo de clase	Frecuencia	Promedio de la clase	Distribución empírica	Distribución teórica Gamma (α, β)	
			% de la frecuencia	Momentos $\alpha = 0.27$ $\beta = 3.93$	Máxima Verosimilitud $\alpha = 0.50$ $\beta = 2.17$
(0-1]	15,301	0.28	0.7699	0.7203	0.6617
(1-2]	1,833	1.38	0.0922	0.1112	0.1629
(2-3]	694	2.45	0.0349	0.0584	0.0785
(3-4]	465	3.49	0.0234	0.0353	0.0417
(4-5]	356	4.49	0.0179	0.0228	0.0232
(5-6]	267	5.43	0.0134	0.0153	0.0132
(6-7]	234	6.48	0.0118	0.0105	0.0077
(7-8]	185	7.46	0.0093	0.0073	0.0045
(8-9]	157	8.45	0.0079	0.0052	0.0027
(9-10]	140	9.49	0.0070	0.0037	0.0016
(10-11]	88	10.54	0.0044	0.0027	0.0010
(11-12]	62	11.45	0.0031	0.0019	0.0006
(12-13]	49	12.43	0.0025	0.0014	0.0003
> 13	42	14.01	0.0021	0.0040	0.0005

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

El cuadro C.1 presenta los intervalos de clase, la distribución empírica y teórica de las emisiones vehiculares de CO en el AMM, como se observa, se obtuvo una mejor aproximación para los parámetros calculados por el método de momentos; aunque también se presentan los parámetros del método de máxima verosimilitud. Con los parámetros de momentos se calcularon los intervalos de confianza para el promedio de la distribución teórica. Los parámetros y el ajuste de la distribución gamma sólo se realizan con valores de emisión 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).



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 C.1 Comparación de las emisiones vehiculares de CO y su aproximación a la distribución Gamma ($\alpha = 0.27$, $\beta = 3.93$) en el AMM

En la figura C.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 bastante bueno. El promedio de los valores de la distribución gamma está dado

por $\mu = \alpha\beta$; en este caso μ (AMM) = $0.27 \times 3.93 = 1.09$ que es idéntico al valor obtenido de las mediciones de las emisiones vehiculares (ver cuadro 4.18). En lo que respecta a los HC, el cuadro C.2 presenta los intervalos de clases para las emisiones vehiculares de HC, así como las distribuciones empírica y teórica de los datos en el AMM. Al igual que para el caso del CO, los parámetros α y β , para la distribución teórica de cada una de las ciudades, se estimaron mediante el método de momentos y el método de máxima verosimilitud.

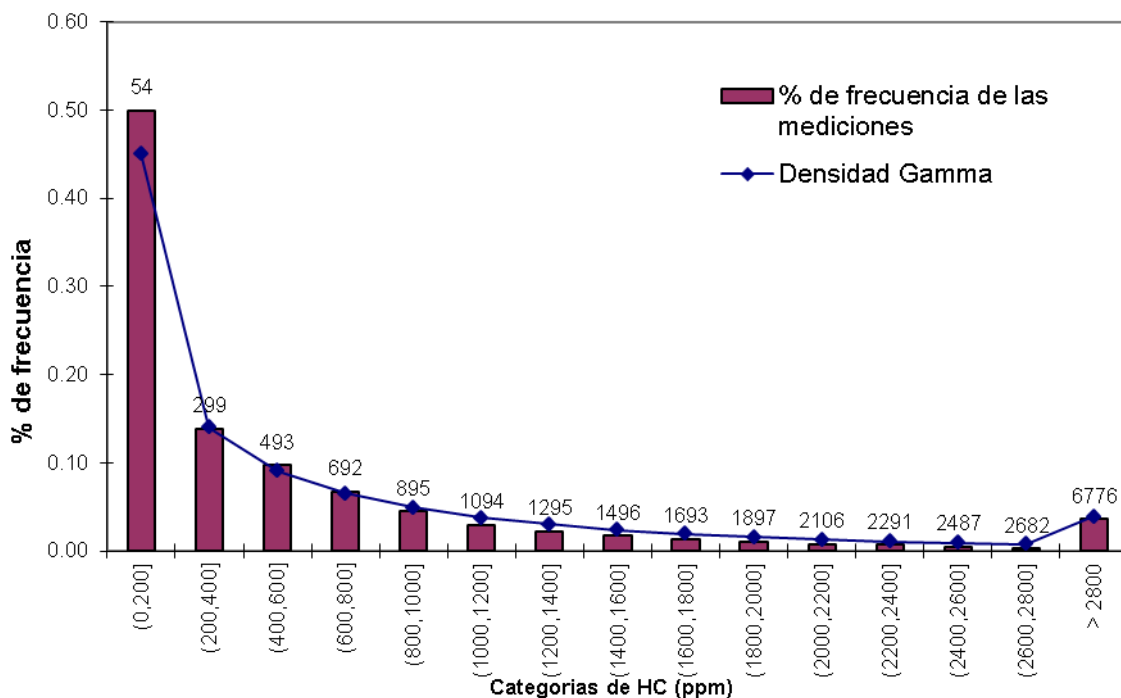
Cuadro C.2 Intervalos de clase, distribución empírica y teórica de las emisiones vehiculares de HC en el AMM

Intervalo de clase	Frecuencia	Promedio de la clase	Distribución empírica	Distribución teórica Gamma (α, β)	
			% de la frecuencia	Momentos $\alpha = 0.15$ $\beta = 3965$	Máxima verosimilitud $\alpha = 0.45$ $\beta = 1395$
(0,200]	8,695	54	0.4999	0.6651	0.4509
(200,400]	2,417	299	0.1390	0.0722	0.1398
(400,600]	1,687	493	0.0970	0.0438	0.0903
(600,800]	1,174	692	0.0675	0.0312	0.0648
(800,1000]	782	895	0.0450	0.0239	0.0488
(1000,1200]	516	1,094	0.0297	0.0192	0.0379
(1200,1400]	391	1,295	0.0225	0.0159	0.0299
(1400,1600]	298	1,496	0.0171	0.0134	0.0239
(1600,1800]	238	1,693	0.0137	0.0114	0.0194
(1800,2000]	187	1,897	0.0108	0.0099	0.0158
(2000,2200]	137	2,106	0.0079	0.0086	0.0129
(2200,2400]	118	2,291	0.0068	0.0076	0.0107
(2400,2600]	85	2,487	0.0049	0.0067	0.0088
(2600,2800]	46	2,682	0.0026	0.0060	0.0073
> 2800	623	6,776	0.0358	0.0000	0.0387

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

El cuadro C.2 se presenta los intervalos de clase para las emisiones vehiculares de HC en el AMM. Como se puede observar, 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 párrafos posteriores. Cabe recordar que para la obtención de los parámetros y el ajuste de la distribución gamma sólo se consideraron las emisiones vehiculares de HC mayores que cero.

En la figura C.2 se comparan también de manera gráfica las emisiones vehiculares de HC medidas y la distribución gamma ajustada a los datos con los parámetros estimados a través del método de máxima verosimilitud. Se observa que el ajuste es muy 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 C.2 Comparación de las emisiones vehiculares de HC y su aproximación a la distribución Gamma ($\alpha = 0.45$, $\beta = 1395$) en el AMM

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 μ (AMM) $=0.45*1395 = 627$ que es muy cercano al obtenido de las mediciones de las emisiones vehiculares (ver cuadro 4.19).