



INECC
INSTITUTO NACIONAL
DE ECOLOGÍA
Y CAMBIO CLIMÁTICO

SEMARNAT
SECRETARÍA DE
MEDIO AMBIENTE
Y RECURSOS NATURALES



ESTUDIO DE EMISIONES Y ACTIVIDAD VEHICULAR EN EL PUERTO DE VERACRUZ, VERACRUZ.

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)

2012

REPORTE FINAL

Estudio de emisiones y actividad vehicular en el Puerto de Veracruz, Veracruz.



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.....	ii
LISTA DE CUADROS.....	iv
LISTA DE FIGURAS.....	v
SIGLAS Y ACRÓNIMOS.....	vii
AGRADECIMIENTOS.....	viii
RESUMEN EJECUTIVO.....	ix
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. RESULTADOS.....	3
2.1 Actividad y características de la flota vehicular.....	3
2.1.1 Recolección de información a través de la aplicación de encuestas....	3
2.1.2 Estimación y composición del parque vehicular “vivo” o en circulación	4
2.1.3 Índice de motorización.....	5
2.1.4 Antigüedad del parque vehicular.....	5
2.1.5 Actividad de la flota vehicular.....	6
2.1.6 Composición de la flota vehicular por su origen.....	7
2.1.7 Mantenimiento y presencia de convertidor catalítico.....	8
2.2 Emisiones vehiculares de escape.....	9
2.2.1 Recolección de información y depuración de las bases de datos.....	9
2.2.2 Captura del número de placa y control de calidad.....	10
2.2.3 Procesamiento de la información.....	10
2.2.4 Comportamiento de las emisiones vehiculares.....	11
2.2.4.1 Estadística descriptiva.....	11
Monóxido de carbono (CO).....	11
Bióxido de carbono (CO ₂).....	13
Hidrocarburos (HC).....	15
Óxido nítrico (NO).....	17
2.2.4.2 Comparativo de las emisiones de los vehículos particulares y taxis.....	19
2.2.4.3 Estadística inferencial de las emisiones.....	23
3. CONCLUSIONES.....	25
4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	27

ANEXO A. Aspectos generales de Veracruz, Veracruz..... 29

 A.1 Localización geográfica..... 29

 A.2 Aspectos socioeconómicos 30

ANEXO B. Metodología..... 33

 B.1 Actividad y características de la flota vehicular 33

 B.1.1 Selección de los sitios de muestreo 34

 B.1.2 Aplicación de encuestas y conteo vehicular..... 36

 B.2 Emisiones vehiculares..... 37

 B.2.1 Equipo utilizado y su calibración 38

 B.2.2 Selección de los sitios de muestreo 39

 B.2.3 Periodo de muestreo 41

 B.2.4 Captura de la información 42

 B.2.5 Control de calidad de la captura de información 42

 B.2.6 Procesamiento de la información 43

ANEXO C. Formato de encuesta..... 47

ANEXO D. Análisis de distribución probabilística tipo Gamma..... 50

LISTA DE CUADROS

Cuadro 2.1 Localización de sitios de aplicación de encuestas en el Puerto de Veracruz.....	3
Cuadro 2.2 Número de vehículos evaluados por día y sitio de muestreo en el Puerto de Veracruz	9
Cuadro 2.3 Tamaño de muestra y porcentaje de error en la captura del número de placa por día de medición	10
Cuadro 2.4 Estadísticas descriptivas de CO (% en volumen) para cinco estratos vehiculares en el Puerto de Veracruz	11
Cuadro 2.5 Estadísticas descriptivas de CO ₂ (% en volumen) para cinco estratos vehiculares en el Puerto de Veracruz	13
Cuadro 2.6 Estadística descriptiva de HC (ppm de propano) para cinco estratos vehiculares en el Puerto de Veracruz	16
Cuadro 2.7 Estadística descriptiva de NO (ppm) para cinco estratos vehiculares en el Puerto de Veracruz	18
Cuadro 2.8 Estadística descriptiva de vehículos compactos y subcompactos de uso particular y taxis en el Puerto de Veracruz.....	20
Cuadro 2.9 Valor medio, límite inferior y superior para el intervalo de confianza al 95% obtenido para las concentraciones de CO (% en volumen)	24
Cuadro 2.10 Valor medio, límite inferior y superior para el intervalo de confianza al 95% obtenido para las concentraciones de HC (ppm de propano)	24
Cuadro A.1 Crecimiento del parque vehicular en el estado de Veracruz.....	31
Cuadro B.1 Métodos e información recopilada	34
Cuadro B.2 Puntos seleccionados para la aplicación de encuestas en el Puerto de Veracruz.....	35
Cuadro B.3 Ubicación de los sitios de muestreo con sensor remoto en el Puerto de Veracruz.....	40
Cuadro D.1 Intervalos de clase, distribución empírica y teórica de las emisiones vehiculares de CO en el Puerto de Veracruz	50
Cuadro D.2 Intervalos de clase, distribución empírica y teórica de las emisiones vehiculares de HC en el Puerto Veracruz	52

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 Distribución del parque vivo en el Puerto de Veracruz y otras ciudades mexicanas	4
Figura 2.2 Índice de motorización en el Puerto de Veracruz y otras ciudades mexicanas	5
Figura 2.3 Distribución por antigüedad de la flota vehicular del Puerto de Veracruz y del Distrito Federal	6
Figura 2.4 Actividad por tipo de vehículo en el Puerto de Veracruz y la ZMVM	7
Figura 2.5 Composición por su origen del parque vehicular que circula en el Puerto de Veracruz y otras ciudades Mexicanas	8
Figura 2.6 A) Presencia de convertidor catalítico, B) Frecuencia de afinación del parque vehicular que circula en el Puerto de Veracruz	9
Figura 2.7 Distribución de las concentraciones de CO (% en volumen) para cinco estratos vehiculares en el Puerto de Veracruz	12
Figura 2.8 Mediana, promedio y percentil 95 de CO (% en volumen) para cinco estratos vehiculares en el Puerto de Veracruz	13
Figura 2.9 Distribución de las concentraciones de CO ₂ (% en volumen) para cinco estratos vehiculares en el Puerto de Veracruz	14
Figura 2.10 Mediana, promedio y percentil 95 de CO ₂ (% en volumen) para cinco estratos vehiculares en el Puerto de Veracruz	15
Figura 2.11 Distribución de las concentraciones de HC (ppm de propano) para cinco estratos vehiculares en el Puerto de Veracruz	16
Figura 2.12 Mediana, promedio y percentil 95 de HC (ppm de propano) para cinco estratos vehiculares en el Puerto de Veracruz	17
Figura 2.13 Distribución de las concentraciones de NO (ppm) para cinco estratos vehiculares en el Puerto de Veracruz	18
Figura 2.14 Distribución de las concentraciones de NO (ppm) para cinco estratos vehiculares en el Puerto de Veracruz	19
Figura 2.15 Distribución de las concentraciones de CO (% en volumen) en vehículos particulares y taxis en el Puerto de Veracruz	21
Figura 2.16 Distribución de las concentraciones de CO ₂ (% en volumen) en vehículos particulares y taxis en el Puerto de Veracruz	22
Figura 2.17 Distribución de las concentraciones de HC (ppm de propano) en vehículos particulares y taxis en el Puerto de Veracruz	22

Figura 2.18 Distribución de las concentraciones de NO (ppm) en vehículos particulares y taxis en el Puerto de Veracruz..... 23

Figura A.1 Localización geográfica de Veracruz y Boca del Río..... 29

Figura A.2 Crecimiento de la población en los municipios que integran la Zona Metropolitana de Veracruz 30

Figura A.3 Crecimiento y distribución de la flota vehicular en el estado de Veracruz..... 32

Figura B.1 Puntos seleccionados para la aplicación de encuestas y monitoreo con el equipo de detección remota en el Puerto de Veracruz..... 36

Figura B.2 Elementos del equipo de detección remota..... 39

Figura B.3 Ubicación de los sitios de medición de emisiones vehiculares con equipo de detección remota en el Puerto de Veracruz 41

Figura D.1 Comparación de las emisiones vehiculares de CO y su aproximación a la distribución Gamma ($\alpha = 0.240$, $\beta = 2.96$) en el Puerto de Veracruz. 51

Figura D.2 Comparación de las emisiones vehiculares de HC y su aproximación a la distribución Gamma ($\alpha = 0.441$, $\beta = 998$) en el Puerto de Veracruz..... 53

SIGLAS Y ACRÓNIMOS

AMIA	Asociación Mexicana de la Industria Automotriz
CENICA	Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental
CO	Monóxido de carbono
CO ₂	Dióxido de carbono
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
EPA	Environmental Protection Agency (Agencia de Protección al Ambiente de los Estados Unidos)
HC	Hidrocarburos
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
NO _x	Óxidos de nitrógeno
O ₃	Ozono
PM	Partículas suspendidas
PM ₁₀	Partículas suspendidas con diámetro menores a 10 micras
ppm	Concentración en partes por millón
RSD	Remote Sensing Device (equipo de detección remota)
SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
SUV	Sport Utility Vehicles (Vehículo utilitario)
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 la Ciudad de Veracruz, Veracruz fueron posibles gracias a la participación y apoyo de las siguientes instituciones:

- **Delegación de SEMARNAT en el Estado de Veracruz**
- **Centro de Transporte Sustentable de México (CTS)**
- **H. Ayuntamiento de Veracruz ,Veracruz**
- **H. Ayuntamiento de Boca del Río, Veracruz**

RESUMEN EJECUTIVO

Desde 2007 el Instituto Nacional de Ecología (INE) comenzó una serie de estudios para caracterizar las emisiones, los patrones de actividad y la composición (por tipo de vehículo) de las flotas vehiculares de ciudades mexicanas representativas de cada región. Es así que en mayo de 2011, se realizaron trabajos de campo en la ciudad de Veracruz, Veracruz con la finalidad de obtener información que permitiera elaborar un diagnóstico de las condiciones de emisión y actividad bajo las cuales circulan los vehículos automotores de esta localidad. Los trabajos de campo consistieron en la medición de emisiones vehiculares, mediante el uso de un equipo de detección remota, y la recopilación de datos de composición y actividad de la flota vehicular a través de la aplicación de encuestas y conteos directos de automotores en vialidades principales. El análisis de los resultados muestra lo siguiente:

a) Composición y actividad de la flota vehicular

- La flota vehicular de Veracruz está compuesta por 61% de automóviles compactos y subcompactos, 20% son SUV y VAN, las pick up representan el 16% y el resto (3%) corresponde a camiones de carga y transporte público.
- El 79% de los vehículos tiene una antigüedad de 9 años o menos, y el 21% tiene 10 años o más.
- Respecto a la actividad vehicular, los automóviles recorren 50 km/día, las pick up 77 km/día, las SUV y VAN 56 km/día.
- En cuanto a la procedencia, el 94% de la flota es de origen nacional y el 6% son vehículos importados usados de los Estados Unidos.

b) Medición de emisiones vehiculares

- En general los vehículos año-modelo 1998 y anteriores que circulan en Veracruz y Boca del Río son más contaminantes que los año-modelo 1999 y posteriores.

- La mediana de CO de los vehículos año-modelo 1981 a 1990 es 12 veces mayor que la mediana de los modelos 1999 y posteriores.
- La mediana de NO de los vehículos año-modelo 1991 a 1992 es 16 veces mayor que los vehículos de modelos más recientes (1999 y posteriores).
- Los taxis y los vehículos particulares presentaron medianas similares de emisión de CO y HC. En el caso del NO los taxis presentaron una mediana mayor que los particulares.

Los resultados muestran la necesidad de reforzar el programa de verificación vehicular en el estado migrando hacia una prueba dinámica para la medición de las emisiones de escape, así como diseñar e implementar medidas para el uso del transporte sustentable.

1. INTRODUCCIÓN

En el año 2011 el INE publicó el *Cuarto almanaque de datos y tendencias de la calidad del aire en 20 ciudades mexicanas (2000-2009)*, donde se muestra que las Zonas Metropolitanas del Valle de México, del Valle de Toluca, de Guadalajara, de Juárez, el Área Metropolitana de Monterrey, Puebla, León y Mexicali presentan problemas de calidad del aire principalmente por ozono (O_3) y partículas (PM_{10}) (INE, 2011). Contaminantes que afectan las funciones respiratorias (Linares et al., 2010; Andersen et al., 2010), incrementan la propensión a las enfermedades cardiovasculares (Nigenda et al., 2002) e incluso aumentan el riesgo de muerte (Kumar et al., 2010; Jerrett et al., 2010).

De acuerdo con el Inventario Nacional de Emisiones, 2005 (SEMARNAT, 2012), los vehículos en circulación generan el 45% de las emisiones de óxidos de nitrógeno (NO_x) y más del 90% de las emisiones de monóxido de carbono (CO) que se emiten a la atmósfera. Si bien es cierto que los avances tecnológicos en los motores de los vehículos han hecho más eficiente la combustión y las tecnologías para el control de emisiones han logrado reducciones importantes en las emisiones del CO, NO_x e hidrocarburos (HC). También es cierto que las emisiones no solo dependen de las tecnologías, sino también de factores tales como la edad, el uso y el mantenimiento del motor. 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.

En México, la información sobre el desempeño ambiental de los automotores es escasa, solo en ciudades que cuentan con programas de verificación vehicular o que se ha realizado algún estudio con sensor remoto se conocen las emisiones del parque vehicular. Para caracterizar y cuantificar las emisiones de los vehículos existen diversas metodologías, una de ellas es la medición de emisiones 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, con lo cual se puede conocer el estado ambiental del parque vehicular que circula en la localidad de estudio (RSD, 2005).

Regularmente la medición de emisiones se complementa con una encuesta y un aforo vehicular para estimar el parque “vivo” (vehículos en circulación), la composición por tipo de vehículo, la actividad (kilómetros recorridos por semana), el mantenimiento, el gasto en combustible, entre otras características. Esta información permite relacionar las emisiones con las tecnologías y uso de los automóviles, además de disponer de información básica para la elaboración de inventarios de emisiones.

En este sentido, el INE comenzó en 2007 una serie de estudios para caracterizar las emisiones, los patrones de actividad y la distribución de la composición de los vehículos automotores que circulan en ciudades mexicanas. Una vez terminados los estudios de las ciudades de la frontera norte, de las zonas metropolitanas y las ciudades del centro de país, en 2011 se llevó a cabo la última fase del estudio, donde se trabajó con cuatro ciudades del sureste que son Oaxaca, Oaxaca; Tuxtla Gutiérrez, Chiapas; Campeche, Campeche y Veracruz, Veracruz. Todos los estudios se realizaron con la colaboración de las autoridades locales, las delegaciones de la SEMARNAT en cada estado y el Centro de Transporte Sustentable de México (CTS).

En este documento se describen los resultados y las conclusiones obtenidos de las actividades llevadas a cabo en el Puerto de Veracruz. Así mismo, se incluyen cuatro anexos que contienen los detalles de las características generales de la zona de estudio, la metodología, los formatos utilizados para la aplicación de encuestas y el análisis de la distribución probabilística gamma aplicada a la flota vehicular de esta localidad.

2. RESULTADOS

Los resultados y el análisis se presentan en dos secciones: la primera con la información de actividad y características vehiculares recabada por medio de la aplicación de las encuestas y el conteo directo en vialidades (aforo vehicular); y la segunda, sobre la medición de emisiones vehiculares con el equipo de detección remota.

Cabe mencionar que se estudiaron dos municipios, Veracruz y Boca del Río; sin embargo, los resultados se presentarán como el Puerto de Veracruz, ya que prácticamente no existe diferencia en el parque vehicular de uno y otro municipio; los vehículos circulan diariamente de un municipio a otro sin restricciones.

2.1 Actividad y características de la flota vehicular

2.1.1 Recolección de información a través de la aplicación de encuestas

La aplicación de las encuestas a automovilistas se llevó a cabo en cinco estaciones de servicio (gasolineras) ubicadas cerca de los sitios donde se colocó el equipo de detección remota. El domicilio de cada gasolinera se muestra en el cuadro 2.1.

Cuadro 2.1 Localización de sitios de aplicación de encuestas en el Puerto de Veracruz

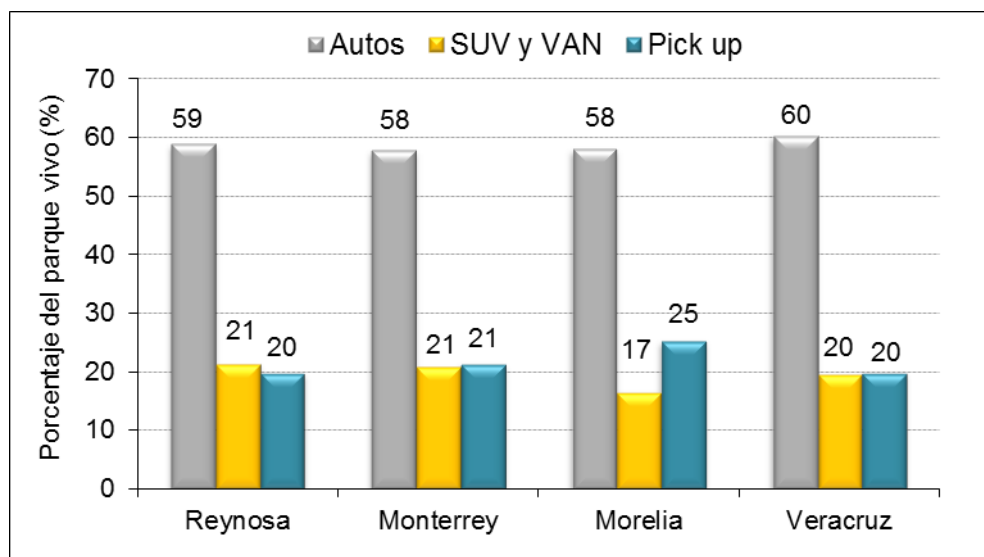
Fecha	Estación de servicio	Razón Social	Dirección
19-Julio-2011	ES-9875	Proveedora de combustibles y lubricantes JT, S.A. de C.V.	Blvd. Fidel Velázquez No. 3100
20-Julio-2011	ES-10760	Servicio Oporto, S.A. de C.V.	Francisco González Bocanegra Esq. José Santos S/N
21-Julio-2011	ES-7103	Servicio Trimage S.A. de C.V.	Miguel Alemán Lote 2 y 3. El Coyol
22-Julio-2011	ES-6828	Súper Servicio Costa Verde, S.A. de C.V.	Blvd. Manuel Ávila Camacho Lote 1, 2 y 3, Esq. con Costa Verde
23-Julio-2011	ES-6539	Abastecedora Veracruzana, S.A. de C.V.	Juan Pablo II, No. 1046 Lote 1

Fuente: INE 2012. Elaboración propia.

2.1.2 Estimación y composición del parque vehicular “vivo” o en circulación

Con la información de ventas de vehículos nuevos en el municipio de Veracruz reportada por la Asociación Mexicana de la Industria Automotriz (AMIA)¹, y considerando un porcentaje de mortalidad para cada modelo, se estimó que el parque vivo o en circulación al año 2011 es de 171,860 vehículos, de los cuales el 60% son vehículos compactos y subcompactos, el 20% son camionetas tipo SUV (Sport Utility Vehicle) y VAN, y el restante 20% son de tipo pick up.

En la figura 2.1 se muestra un comparativo de la distribución del parque vivo, por tipo de vehículo, del Puerto de Veracruz y otras ciudades del país.



Fuente: INE 2012. Elaboración propia, con información de INE 2008 y 2009.

Figura 2.1 Distribución del parque vivo en el Puerto de Veracruz y otras ciudades mexicanas

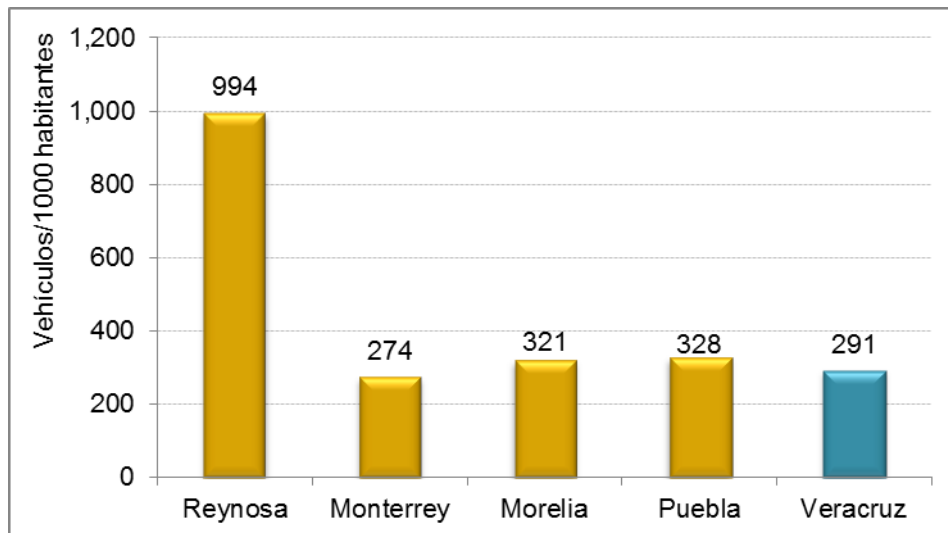
Por otra parte, los vehículos evaluados con el equipo de detección remota fueron clasificados de acuerdo con su carrocería como compactos y subcompactos, SUV, VAN, pick up, motocicletas, camiones ligeros, medianos y pesados, tanto de transporte público como de transporte de carga. Los resultados indican que el 61% de los vehículos que circulan en el Puerto de Veracruz son de tipo compactos y

¹ Se consideraron las ventas de la AMIA en los municipios de Veracruz y Boca del Río

subcompactos, el 20% son camionetas SUV y VAN, las pick up respresentan el 16% y el resto (3%) corresponde a camiones de carga y de transporte público. Estos resultados son consistentes con la distribución por tipo de vehículo obtenida por medio de las encuestas (figura 2.1).

2.1.3 Índice de motorización

A partir de la estimación del parque vehicular vivo y del número de habitantes en el municipio de Veracruz para el año 2011, se calculó el índice de motorización para este municipio, dando como resultado 291 vehículos por cada 1,000 habitantes. Comparando con otras ciudades de México, se observa que el índice es similar al de la ciudad de Puebla y Monterrey (figura 2.2).



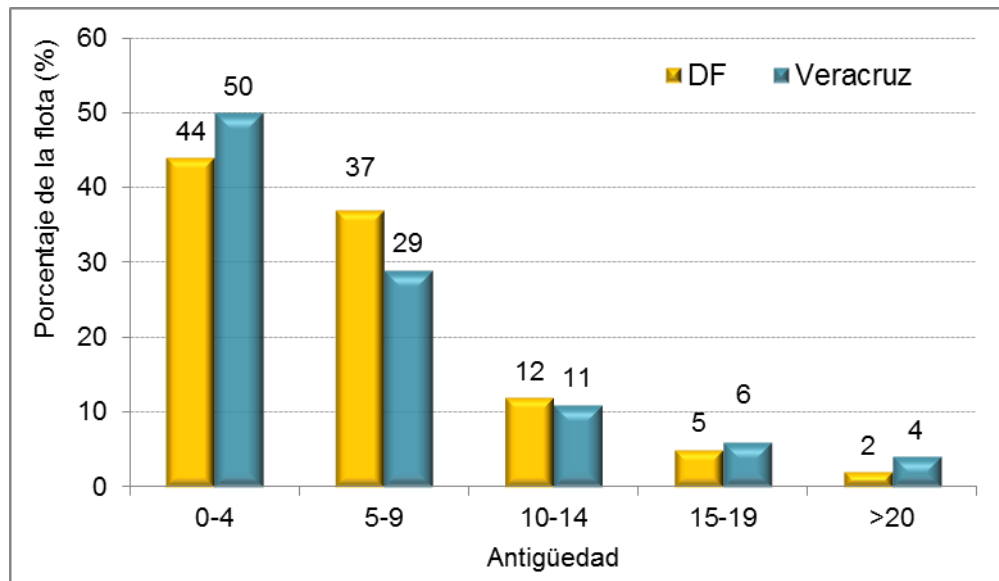
Fuente: INE 2012. Elaboración propia, con información de INE 2008, 2009 y 2010; CONAPO, estimación de la población por municipio de acuerdo con el año en que se realizó en estudio en cada ciudad.

Figura 2.2 Índice de motorización en el Puerto de Veracruz y otras ciudades mexicanas

2.1.4 Antigüedad del parque vehicular

Para conocer las características de los vehiculos evaluados con el equipo de detección remota como son año-modelo, marca, submarca, tipo de vehículo, cilindros, cilindrada, tipo de combustible y servicio; se buscaron las palcas en el

padrón vehicular de la Secretaría de Finanzas y Planeación del estado de Veracruz. La cantidad de registros encontrados en el padrón vehicular fue de 8,135 unidades, de las cuales el 50% tienen una antigüedad igual o menor de cuatro años, un 29% tiene de cinco a nueve años y el 21% tiene más de 10 años de edad. La proporción por grupo de edad es similar a la reportada para el Distrito Federal (figura 2.3).



Fuente: INE 2012. Elaboración propia, con información de la campaña de emisiones vehiculares en el DF, 2008 y Secretaría de Finanzas y Planeación de Veracruz 2011.

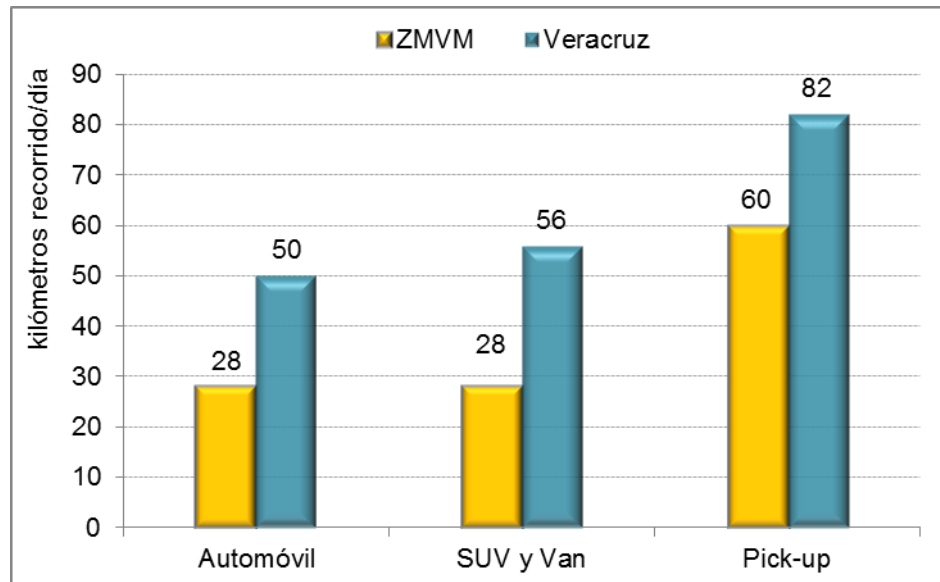
Figura 2.3 Distribución por antigüedad de la flota vehicular del Puerto de Veracruz y del Distrito Federal

2.1.5 Actividad de la flota vehicular

La actividad vehicular se refiere a la intensidad con que se usa un vehículo y está relacionada con la distancia recorrida en un cierto periodo de tiempo, generalmente se expresa en kilómetros por día (km/día). También se puede obtener información de actividad vehicular a través del consumo de combustible.

En este caso se calculó la actividad por tipo de vehículo con los resultados de las encuestas, obteniéndose que los automóviles compactos y subcompactos recorren en promedio 50 km/día, las pick up 82 y las SUV 56 km/día. Los

recorridos que hacen los vehículos que circulan en el Puerto de Veracruz son mayores que los reportados para la ZMVM (figura 2.4).

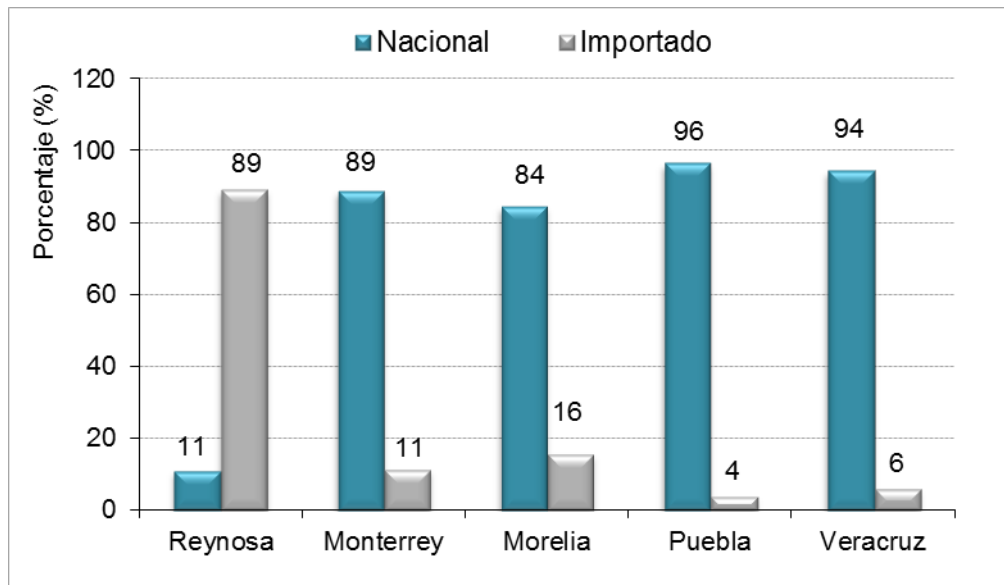


Fuente: INE 2012. Elaboración propia con información de las encuestas e inventario de emisiones de contaminantes criterio de la ZMVM 2008.

Figura 2.4 Actividad por tipo de vehículo en el Puerto de Veracruz y la ZMVM

2.1.6 Composición de la flota vehicular por su origen

La procedencia se refiere a dónde se compró como nuevo un vehículo, puede ser en México o en los Estados Unidos. En el Puerto de Veracruz el 6% del parque vehicular “vivo” o en circulación es de origen extranjero y el 94% nacional. De aquellos que son extranjeros, el 52% corresponde a las SUV y VAN, el 43% a pick up y el 5% a automóviles compactos y subcompactos. Como se observa en la figura 2.5, la proporción de vehículos importados es mayor en las ciudades de la frontera norte como Reynosa, debido a las facilidades geográficas y económicas que tienen los habitantes de la frontera norte para adquirir un vehículo de este tipo.

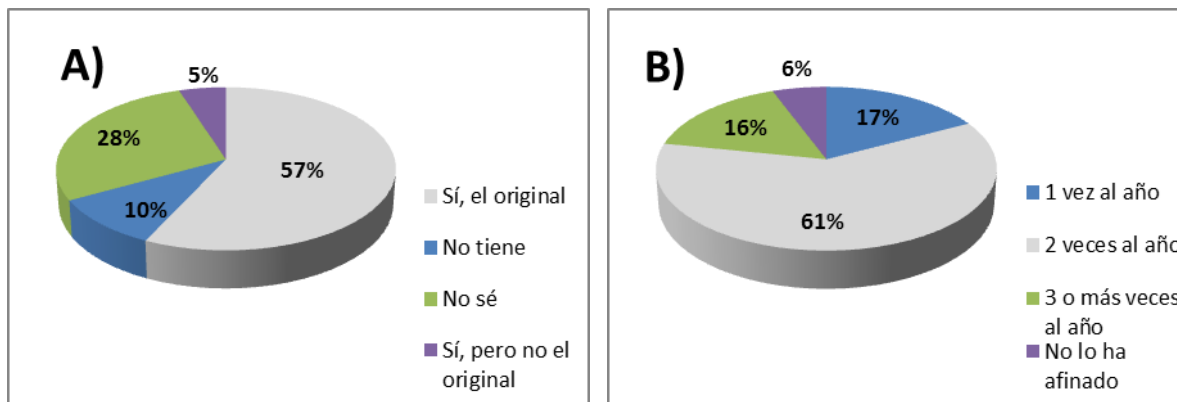


Fuente: INE 2012. Elaboración propia con información de INE 2008, 2009 y 2010.

Figura 2.5 Composición por su origen del parque vehicular que circula en el Puerto de Veracruz y otras ciudades Mexicanas

2.1.7 Mantenimiento y presencia de convertidor catalítico

Con respecto a la presencia de convertidor catalítico, tenemos que el 57% de los encuestados mencionó que su vehículo porta el convertidor original, el 18% no porta el dispositivo y el 28% comentaron que no saben si su vehículo porta este dispositivo (figura 2.6A). En cuanto a la periodicidad de la afinación, se encontró que el mayor porcentaje de los entrevistados (61%) dijo que afina su vehículo dos veces por año, el 17% lo afina una vez por año y el 16% tres veces por año. El 6% restante no ha afinado su vehículo desde que lo adquirió (figura 2.6B).



Fuente: INE 2012. Elaboración propia.

Figura 2.6 A) Presencia de convertidor catalítico, B) Frecuencia de afinación del parque vehicular que circula en el Puerto de Veracruz

2.2 Emisiones vehiculares de escape

2.2.1 Recolección de información y depuración de las bases de datos

El trabajo de campo para la recopilación de información de emisiones vehiculares, mediante la técnica de detección remota, se llevó a cabo durante seis días, obteniéndose lecturas de emisiones para un total de 21,048 registros (vehículos). El cuadro 2.2 muestra el número de registros obtenidos por día y sitio de monitoreo.

Cuadro 2.2 Número de vehículos evaluados por día y sitio de muestreo en el Puerto de Veracruz

Fecha	Ubicación	No. Registros
23-Mayo-2011	Av. Fidel Velázquez frente al parque los pinos	4,131
24-Mayo-2011	Eje 1 poniente, entre Madre selva e Intercolonias, afuera de la CFE	2,007
25-Mayo-2011	Ampliación Miguel Alemán, frente al hotel La Fuente, salida a Xalapa	5,012
26-Mayo-2011	Av. Costa Verde e Isabel La Católica, afuera de la universidad femenil	5,055
27-Mayo-2011	Av. Reyes Heróles, entre Juan Pablo II y Mar del Norte	2,510
28-Mayo-2011	Boulevard M. Ávila Camacho, adelante del Hotel Fiesta Inn	2,333
Total		21,048

2.2.2 Captura del número de placa y control de calidad

Con las fotografías de la placa trasera de cada vehículo evaluado, se capturó el número de placa y se llevó a cabo el control de calidad como se describe en el Anexo B. En el cuadro 2.3 se muestra la cantidad de registros revisados de forma aleatoria para cada día. Dado que en ningún día se rebasó el 5% de error en la captura, no fue necesario repetirla.

Cuadro 2.3 Tamaño de muestra y porcentaje de error en la captura del número de placa por día de medición

Día	Tamaño de muestra	% Error
23-Mayo-2011	251	0
24-Mayo-2011	122	1
25-Mayo-2011	305	0
26-Mayo-2011	308	0
27-Mayo-2011	153	1
28-Mayo-2011	142	2

Fuente: INE 2012. Elaboración propia.

2.2.3 Procesamiento de la información

Una vez capturado el número de placa y habiendo realizado el control de calidad, se procedió a eliminar aquellos registros que no eran válidos por aceleración y velocidad (ver anexo B), quedando 16,078. Los números de placa de estos registros se buscaron en el padrón vehicular de la Secretaría de Finanzas y Planeación del estado de Veracruz para obtener las características de cada automotor. Se encontró información para 8,135 placas; la razón por la que no se encontraron todos los registros se debe a que los vehículos portan placas de otro estado, se capturó mal la matrícula o bien, no portan ninguna placa.

La base de datos final con información de emisiones y características técnicas (8,135 vehículos) se utilizó, entre otras cosas, para realizar el análisis de emisiones, composición del parque vehicular en cuanto a su antigüedad y tipo de vehículo.

2.2.4 Comportamiento de las emisiones vehiculares

2.2.4.1 Estadística descriptiva

Para el análisis de las emisiones vehiculares, la muestra se dividió en cinco estratos de año-modelo que son los siguientes: 1) 1980 y anteriores, 2) 1981 a 1990, 3) 1991 a 1992, 4) 1993 a 1998 y 5) 1999 y posteriores. Esta división tiene la finalidad de observar la relación entre las emisiones, el año-modelo y la tecnología para el control de emisiones.

Para cada estrato y cada contaminante, se calculó el tamaño de muestra, mediana, promedio, desviación estándar y percentil 95. Además, la distribución de las emisiones se muestra mediante gráficos de caja y bigotes.

Monóxido de carbono (CO)

La estadística descriptiva para las emisiones de monóxido de carbono (CO) por estrato vehicular se muestra en el cuadro 2.4. Comparando el promedio y la mediana. Se observa que los vehículos modelo 1981 a 1990 son los que presentan mayores emisiones de este contaminante; la mediana de este estrato es 12 veces mayor que la mediana de los automóviles 1999 y posteriores.

Cuadro 2.4 Estadísticas descriptivas de CO (% en volumen) para cinco estratos vehiculares en el Puerto de Veracruz

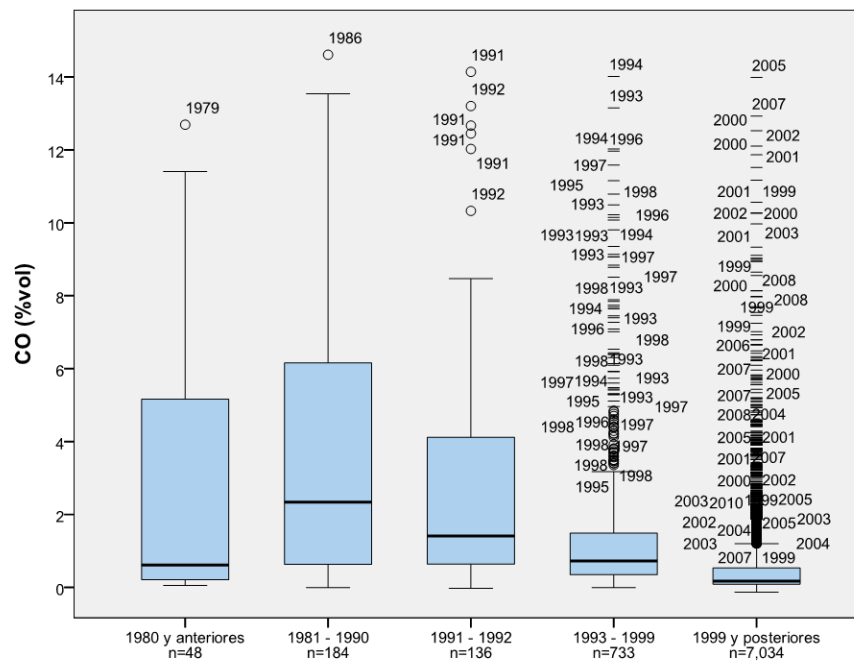
Estadística	Estrato vehicular				
	1980 y ant.	1981-1990	1991-1992	1993-1998	1999 y post.
Cantidad de vehículos	48	184	136	733	7,034
Mediana	0.61	2.30	1.41	0.73	0.17
Promedio	2.73	3.67	2.72	1.44	0.49
Desviación estándar	3.79	3.74	3.08	2.06	0.95

Fuente: INE 2012. Elaboración propia.

De acuerdo con los resultados de la figura 2.7, existe una tendencia a la baja en los percentiles 25, 75 y la mediana conforme aumenta el año-modelo del vehículo. El percentil 75 pasó de 6.21% para los modelos 1981-1990 a 0.53% en volumen

para los modelos 1999 y posteriores. Este comportamiento se debe, en gran medida, a las mejoras tecnológicas en cuanto a la inyección de combustible, al proceso de combustión y a la presencia de convertidor catalítico de dos vías en modelos 1991 a 1992, y de tres vías en modelos 1993 y posteriores.

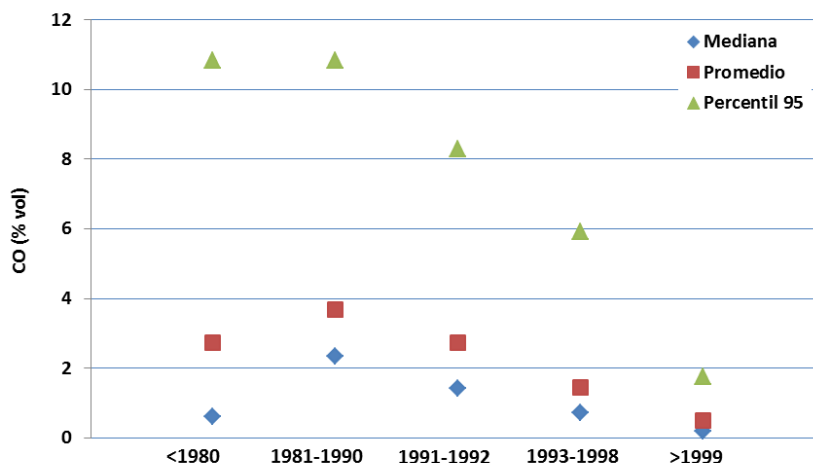
En cuanto a la dispersión de los datos, el rango intercuartílico (percentil 75 menos percentil 25) que se va reduciendo conforme aumenta el año-modelo, es decir, existe menor variabilidad de los datos en modelos recientes. No obstante de que las emisiones de CO son menores en los vehículos de año-modelo reciente, existen en este estrato valores extremos de la misma magnitud que aquellos del estrato 1991-1992 (figura 2.7), lo cual indica que estos vehículos no están recibiendo un mantenimiento adecuado.



Fuente: INE 2012. Elaboración propia.

Figura 2.7 Distribución de las concentraciones de CO (% en volumen) para cinco estratos vehiculares en el Puerto de Veracruz

En cuanto al percentil 95, los autos año-modelo 1999 y posteriores presentan un valor de 1.81% en volumen que es cinco veces menor que el percentil 95 de los vehículos 1990 y anteriores (10.9% en volumen) (figura 2.8).



Fuente: INE 2012. Elaboración propia.

Figura 2.8 Mediana, promedio y percentil 95 de CO (% en volumen) para cinco estratos vehiculares en el Puerto de Veracruz

Bióxido de carbono (CO₂)

Los estimadores calculados para las emisiones bióxido de carbono (CO₂) de la flota vehicular del Puerto de Veracruz indican que conforme aumenta el año-modelo del vehículo la concentración de CO₂ en el escape es mayor. Tanto el promedio como la mediana son mayores en los vehículos 1999 y posteriores, que en los automotores 1998 y anteriores (cuadro 2.5).

Cuadro 2. 5 Estadísticas descriptivas de CO₂ (% en volumen) para cinco estratos vehiculares en el Puerto de Veracruz

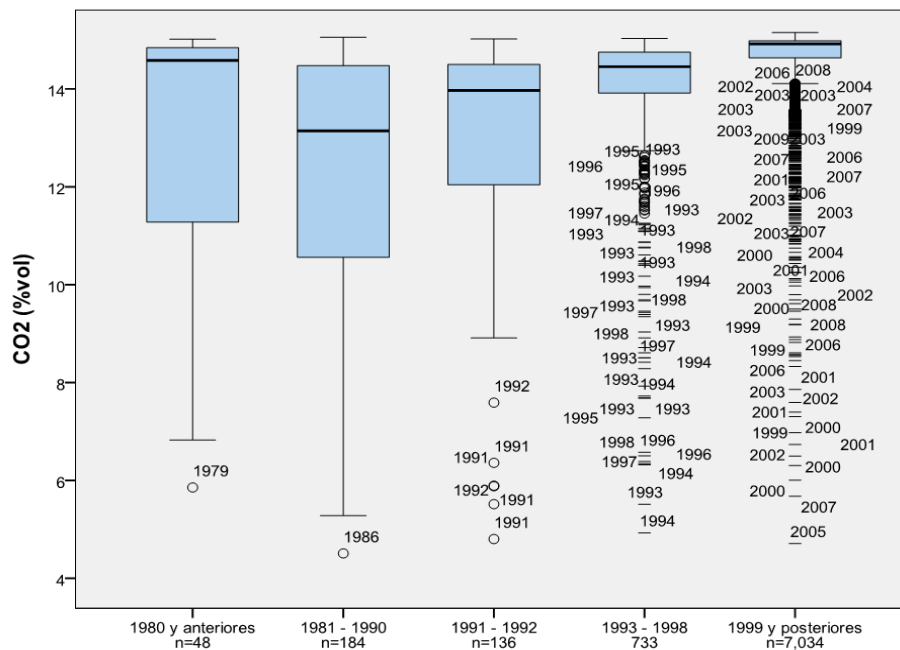
Estadística	Estrato vehicular				
	1980 y ant.	1981-1990	1991-1992	1993-1998	1999 y post.
Cantidad de vehículos	48	184	136	733	7,034
Mediana	14.58	13.21	13.97	14.45	14.92
Promedio	13.01	12.32	13.01	13.95	14.68
Desviación estándar	2.77	2.68	2.21	1.50	0.70

Fuente: INE 2012. Elaboración propia.

Los gráficos de caja muestran, como se esperaba, un comportamiento contrario al de CO, es decir; conforme aumenta el año-modelo, el percentil 25, 75 y la mediana van aumentando, se acercan más al 15% en volumen (figura 2.9).

De los cinco estratos vehiculares, existe una mayor dispersión de las emisiones en los vehículos año-modelo 1981 a 1990. En todos los grupos existen valores extremos.

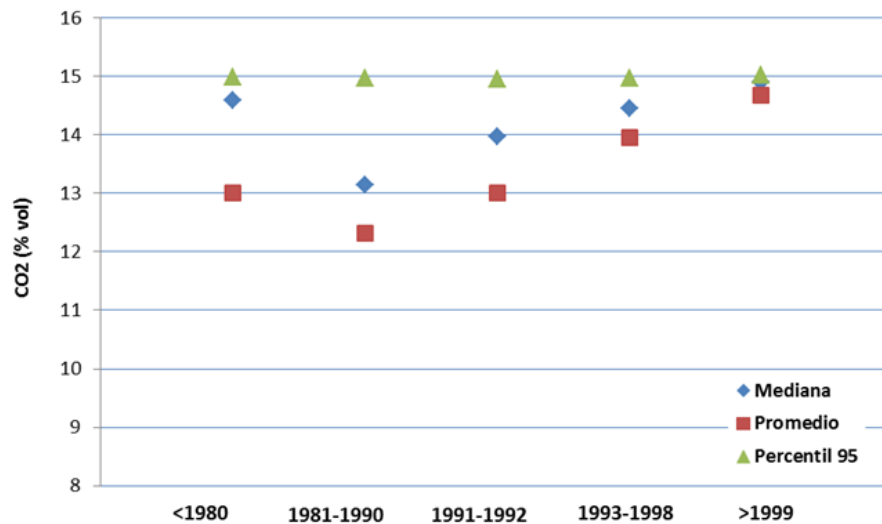
El comportamiento de las emisiones de CO₂ con respecto a la antigüedad de los vehículos se explica por la eficiencia de combustión; los vehículos de año-modelo más reciente tienen mejor eficiencia en su proceso de combustión que los vehículos más antiguos, por lo que la concentración de CO₂ en los gases de escape es mayor. La disminución de la eficiencia de combustión en los vehículos se atribuye al deterioro que sufre el motor con el paso del tiempo, lo que ocasiona que se forme CO en lugar de CO₂.



Fuente: INE 2012. Elaboración propia.

Figura 2.9 Distribución de las concentraciones de CO₂ (% en volumen) para cinco estratos vehiculares en el Puerto de Veracruz

Comparando el valor del percentil 95 de todos los estratos, se observa en la figura 2.10 que los vehículos más recientes están más cerca del 15% en volumen gracias a los avances tecnológicos del motor.



Fuente: INE 2012. Elaboración propia.

Figura 2.10 Mediana, promedio y percentil 95 de CO₂ (% en volumen) para cinco estratos vehiculares en el Puerto de Veracruz

Hidrocarburos (HC)

El cuadro 2.6 muestra la estadística descriptiva para las emisiones de hidrocarburos de los vehículos que circulan en el Puerto de Veracruz divididos por estratos de año-modelo. Los resultados indican que, en promedio, los vehículos 1980 y anteriores emiten siete veces más hidrocarburos que los vehículos de año-modelo más reciente (1999 y posteriores).

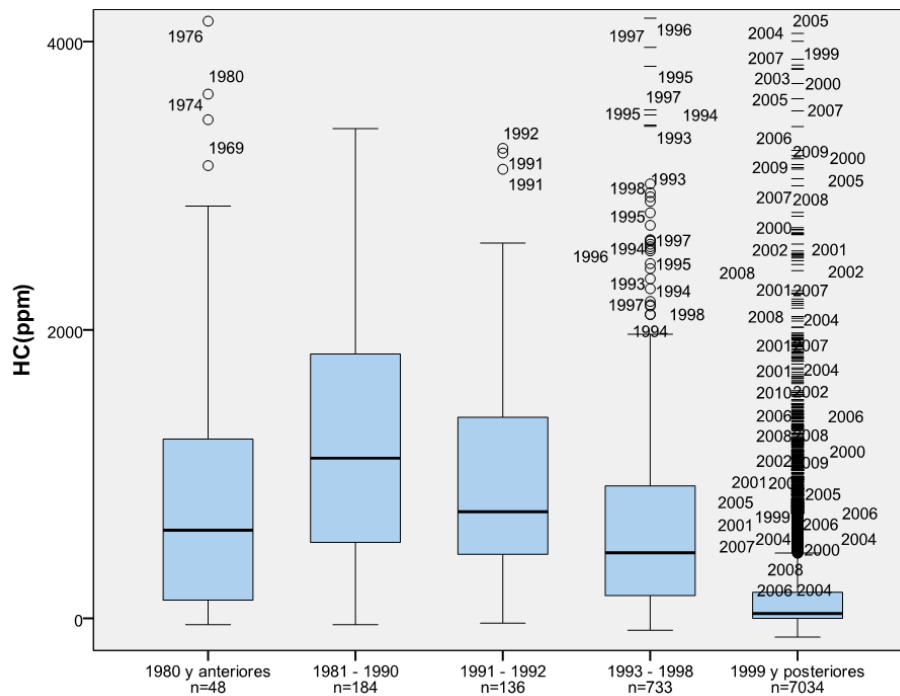
Con respecto a la mediana, esta es 12 veces mayor en los automotores año-modelo 1993 a 1998 respecto a vehículos modelo 1999 y posteriores, y 32 veces mayor en el estrato 1981 a 1990. En todos los estratos hay vehículos con emisiones superiores a 2,000 ppm de HC (propano).

Cuadro 2. 6 Estadística descriptiva de HC (ppm de propano) para cinco estratos vehiculares en el Puerto de Veracruz

Estadística	Estrato vehicular				
	1980 y ant.	1981-1990	1991-1992	1993-1998	1999 y post.
Cantidad de vehículos	48	184	136	733	7,034
Mediana	610.96	1,120.68	739.74	454.55	33.33
Promedio	1,671.61	1,816.28	1,319.06	907.22	212.43
Desviación estándar	5,284.68	2,858.83	2,549.76	1,990.64	703.60

Fuente: INE 2012. Elaboración propia.

La tendencia decreciente en las emisiones, conforme aumenta el año-modelo del automotor, se observa con mayor claridad en la figura 2.11. Además, se nota que para los estratos de año-modelo más antiguos (1998 y anteriores) hay una mayor dispersión de los datos que para el estrato de año-modelo 1999 y posteriores.

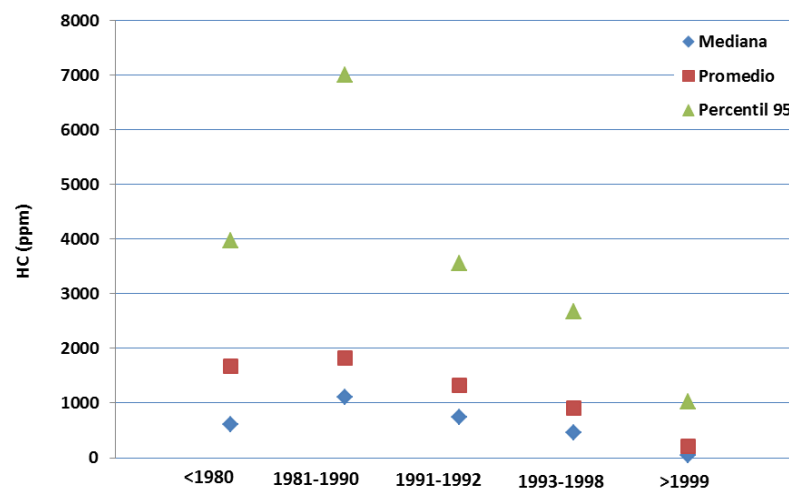


Fuente: INE 2012. Elaboración propia.

Figura 2.11 Distribución de las concentraciones de HC (ppm de propano) para cinco estratos vehiculares en el Puerto de Veracruz

La cantidad de valores extremos en el estrato más reciente (1999 y posteriores), algunos tienen una magnitud igual o superior a los valores extremos de los vehículos más antiguos, lo cual sugiere que estos automóviles no están recibiendo el mantenimiento adecuado o bien, que el convertidor catalítico no está funcionando correctamente.

La figura 2.12 muestra que el 95% de los vehículos año-modelo 1981 a 1990 tienen emisiones de HC menores de 7,000 ppm, mientras que el 95% de los automotores 1999 y posteriores emite 1,000 ppm o menos. Esta reducción en las emisiones de debe principalmente a la presencia de un convertidor catalítico.



Fuente: INE 2012. Elaboración propia.

Figura 2.12 Mediana, promedio y percentil 95 de HC (ppm de propano) para cinco estratos vehiculares en el Puerto de Veracruz

Óxido nítrico (NO)

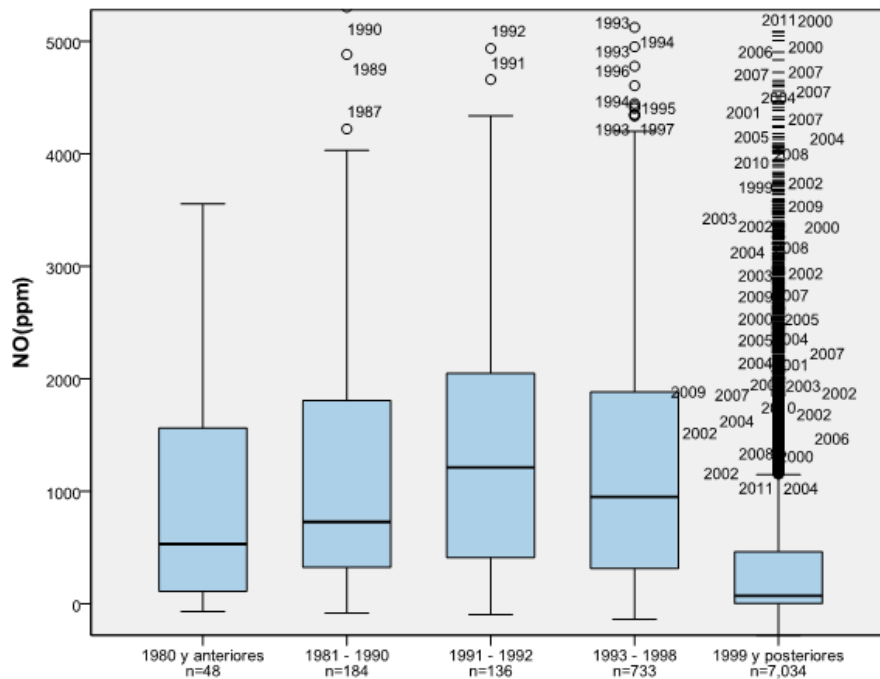
Los resultados para el óxido nítrico (NO) muestran diferencias entre los estratos vehiculares analizados, al igual que para el CO, CO₂ y HC, los estimadores de menor magnitud son los del estrato 1999 y posteriores (cuadro 2.7). La mediana y el promedio más grandes corresponden al estrato de vehículos año-modelo 1991 y 1992, la mediana es 16 veces mayor que la del estrato 1999 y posteriores. En cuanto al promedio, desde el estrato 1981-1990 hay una marcada disminución en los niveles de emisión de NO conforme aumenta el año-modelo.

Cuadro 2.7 Estadística descriptiva de NO (ppm) para cinco estratos vehiculares en el Puerto de Veracruz

Estadística	Estrato vehicular				
	1980 y ant.	1981-1990	1991-1992	1993-1998	1999 y post.
Cantidad de vehículos	48	184	136	733	7034
Mediana	531.57	736.74	1,211.88	950.20	71.47
Promedio	950.01	1,183.15	1,443.30	1,231.68	444.13
Desviación estándar	974.36	1,199.53	1,212.42	1,097.48	819.65

Fuente: INE 2012. Elaboración propia.

En los gráficos de caja de la figura 2.13, se observa la tendencia a la baja del percentil 25, 75 y la mediana a partir del modelo 1991, lo cual puede explicarse por las características del convertidor catalítico, que en los vehículos año modelo 1991 a 1992 es de dos vías, es decir, oxidan CO y HC, y a partir del modelo 1993 se incorporó (en el convertidor) la reducción de los NOx.

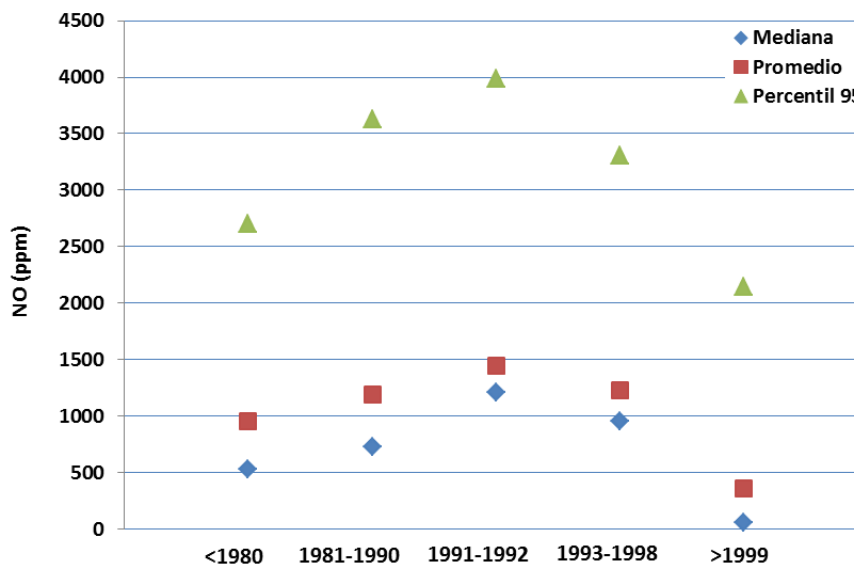


Fuente: INE 2012. Elaboración propia.

Figura 2.13 Distribución de las concentraciones de NO (ppm) para cinco estratos vehiculares en el Puerto de Veracruz

Cabe mencionar que los óxidos de nitrógeno se forman cuando existe una alta temperatura dentro de la cámara de combustión, por lo que es posible que los vehículos con altas concentraciones de óxido nítrico no estén recibiendo un mantenimiento adecuado.

En la figura 2.14 vemos, al igual que en los gráficos de caja, la tendencia decreciente del percentil 95. Llama la atención que este percentil está muy alejado del promedio y la mediana, lo que nos indica que hay vehículos, en todos los estratos, con concentraciones muy altas de NO, especialmente en el estrato 1991 y 1992; mismos que por su tecnología de control de emisiones no portan un convertidor catalítico de tres vías.



Fuente: INE 2012. Elaboración propia.

Figura 2.14 Distribución de las concentraciones de NO (ppm) para cinco estratos vehiculares en el Puerto de Veracruz

2.2.4.2 Comparativo de las emisiones de los vehículos particulares y taxis

Con respecto al uso de los vehículos, el cuadro 2.8 muestra la estadística descriptiva de los vehículos compactos y subcompactos de uso particular y los taxis. Se observa, en principio, que la mediana de CO y HC es muy similar en

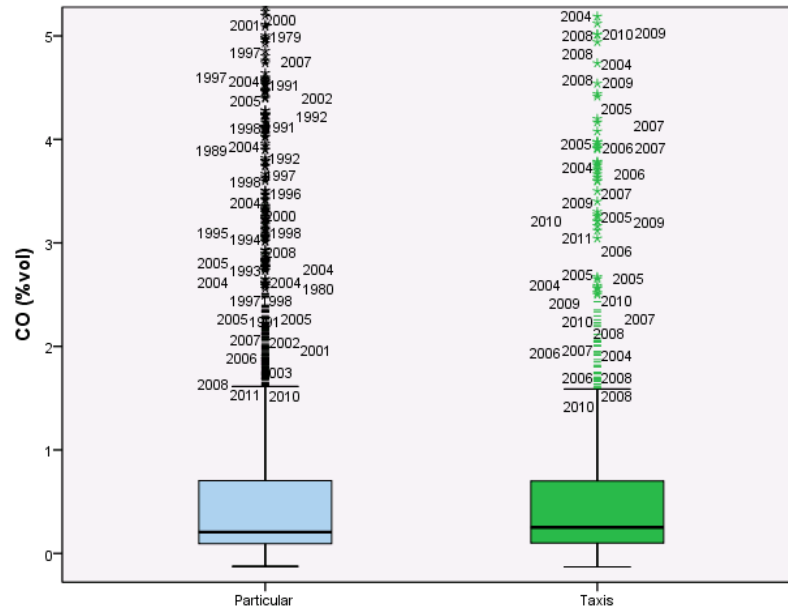
ambos grupos, aproximadamente 0.21% en volumen y 35 ppm respectivamente. En cuanto al NO, la mediana de los taxis es de 222 ppm y para los particulares es de 87 ppm. Es posible que los taxis tengan una mediana y promedio mayor de NO que los autos particulares porque su actividad es mayor y posiblemente el convertidor catalítico ya no esté funcionando correctamente.

Cuadro 2.8 Estadística descriptiva de vehículos compactos y subcompactos de uso particular y taxis en el Puerto de Veracruz

Estadísticas	CO (% vol.)		CO ₂ (% vol.)		HC (ppm de propano)		NO (ppm)	
	Auto particular	Taxi	Auto particular	Taxi	Auto particular	Taxi	Auto particular	Taxi
Mediana	0.21	0.25	14.90	14.85	53.27	35.09	87.38	222.40
Promedio	0.74	0.57	14.50	14.61	356.98	238.76	471.53	739.92
Desviación estándar	1.54	0.89	1.13	0.66	1,293.71	508.70	835.61	1,049.26

Tamaño de muestra: n_{autos particulares (compactos y subcompactos)} = 3,583; n_{taxis} = 1,356

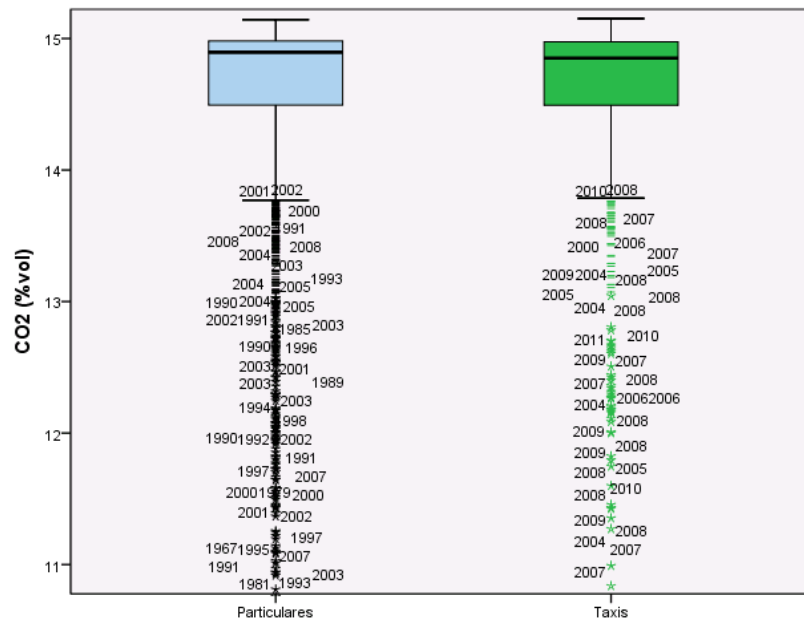
En la figura 2.15 se observa que la distribución de las lecturas de CO es similar en los vehículos particulares y en los taxis, el percentil 75 para ambos grupos es de 0.70% en volumen. En cuanto a los valores extremos vemos, en los particulares, que algunos corresponden a vehículos de modelo anterior al año 2000, pero en el caso de los taxis los datos extremos corresponden a modelos 2004 y posteriores.



Fuente: INE 2012. Elaboración propia.

Figura 2.15 Distribución de las concentraciones de CO (% en volumen) en vehículos particulares y taxis en el Puerto de Veracruz

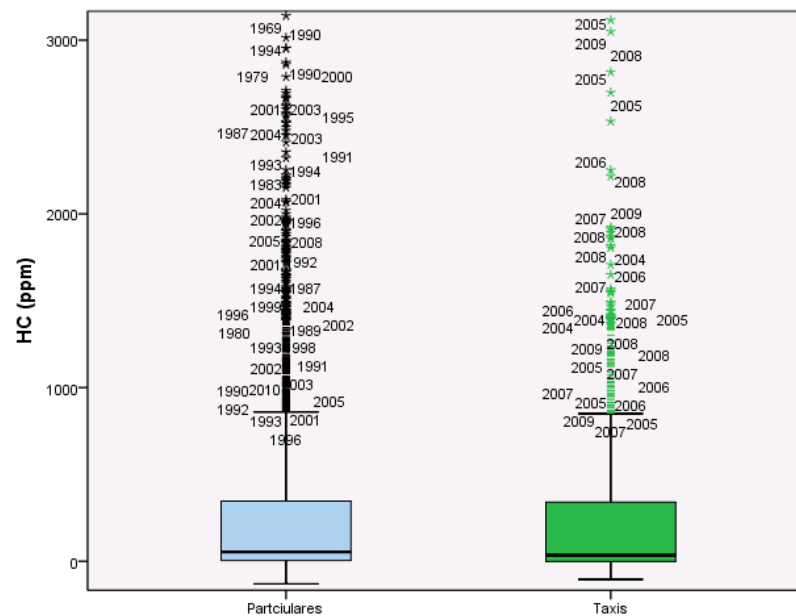
Como se esperaba, el comportamiento del CO₂ es el contrario del CO, es decir, el percentil 25, la mediana y el percentil 75 son mayores que los valores extremos (figura 2.16).



Fuente: INE 2012. Elaboración propia.

Figura 2.16 Distribución de las concentraciones de CO₂ (% en volumen) en vehículos particulares y taxis en el Puerto de Veracruz

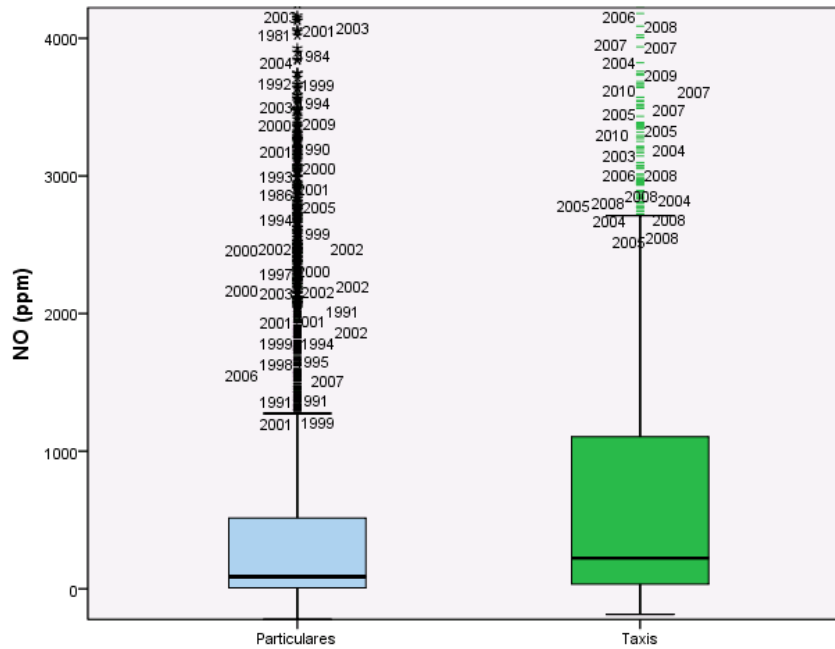
Para el caso de los hidrocarburos, también se encontró una distribución similar de las emisiones de los vehículos particulares y de los taxis. En ambos casos, el percentil 25 está muy cercano a la mediana y el percentil 75 está muy alejado, esto nos indica que hay mayor variabilidad en los datos por arriba del percentil 50 (mediana). Los valores extremos de los particulares corresponden a modelos anteriores al año 2000 (figura 2.17).



Fuente: INE 2012. Elaboración propia.

Figura 2.17 Distribución de las concentraciones de HC (ppm de propano) en vehículos particulares y taxis en el Puerto de Veracruz

A diferencia de los contaminantes antes descritos, la distribución de las emisiones de NO entre los vehículos particulares y taxis muestra una diferencia significativa. El percentil 75 de los taxis es de 1,100 ppm, mientras que para los particulares es de 514 ppm. También se observa que los valores extremos de los taxis son de mayor magnitud (figura 2.18). Este comportamiento puede estar relacionado a la eficiencia de convertidor catalítico ya que en los taxis, este dispositivo, se deteriora con mayor rapidez porque recorren mayores distancias.



Fuente: INE 2012. Elaboración propia.

Figura 2.18 Distribución de las concentraciones de NO (ppm) en vehículos particulares y taxis en el Puerto de Veracruz

2.2.4.3 Estadística inferencial de las emisiones

En esta sección se presentan los resultados de la estadística inferencial de las emisiones vehiculares recopiladas durante el estudio con el sensor remoto en el Puerto de Veracruz. Debido a que se obtuvo un muy buen ajuste a una distribución Gamma para los datos reales de CO y HC, se utilizó esta distribución para estimar el intervalo de confianza al 95%. En el Anexo D se describe el procedimiento para obtener los parámetros α y β .

Los resultados muestran para el caso del CO, que la media es de 0.71% en volumen, el límite inferior de 0.66 y el límite superior de 0.76% en volumen (cuadro 2.9).

Cuadro 2.9 Valor medio, límite inferior y superior para el intervalo de confianza al 95% obtenido para las concentraciones de CO (% en volumen)

Estadística	CO (% vol)
Límite inferior	0.66
Media	0.71
Límite superior	0.76

Fuente: INE 2012. Elaboración propia.

Para el caso de los hidrocarburos, el valor medio resultó ser de 440 ppm, el límite inferior y superior se muestran en el cuadro 2.10.

Cuadro 2.10 Valor medio, límite inferior y superior para el intervalo de confianza al 95% obtenido para las concentraciones de HC (ppm de propano)

Estadística	HC (ppm de propano)
Límite inferior	381
Media	440
Límite superior	523

Fuente: INE 2012. Elaboración propia.

3. CONCLUSIONES

3.1 Actividad y características de la flota vehicular

- El número de vehículos en circulación en el Puerto de Veracruz al año 2011 se estimó en 171,860 unidades, de las cuales, el 61% son automóviles compactos y subcompactos, 20% son SUV y VAN, 16% pick up y el 3% corresponde a camiones de carga y transporte público. Por otra parte, en general, la antigüedad del parque vehicular se integra en un 79% de vehículos con una antigüedad de 9 años o menos y en un 21% de 10 años o más.
- En cuanto al origen, el 94% de la flota del Puerto de Veracruz es de origen nacional, mientras que el 6% son vehículo importado usado. Este parque vehicular, en promedio, presenta la siguiente actividad: Los automóviles compactos y subcompactos recorren en promedio 50 km/día, las pick up 77 km/día y las SUV y VAN 56 km/día.
- De acuerdo con los resultados de la aplicación de encuestas, el 57% de entrevistados mencionó que su vehículo portan el convertidor catalítico original, mientras que el 18% dijo que su vehículo no porta este dispositivo.

3.2 Emisiones de escape

- En todos los estratos vehiculares hay valores extremos, algunos vehículos modelo 1999 y posteriores presentaron emisiones tan altas como un vehículos 1990 y anteriores.
 - Monóxido de carbono: La mediana del CO para el estrato 1981 a 1990 es 12 veces mayor que en los automóviles 1999 y posteriores.
 - Hidrocarburos: La mediana de los vehículos 1980 y anteriores es 17 veces mayor con respecto a la de los vehículos año-modelo 1999 y

posteriores, mientras que la diferencia con las emisiones de los vehículos del estrato 1981 a 1990 es de 32 veces.

- Óxido nítrico: La mediana del NO de los automotores año-modelo 1991 y 1992 es 16 veces más grande que la mediana del estrato 1999 y posteriores. La mediana para el estrato 1993-1998 es 12 veces más alta que para el más reciente.
- En cuanto al uso de vehículo, se encontró que los taxis y los vehículos particulares presentaron medianas similares de emisión de CO y HC, mientras que para el NO los taxis presentaron una mediana que es el doble de la estimada para los particulares.

Finalmente los resultados muestran la necesidad de poner en marcha medidas para el control de las emisiones de los vehículos en circulación, especialmente para aquellos con antigüedad mayor a 12 años y los de uso intensivo, pero sin excluir la revisión de los automotores de año-modelo más recientes, ya que algunos pueden presentar emisiones de escape tan elevadas como un vehículo de más de 20 años de antigüedad cuando no recibe un mantenimiento adecuado.

4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andersen Z.J, Hvidberg M, Jensen S.S, Ketzel M, Loft S, Sørensen M, Tjønneland A, Overvad K, Raaschou-Nielsen O., 2010. Chronic Obstructive Pulmonary Disease and Long-Term Exposure to Traffic-Related Air Pollution: A Cohort Study. Sep 24.
- Bishop, G. A and Donald H. Stedman. 2006. On-Road Remote Sensing of Automobile Emissions in west Los Angeles: Year 4, Department of Chemistry and Biochemistry, University of Denver.
- Bishop G.A and Donald H. Stedman. 2008. A decade of on-road emissions measurements. *Environmental Science and Technology*, 42:1651-1656.
- CONAPO, 2012. Proyección de la población. Disponible en: http://www.conapo.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=36&Itemid=234
- ESP, 2004. *Remote Sensing Milestones, "US Experience"*. Niranjan Vescio, ESPH, Environmental Systems Products, 2002 N. Forbes Tucson, Arizona 85745-1446 USA.
- Gilbert, Richard O.1987. *Statistical methods for environmental pollution monitoring*. John Wiley & Sons.
- Gobierno del Estado de Veracruz, 2012, www.veracruz.gob.mx.
- INE, 2008. *Estudio de emisiones y características vehiculares en ciudades mexicanas. Fase II: Matamoros, Monterrey y Zacatecas. Parte A,* Monterrey.
- INE, 2009. *Estudio de emisiones y características vehiculares en Morelia, Michoacán.*
- INE, 2010. *Estudio de emisiones y características vehiculares en Puebla, Puebla.*
- INE, 2011. *Cuarto almanaque de datos y tendencias de la calidad del aire en 20 ciudades mexicanas (2000-2009)*. Instituto Nacional de Ecología, México, DF.
- INEGI, 2012a. Censo de Población y Vivienda 1995. Disponible en: <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/ccpv/cpv1995/default.aspx>
- INEGI, 2012b. XII Censo General de Población y Vivienda 2000. Disponible en: <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/Proyectos/ccpv/cpv2000/default.aspx>
- INEGI, 2012c. Censo de Población y Vivienda 2005. Disponible en: <http://www.inegi.gob.mx/est/contenidos/espanol/proyectos/conteos/conteo2005/bd/consulta2/pt.asp?c=6796>
- INEGI, 2012d. Censo de Población y Vivienda 2010. Disponible en: <http://www.censo2010.org.mx/>
- INEGI, 2012e. Estadística de vehículos de motor registrados en circulación. Disponible en: <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/espanol/proyectos/continuas/economicas/bd/transporte/Vehiculos.asp?s=est&c=13158>

- Kumar R, Sharma SK, Thakur JS, Lakshmi PV, Sharma MK, Singh T. 2010. Association of air pollution and mortality in the Ludhiana city of India: A time-series study. *Indian J. Public Health.* 54(2):98-103.
- Linares B, Guizar J.M, Amador N, Garcia A, Miranda V, Perez J.R, Chapela R. 2010. Impact of air pollution on pulmonary function and respiratory symptoms in children. Longitudinal repeated-measures study. *BMC Pulm Med.* Nov 24;10:62.
- Michael Jerrett, Ph.D., Richard T. Burnett, Ph.D., C. Arden Pope III, Ph.D., Kazuhiko Ito, Ph.D., George Thurston, Sc.D., Daniel Krewski, Ph.D., Yuanli Shi, M.D., Eugenia Calle, Ph.D., and Michael Thun, M.D. 2009. Long-Term ozone exposure and mortality. *The New England Journal of Medicine.* 360:1085-95.
- Nigenda, G. Cifuentes, E. y Duperval, P., 2002. Estimación del valor económico de reducciones en el riesgo de morbilidad y mortalidad por exposiciones ambientales. Instituto Nacional de Ecología. SEMARNAT.
- 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.
- Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal. 2010. Inventario de emisiones de contaminantes criterio de la ZMVM 2008. México, D.F.
- SEMARNAT, 2012. Inventario Nacional de Emisiones de México, 2005.
- 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.
- 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. 2007. *Análisis estadístico con SPSS 14*, Tercera edición, McGraw-Hill, España.
- Zhang Y, Bishop G.A., Stedman D.H. 1994. Automobile Emissions Are Statistically γ -Distributed. *Environmental Science & Technology.* 28(7):1370-1374.

ANEXO A. Aspectos generales de Veracruz, Veracruz

A.1 Localización geográfica

El Estado de Veracruz es una angosta franja de tierra ligeramente curvada, que se extiende de noroeste a sureste sobre la costa. Tiene una superficie de 71,820 km², con una franja costera de 684 km, la cual representa el 3.7% de la superficie total de México.

Los municipios de Veracruz y Boca del Río forman parte de la zona metropolitana o conurbada de Veracruz-Boca del Río; incluye además al municipio de Alvarado y Medellín. Su clima es tropical cálido, con una temperatura media anual de 25.3°C y con una precipitación media anual de 1500 mm (Gobierno de Veracruz, 2012).



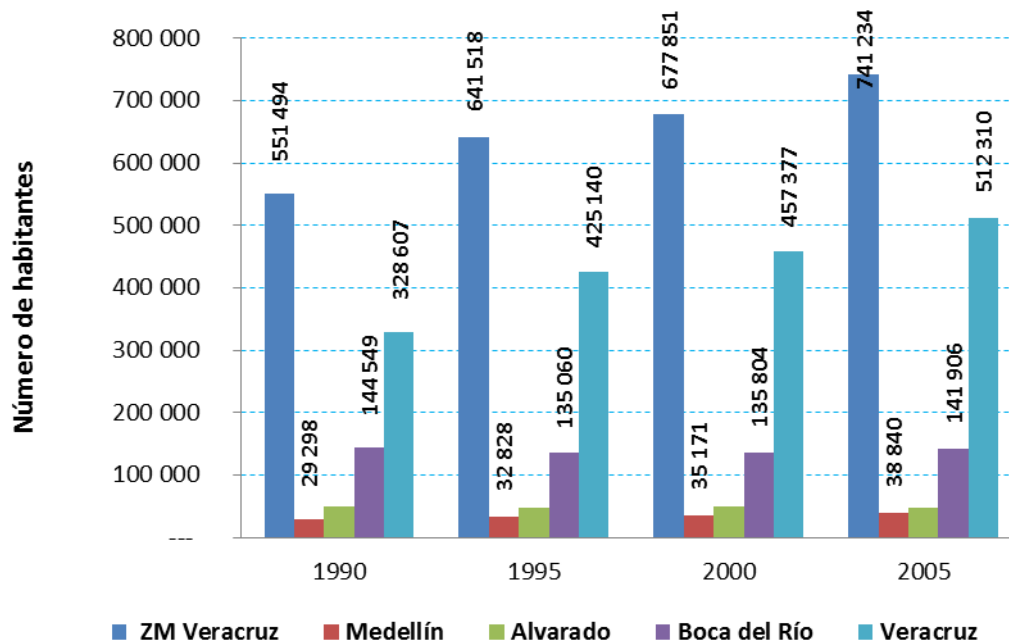
Fuente: Gobierno de Veracruz, 2012 y Google Maps 2012.

Figura A.1 Localización geográfica de Veracruz y Boca del Río

A.2 Aspectos socioeconómicos

Población

La población total de la zona metropolitana de Veracruz sumó para el censo de 2005 741,234 habitantes en una superficie total de 1,509 km² con una densidad promedio de 512 habitantes por kilómetro cuadrado. El municipio más poblado de la zona es Veracruz (512,310 habitantes).



Fuente: INE, 2012. Elaboración propia con información de CONAPO 2005 e INEGI 2012 a, b, c y d.

Figura A.2 Crecimiento de la población en los municipios que integran la Zona Metropolitana de Veracruz

Actividad económica

Existen en Veracruz tres zonas industriales en el Norte, Centro y Sur. La base industrial del estado es la explotación de petróleo y azufre. Veracruz tiene el mayor número de pozos petrolíferos en la planicie costera del Golfo, donde se encuentran la antigua Faja de Oro y la Nueva, la zona Minatitlán-Nanchital y la Faja de Oro Marina en la plataforma continental. Cuenta con refinерías y plantas de absorción. La mayor parte de la producción nacional azucarera, petroquímica, agroquímica, aluminio, papelera, textil, cervecera y tubos de acero proviene de

Veracruz. En cuanto a generación de energía, Veracruz también se encuentra la planta nucleoelectrica de Laguna Verde (Gobierno de Veracruz, 2012).

Transporte

Veracruz cuenta con tres puertos marítimos comerciales y cinco puertos marítimos de cabotaje que mueven el 30% de la carga transportada por vía marítima y el 30% de la carga nacional en contenedor. Existen tres aeropuertos estratégicamente ubicados, en el norte, centro y sur, dos de ellos son para vuelos nacionales y uno para vuelos internacionales.

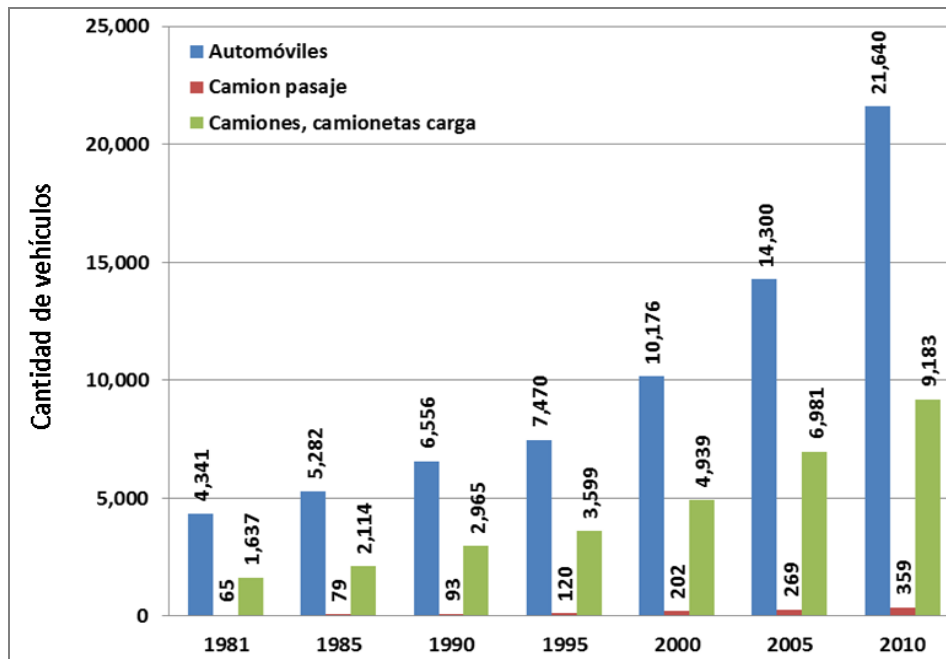
La transportación terrestre en Veracruz cuenta con más de 5,400 km de carreteras pavimentadas y 1,000 km de vías férreas. De acuerdo con el INEGI, en el estado circulaban en el 2010, 31,182 vehículos (cuadro A.1).

Cuadro A.1 Crecimiento del parque vehicular en el estado de Veracruz

Tipo de vehículo	1981	1985	1990	1995	2000	2005	2010
Automóviles	4,341	5,282	6,556	7,470	10,176	14,300	21,640
Camión de pasaje	65	79	93	120	202	269	359
Camiones y camionetas de carga	1,637	2,114	2,965	3,599	4,939	6,981	9,183
Total	6,043	7,475	9,614	11,189	15,318	21,550	31,182

Fuente: INEGI, 2012e

La distribución por tipo de vehículo se muestra en la figura A.3, donde se observa que la mayor parte de la flota vehicular son automóviles particulares y en segundo lugar están los camiones y camionetas de carga (INEGI, 2012).



Fuente: INE, 2012. Elaborada con información de INEGI 2012e.

Figura A.3 Crecimiento y distribución de la flota vehicular en el estado de Veracruz

Como hemos visto, la flota vehicular en el estado aumenta cada año, sobre todo en las zonas urbanas donde poseer un vehículo se ha convertido en sinónimo de comodidad y de estatus social. Sin embargo, el uso de los vehículos genera externalidades negativas como la saturación de las vialidades, la reducción de la velocidad de circulación y en consecuencia, mayor cantidad de emisiones contaminantes, que finalmente repercuten en la salud de la población.

Para implementar medidas de control de las emisiones generadas por los automotores, primero es necesario conocer las características del parque vehicular en cuanto al tipo de vehículo, año-modelo, tecnología del motor y emisiones de escape. En el caso del estado de Veracruz, se cuenta con un padrón con las características vehiculares; sin embargo, se desconoce el desempeño ambiental de la flota. En este sentido, se diseñó el siguiente estudio para conocer las emisiones de los vehículos que circulan en la capital del estado, Veracruz.

ANEXO B. Metodología

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

- a) Estimar el parque “vivo” o en circulación y su actividad por tipo de vehículo.
- b) Caracterizar la flota vehicular en cuanto a la composición por tipo de vehículo, origen, antigüedad y servicio.
- c) Medir las emisiones del parque vehicular en circulación y relacionarlas con sus características.

Para alcanzar los objetivos se consideraron tres actividades principales; la caracterización de la flota vehicular a través de la aplicación de encuestas a automovilistas en estaciones de servicio, el conteo directo de vehículos en vialidades y la medición de emisiones de escape a través del uso de un equipo de detección remota.

B.1 Actividad y características de la flota vehicular

Con el objeto de determinar la población total de vehículos en circulación, su composición por tipo de vehículo, haciendo una distinción entre vehículos de origen nacional o importado; sus características técnicas y tecnológicas como son año-modelo, marca, sub-marca, número de cilindros, cilindrada, sistema de control de emisiones; su actividad, distancia recorrida y consumo de combustible, se realizaron las siguientes actividades:

- **Aplicación de encuestas** a mil conductores, en estaciones de servicio, mientras cargaban combustible.
- **Conteo directo en vialidades** para obtener una primera aproximación de la composición del parque vehicular por categoría, de acuerdo con su procedencia.

- **Recopilación de bases de datos** de ventas históricas de la industria automotriz, en ambos municipios, para determinar la cantidad de automotores nacionales vendidos que se incorporaron, año con año, a la circulación.
- **Análisis de la base de datos del parque vehicular** de la Secretaría de Finanzas del Estado de Veracruz para asignar las características a los vehículos evaluados con el equipo de detección remota.
- **Captura del tipo de vehículo** a través del archivo fotográfico obtenido durante el trabajo de campo realizado con el equipo de detección remota.

A continuación se muestra un resumen de la actividad realizada y la información obtenida.

Cuadro B.1 Métodos e información recopilada

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

Fuente: INE, 2012. Elaboración propia.

B.1.1 Selección de los sitios de muestreo

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

- Se seleccionaron cinco estaciones de servicio ubicadas lo más cerca posible a los puntos utilizados para el monitoreo con equipo de detección remota, con la finalidad de realizar una correlación de los datos de composición, actividad y emisiones vehiculares.
- Se seleccionaron vialidades representativas, en donde circulan vehículos con diferente tipo y uso. El conteo se llevó a cabo durante 20 minutos cada hora desde las 8:00 a las 16:00 horas; al mismo tiempo que tuvo lugar la aplicación de encuestas.

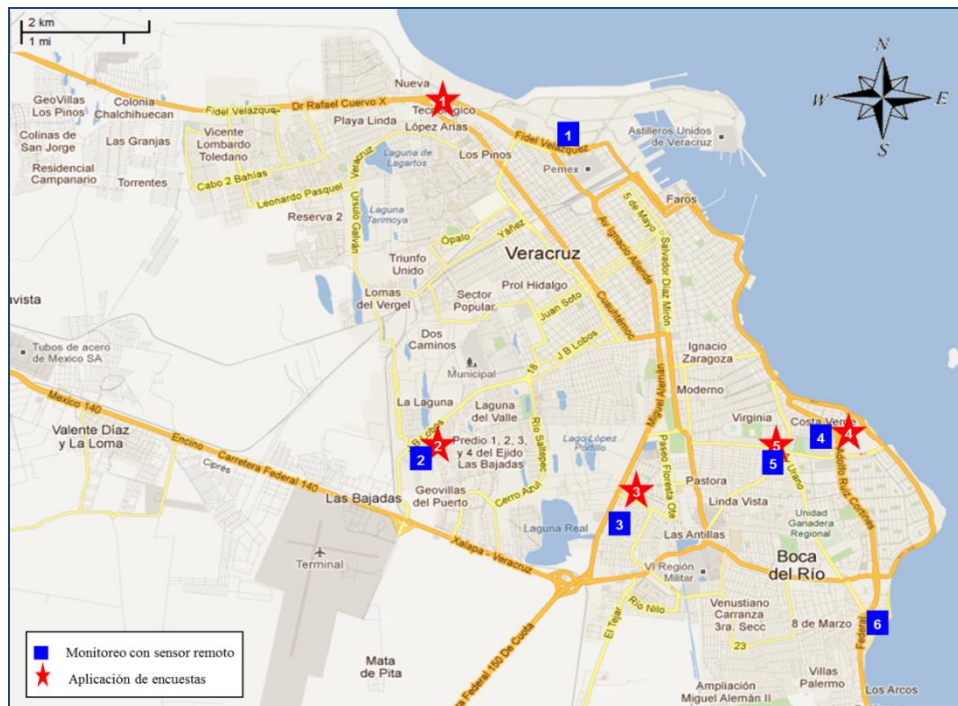
Los cinco puntos donde se llevó a cabo el conteo y la aplicación de las entrevistas se indican en el cuadro B.2.

Cuadro B.2 Puntos seleccionados para la aplicación de encuestas en el Puerto de Veracruz

Fecha	Estación de servicio	Razón Social	Domicilio
19-Julio-2011	ES-9875	Proveedora de combustibles y lubricantes JT, S.A. de C.V.	Blvd. Fidel Velázquez No. 3100
20-Julio-2011	ES-10760	Servicio oportito, S.A. de C.V.	Francisco González Bocanegra Esquina José Santos S/N
21-Julio-2011	ES-7103	Servicio Trimage, S.A. de C.V.	Miguel Alemán Lote 2 y 3, El Coyol
22-Julio-2011	ES-6828	Súper Servicio Costa Verde, S.A. de C.V.	Blvd. Manuel Ávila Camacho Lote 1,2 y 3, Esquina con Costa Verde
23-Julio-2011	ES-6539	Abastecedora Veracruzana, S.A. de C.V.	Juan Pablo II, No. 1046 Lote 1

Fuente: INE, 2012. Elaboración propia.

La figura B.1 muestra los sitios seleccionados para la aplicación de encuestas y el monitoreo usando el equipo de detección remota.



Fuente: INE 2012. Elaboración propia con información de Google Maps 2012.

Figura B.1 Puntos seleccionados para la aplicación de encuestas y monitoreo con el equipo de detección remota en el Puerto de Veracruz

B.1.2 Aplicación de encuestas y conteo vehicular

Se realizó el conteo directo de vehículos en cada uno de los puntos seleccionados durante 20 minutos cada hora entre las 8:00 y las 16:00 horas. El personal a cargo de los conteos tiene experiencia para identificar en forma visual la procedencia de los vehículos (nacional o importado), con base en el tipo de carrocería, marca y sub-marca de los vehículos automotores. La clasificación que se realizó consideró los siguientes tipos de vehículos: autos, VAN, SUV (Sport Utility Vehicles), pick up (incluye estaquitas), camión de pasaje (servicio público), camión de carga y motocicletas.

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

es que se tiene una mayor muestra (miles de vehículos) que la obtenida a través de las encuestas.

Por otra parte, la encuesta incluye preguntas orientadas a obtener información acerca de los siguientes aspectos:

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

Los formatos empleados para el aforo y la entrevista se encuentran en el anexo C.

Para estimar el parque en circulación o parque vivo se usaron los datos de ventas anuales de vehículos nuevos en Veracruz y Boca del Río desde 1972 hasta 2010, y se aplicó un factor de mortalidad a cada año-modelo.

B.2 Emisiones vehiculares

Para realizar este estudio se utilizó el equipo de detección remota RSD4600, propiedad del INE, el cual mide la razón CO/CO_2 , HC/CO_2 , NO/CO_2 y factor de humo del gas expulsado por el escape de los vehículos en circulación. Este método presenta la ventaja de evaluar gran cantidad de vehículos en poco tiempo, por esto se ha empleado en diversos estudios a nivel internacional (Gary A. Bishop y Donald H. Stedman, 2006; y 2008, Sigrist, 1994).

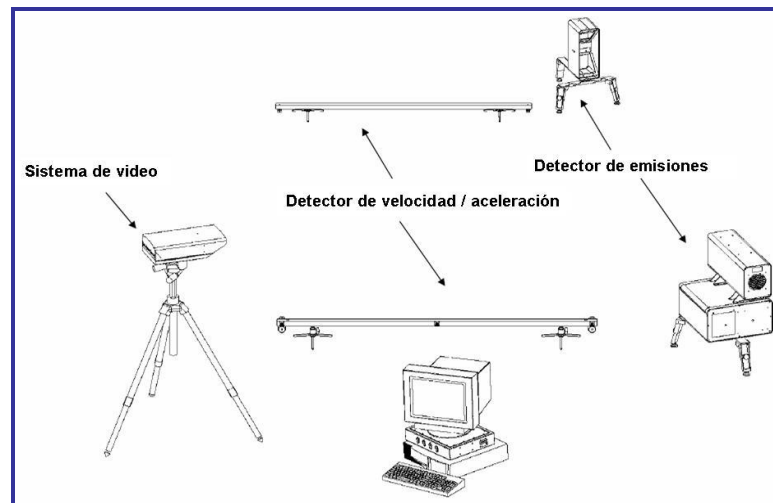
A continuación se describe el principio de funcionamiento del sistema de detección remota, la duración del estudio, el criterio de selección de sitios, la calibración del equipo, la recolección y el procesamiento de los datos obtenidos.

B.2.1 Equipo utilizado y su calibración

El equipo consta de una fuente de luz infrarroja que lanza un haz a lo largo de una trayectoria de entre 4.5 a 8.5 m a través de la vialidad, a la altura del tubo de escape de los vehículos, hacia una serie de detectores o filtros para bandas de absorción de 3.3, 4.6 y 4.3 micrómetros. En el detector se mide la cantidad de energía absorbida, la cual es proporcional a la concentración de hidrocarburos, monóxido de carbono y bióxido de carbono presentes en la nube de gases a la salida de tubo de escape. La medición del óxido nítrico se lleva a cabo de la misma forma, pero utilizando una fuente de luz ultravioleta. Los resultados obtenidos se presentan en partes por millón (ppm) para los HC y el NO, y en porcentaje en volumen (% en vol.) para el CO y CO₂.

El sistema cuenta con sensores que permiten medir la velocidad y la aceleración de cada vehículo monitoreado. Estos parámetros son determinantes para la medición, ya que se recomienda tomar en cuenta las mediciones de los vehículos que circulan a una velocidad entre 8 y 160 km/h, y a una 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 fotografía de la parte trasera de cada unidad con la intención de obtener una imagen de cada matrícula.

La figura B.2 muestra los tres elementos básicos del equipo de medición remota, a decir, el detector de emisiones, las barras de detección de velocidad/aceleración y el sistema de video (ESP, 2004).



Fuente: ESP, 2004

Figura B.2 Elementos del equipo de detección remota

Las mediciones realizadas son concentradas en un equipo de cómputo, en donde las lecturas de los gases contaminantes, la aceleración y la velocidad son comparadas en automático por un software que contiene rangos válidos para cada parámetro, de forma tal que al presentarse resultados irregulares, el sistema crea banderas de alerta para que los datos no válidos no sean tomados en cuenta durante el análisis de la información (ESP, 2004).

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

B.2.2 Selección de los sitios de muestreo

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

- a) Captar vehículos que circulan en zonas con características socioeconómicas distintas, porque se sabe que el tipo de vehículo, su antigüedad y su mantenimiento dependen de este tipo de variables;

- b) Seleccionar vialidades con alto flujo vehicular (800 a 1,100 vehículos por hora), para asegurar la suficiencia de información para el análisis estadístico;
- c) Seleccionar vialidades de 2 ó 3 carriles, que permitieran el paso de los vehículos, uno a uno, por entre las barras de detección de velocidad/aceleración;
- d) Seleccionar vialidades que contaran con una pendiente positiva, para asegurar que el vehículo transitara en aceleración y con una velocidad comprendida entre los 30 y 40 kilómetros por hora, al momento de pasar frente al equipo analizador de gases.

El cuadro B.3 describe 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. En todos los casos, la unidad móvil fue instalada en cada vialidad, restringiendo la circulación vehicular a un sólo carril para asegurar que los vehículos pasaran entre las barras de detección de velocidad y los espejos del sistema óptico del equipo de detección remota.

Cuadro B. 3 Ubicación de los sitios de muestreo con sensor remoto en el Puerto de Veracruz

No.	Fecha	Ubicación del punto de muestreo
1	23-Mayo-2011	Av. Fidel Velázquez frente al parque Los pinos
2	24-Mayo-2011	Eje 1 poniente, entre Madre selva e Intercolonias, afuera de la CFE
3	25-Mayo-2011	Ampliación Miguel Alemán, frente al hotel La Fuente, salida a Xalapa
4	26-Mayo-2011	Av. Costa Verde e Isabel La Católica, afuera de la universidad femenil
5	27-Mayo-2011	Av. Reyes Heróles, entre Juan Pablo II y Mar del Norte
6	28-Mayo-2011	Boulevard M. Ávila Camacho, adelante del Hotel Fiesta Inn

Fuente: INE, 2012. Elaboración propia.



Fuente: INE 2012. Elaboración propia con información de Google Maps 2012.

Figura B.3 Ubicación de los sitios de medición de emisiones vehiculares con equipo de detección remota en el Puerto de Veracruz

B 2.3 Periodo de muestreo

Las mediciones se llevaron a cabo con base en la metodología citada por Schifter (2003), donde se recomienda medir de 1,000 a 2,000 vehículos por día ya que se sabe que entre un 50 y 60% de las mediciones serán válidas respecto a la velocidad y la aceleración (entre 500 y 1,000 mediciones), considerando además que al momento de hacer la búsqueda de las placas en la base de datos del pago de tenencia, se espera encontrar registros completos para el 30% de las placas, por lo que el número de mediciones válidas se reduce a 150 o máximo 300 por día. También se recomienda que el estudio contemple fines de semanas (Shifter et al., 2003; Unal, 2007).

El estudio para el Puerto de Veracruz se realizó del lunes 23 al sábado 28 de mayo de 2011. Las mediciones se realizaron de las 9:00 a las 16:00 horas, con el objetivo de recolectar entre 3 y 4 mil mediciones de vehículos por día, para asegurar el mayor número de registros válidos con información.

B.2.4 Captura de la información

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

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

B.2.5 Control de calidad de la captura de información

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

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

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

Donde:

n = tamaño de la muestra

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

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

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

s_h^2 = varianza de los errores de captura de las placas de los vehículos en el día h
 d = margen de error con respecto al verdadero valor de la media de los errores de captura
 α = nivel de significancia

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

2. Una vez determinado el tamaño de muestra para cada día, se seleccionaron aleatoriamente los registros a ser revisados a partir de su número consecutivo en la base de datos.
3. Se procedió a comparar el número de placa capturado con la fotografía correspondiente a estos registros. Como criterio general se determinó que, para cada uno de los días, si en más del 5% de los registros seleccionados para revisión la placa capturada no coincidía con la fotografía tomada por el equipo de detección remota, se capturarían nuevamente todos los registros de ese día.

B.2.6 Procesamiento de la información

Los resultados de emisiones se validaron en base a la concentración de contaminantes. Para tal efecto, se utilizaron los siguientes criterios (Bishop G.A y D.H. Stedman, 2006 y Popp et al., 1999):

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

La base con los registros validos se comparó con el padrón vehicular del estado para asignar el año-modelo, cilindros, cilindrada, combustible, tipo y uso de cada automotor. La base de datos final se conforma con los vehículos a los que se les pudo asignar el modelo y es la que utilizó para realizar el análisis de estadística descriptiva e inferencial. La primera permite identificar las características de la muestra obtenida en términos de sus emisiones, de su antigüedad y del tipo de servicio. La segunda permite realizar supuestos sobre la población que se está examinando, los cuales son soportados en pruebas probabilísticas que rigen la certidumbre de los resultados presentados (por ejemplo, los intervalos de confianza).

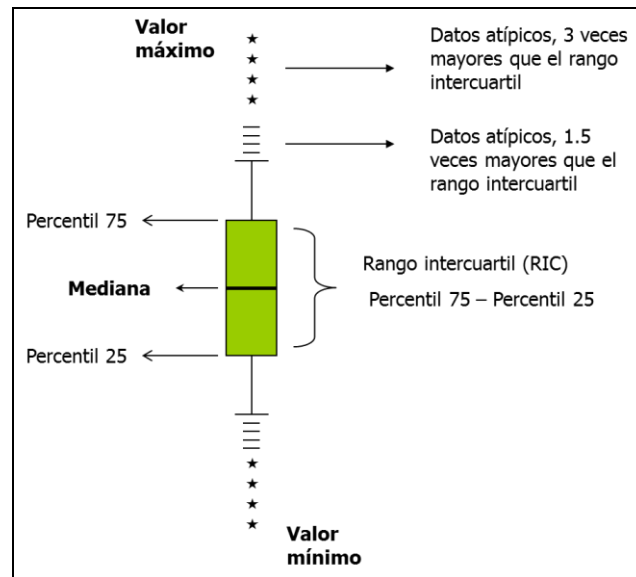
Estadística descriptiva (descripción de la muestra de vehículos medidos)

Para el análisis de las emisiones se usó la base final validada y se realizaron las siguientes agrupaciones:

- 1) En base al estrato tecnológico vehicular en: 1980 y anteriores, 1981 a 1990, 1991 a 1992, 1993 a 1998 y 1999 y posteriores.
- 2) Por tipo de servicio en: particular y público.

Para cada uno de los casos anteriores se obtuvo el valor mínimo, la mediana, la media, la desviación estándar, el percentil 95 y el máximo de los cuatro contaminantes estudiados (CO, CO₂, HC y NO), así como las gráficas de caja (Boxplot), las cuales resumen la distribución de los valores de las emisiones y muestran el percentil 25, la mediana, el percentil 75, el rango intercuartil (percentil 75 menos el percentil 25) y los valores extremos (Visauta Vinacua B., 2007). En la figura B.4 se representa un gráfico de caja donde el símbolo “★” indica valores más de tres veces el rango intercuartil, desde el percentil 25 hacia abajo o desde el percentil 75 hacia arriba, que son los valores más extremos de la distribución. Los símbolos “-“ indican valores más de 1.5 veces el rango intercuartil desde el percentil 25 hacia abajo o desde el percentil 75 hacia arriba, es decir, valores

menores o mayores a los más extremos respectivamente. En este tipo de gráficos el 50% de los casos están dentro de la caja.



Fuente: INE, 2008. Elaboración propia

Figura B. 4 Descripción de la gráfica de caja

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

Estudios realizados a flotas vehiculares indican que el comportamiento probabilístico de estas corresponde a una distribución gamma. De acuerdo con Zhang (1994), las mediciones de emisiones de CO y HC provenientes de vehículos en circulación se comportan siguiendo aproximadamente una distribución gamma; sin embargo, esto no ocurre con las emisiones de CO₂ ni con las de NO. Con base en lo anterior, se puede utilizar esta distribución probabilística para hacer inferencias sobre el comportamiento de las emisiones de los vehículos en una zona determinada. En este caso, para realizar inferencias sobre las mediciones de HC y CO se estimaron los parámetros α y β para las mediciones realizadas en el Puerto de Veracruz y se verificó que la distribución de los datos efectivamente se comportara como una distribución gamma. Una vez

que se determinaron los parámetros de la distribución, se utilizaron para lo siguiente:

- Generación de intervalos de confianza del 95% para el promedio de las emisiones de CO y HC. Un intervalo de confianza es un rango de valores factibles basados en una muestra tomada de una población, en el que cabe esperar que se encuentre el verdadero valor del o los parámetros poblacionales. Por ejemplo, un intervalo de confianza del 95% indica que si el estudio se repite en las mismas condiciones pero con distintas muestras aleatorias, noventa y cinco de cada cien veces se obtendrían intervalos que contendrían el verdadero parámetro poblacional y cinco veces se obtendría intervalos que no lo contendrían. Es decir, un intervalo de confianza da idea de qué tanta incertidumbre existe acerca del valor del parámetro que se está estimando; por lo tanto, si el intervalo resulta muy grande, existe mucha incertidumbre acerca de dónde se localiza el verdadero valor del parámetro; si el intervalo resulta muy pequeño, la incertidumbre es igualmente pequeña.

ANEXO C. Formato de encuesta

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

SUPERVISOR: _____ AUTORIZADO: _____ REALIZADO: _____

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

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

- 1.- ¿Qué marca es su vehículo?

<input type="checkbox"/> Acura	<input type="checkbox"/> Daewoo	<input type="checkbox"/> Hummer	<input type="checkbox"/> Lincoln	<input type="checkbox"/> Panoz	<input type="checkbox"/> Seat
<input type="checkbox"/> Alfa Romeo	<input type="checkbox"/> Dodge	<input type="checkbox"/> Hyundai	<input type="checkbox"/> Lotus	<input type="checkbox"/> Peugeot	<input type="checkbox"/> Smart
<input type="checkbox"/> Aston Martin	<input type="checkbox"/> Eagle	<input type="checkbox"/> Infiniti	<input type="checkbox"/> Maserati	<input type="checkbox"/> Plymouth	<input type="checkbox"/> Subaru
<input type="checkbox"/> Audi	<input type="checkbox"/> Ferrari	<input type="checkbox"/> Isuzu	<input type="checkbox"/> Mazda	<input type="checkbox"/> Pontiac	<input type="checkbox"/> Suzuki
<input type="checkbox"/> Bentley	<input type="checkbox"/> Fiat	<input type="checkbox"/> Jaguar	<input type="checkbox"/> Mercedes Benz	<input type="checkbox"/> Porsche	<input type="checkbox"/> Toyota
<input type="checkbox"/> BMW	<input type="checkbox"/> Ford	<input type="checkbox"/> Jeep	<input type="checkbox"/> Mercury	<input type="checkbox"/> Renault	<input type="checkbox"/> Volkswagen
<input type="checkbox"/> Buick	<input type="checkbox"/> Geo	<input type="checkbox"/> Kia	<input type="checkbox"/> Mini	<input type="checkbox"/> Rolls-Royce	<input type="checkbox"/> Volvo
<input type="checkbox"/> Cadillac	<input type="checkbox"/> GMC	<input type="checkbox"/> Lamborghini	<input type="checkbox"/> Mitsubishi	<input type="checkbox"/> Saab	<input type="checkbox"/> Otra, ¿cuál?
<input type="checkbox"/> Chevrolet	<input type="checkbox"/> Hino	<input type="checkbox"/> Land Rover	<input type="checkbox"/> Nissan	<input type="checkbox"/> Saturn	
<input type="checkbox"/> Chrysler	<input type="checkbox"/> Honda	<input type="checkbox"/> Lexus	<input type="checkbox"/> Oldsmobile	<input type="checkbox"/> Scion	
- 2.- ¿Qué año / modelo es su vehículo?
- 3.- ¿Hace cuánto tiempo lo adquirió usted? Años ó Meses
- 4.- Sabe usted si su auto de nuevo ¿fue comprado en México ó Estados Unidos?
 No sé (**pase a la siguiente pregunta**) Sí ¿en dónde? México
 Estados Unidos
 Otro ¿cuál? _____
- 5.- ¿Cuál es el kilometraje total de su vehículo según su odómetro? Millas
Sí 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 Ciudad:

Descripción Ubicación: _____ 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) ____:	Número de Vehículos				Observaciones:	
a	Vehículos Nacionales	Vehículos importados				
____:		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) ____:	Número de Vehículos				Observaciones:	
a	Vehículos Nacionales	Vehículos importados				
____:		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) ____:	Número de Vehículos				Observaciones:	
a	Vehículos Nacionales	Vehículos importados				
____:		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) ____:	Número de Vehículos				Observaciones:	
a	Vehículos Nacionales	Vehículos importados				
____:		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) ____:	Número de Vehículos				Observaciones:	
a	Vehículos Nacionales	Vehículos importados				
____:		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 D. Análisis de distribución probabilística tipo Gamma

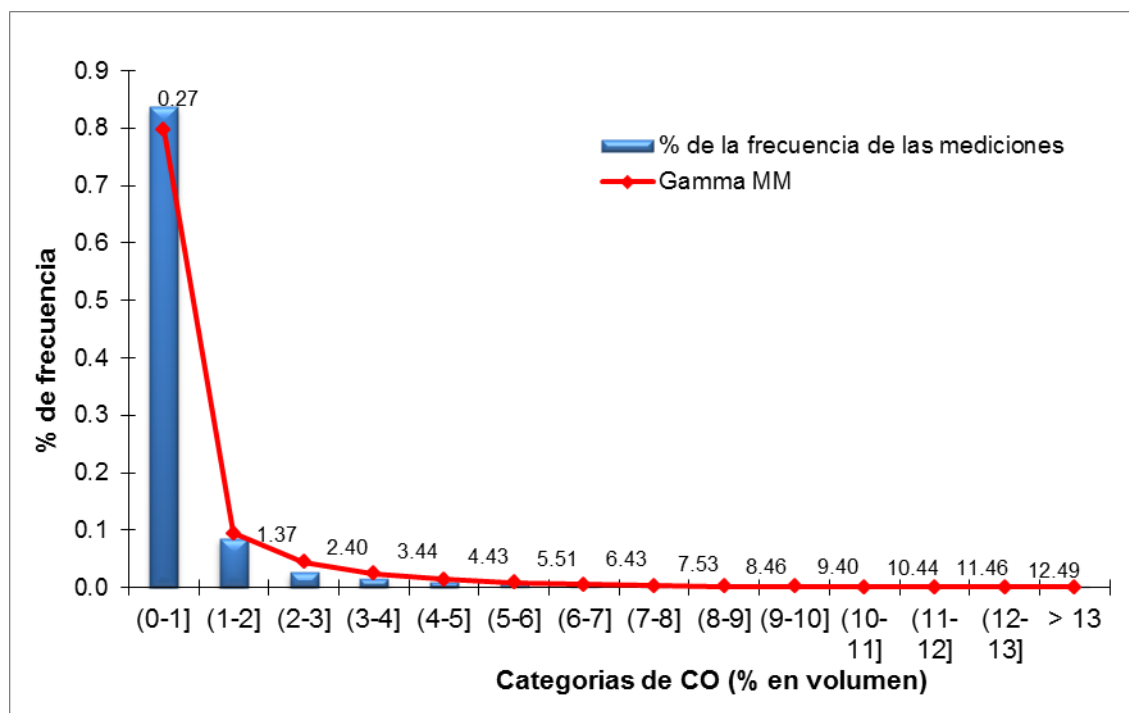
La estimación del modelo probabilístico que mejor puede justificar el comportamiento de las emisiones vehiculares ha sido bien descrito por Zhang y coautores. En ese estudio se obtuvo que las emisiones vehiculares de CO y HC siguen una distribución gamma con parámetros α y β (Zhang et al., 1994). Con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

Cuadro D.1 Intervalos de clase, distribución empírica y teórica de las emisiones vehiculares de CO en el Puerto de Veracruz

Intervalo de clase	Frecuencia	Promedio de la clase	Distribución empírica	Distribución teórica Gamma (α , β)	
			% de la frecuencia	Momentos $\alpha= 0.2404$ $\beta= 2.9688$	Máxima Verosimilitud $\alpha= 0.6306$ $\beta= 1.1319$
(0-1]	6,669	0.27	0.8375	0.797	0.757
(1-2]	680	1.37	0.0854	0.095	0.158
(2-3]	208	2.40	0.0261	0.045	0.053
(3-4]	123	3.44	0.0154	0.025	0.019
(4-5]	80	4.43	0.0100	0.014	0.007
(5-6]	49	5.51	0.0062	0.009	0.003
(6-7]	34	6.43	0.0043	0.006	0.001
(7-8]	33	7.53	0.0041	0.004	0.000
(8-9]	22	8.46	0.0028	0.002	0.000
(9-10]	18	9.40	0.0023	0.002	0.000
(10-11]	19	10.44	0.0024	0.001	0.000
(11-12]	10	11.46	0.0013	0.001	0.000
(12-13]	10	12.49	0.0013	0.000	0.000
> 13	8	13.76	0.0010	0.001	0.000

Fuente: INE, 2008. Elaboración propia

El cuadro D.1 presenta los intervalos de clase, la distribución empírica y teórica de las emisiones vehiculares de CO en Puerto de Veracruz, 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).



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

Figura D.1 Comparación de las emisiones vehiculares de CO y su aproximación a la distribución Gamma ($\alpha = 0.240$, $\beta = 2.96$) en el Puerto de Veracruz.

En la figura D.1 se comparan de manera gráfica las emisiones vehiculares de CO medidas contra la distribución gamma ajustada a los datos con los parámetros estimados a través 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, $\mu(\text{Veracruz}) = 0.24 \cdot 2.96 = 0.71$ que es idéntico al valor obtenido de las mediciones de las emisiones vehiculares (ver cuadro 2.9).

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

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

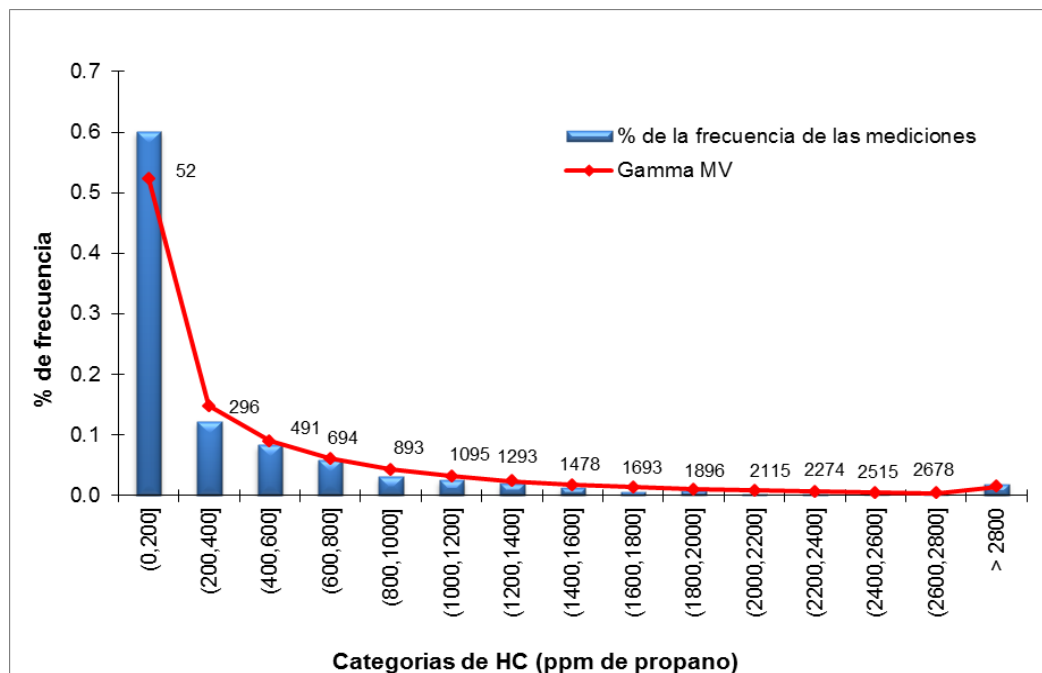
Intervalo de clase	Frecuencia	Promedio de la clase	Distribución empírica	Distribución teórica Gamma (α, β)	
			% de la frecuencia	Momentos $\alpha= 0.1146$ $\beta= 3843$	Máxima verosimilitud $\alpha= 0.4411$ $\beta= 998.26$
(0,200]	3,809	52	0.6011	0.7497	0.5234
(200,400]	777	296	0.1226	0.0578	0.1483
(400,600]	531	491	0.0838	0.0341	0.0900
(600,800]	374	694	0.0590	0.0239	0.0608
(800,1000]	199	893	0.0314	0.0181	0.0432
(1000,1200]	160	1,095	0.0252	0.0144	0.0315
(1200,1400]	125	1,293	0.0197	0.0118	0.0235
(1400,1600]	80	1,478	0.0126	0.0098	0.0177
(1600,1800]	41	1,693	0.0065	0.0084	0.0135
(1800,2000]	48	1,896	0.0076	0.0072	0.0104
(2000,2200]	19	2,116	0.0030	0.0062	0.0081
(2200,2400]	18	2,274	0.0028	0.0055	0.0063
(2400,2600]	22	2,515	0.0035	0.0048	0.0049
(2600,2800]	15	2,678	0.0024	0.0043	0.0038
> 2800	119	7,337	0.0188	0.0440	0.0146

Fuente: INE, 2008. Elaboración propia

Como se puede observar en el cuadro D2, 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 D.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, 2008. Elaboración propia

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

Figura D.2 Comparación de las emisiones vehiculares de HC y su aproximación a la distribución Gamma ($\alpha = 0.441$, $\beta = 998$) en el Puerto de Veracruz

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 (Veracruz) = $0.441 \cdot 998 = 440.33$, que es idéntico al obtenido de las mediciones de las emisiones vehiculares (ver cuadro 2.10).

ANEXO E. Archivo fotográfico del trabajo de campo



Boulevard Ávila Camacho, Boca del Río



Avenida Costa verde, Boca del Río



Miguel Alemán, Veracruz



Avenida Reyes Heróles, Boca del Río