

REPORTE FINAL

Estudio de emisiones y actividad vehicular en ciudades mexicanas de la frontera norte

INE-Centro de Transporte Sustentable

2007

CONTENIDO

I. INTRODUCCIÓN	3
II. ASPECTOS GENERALES DE LA ZONA DE ESTUDIO	9
a. Mexicali	9
1. Situación geográfica	9
2. Calidad del aire	9
b. Tijuana.....	14
1. Situación geográfica	14
2. Calidad del aire	14
III. METODOLOGÍA	18
a. Emisiones vehiculares.....	18
1. Equipo utilizado	19
2. Duración	21
3. Selección de sitios	22
4. Calibración del equipo y recolección de datos.....	24
5. Procesamiento de la información.....	26
b. Características, composición, origen y actividad de la flota vehicular ...	33
1. Selección de sitios	34
2. Recolección de datos.....	34
IV. RESULTADOS	36
a. Emisiones vehiculares.....	36
1. Recolección de datos y captura de la información.....	36
2. Procesamiento de la información.....	38
3. Comportamiento de las emisiones vehiculares.....	41
b. Características, composición, origen y actividad de la flota vehicular ...	64
1. Características y composición de la flota vehicular	64
2. Origen y actividad de la flota vehicular	67
IV. CONCLUSIONES.....	72
V. BIBLIOGRAFIA.....	74
ANEXO 1	77
ANEXO 2	79
ANEXO 3	80

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).

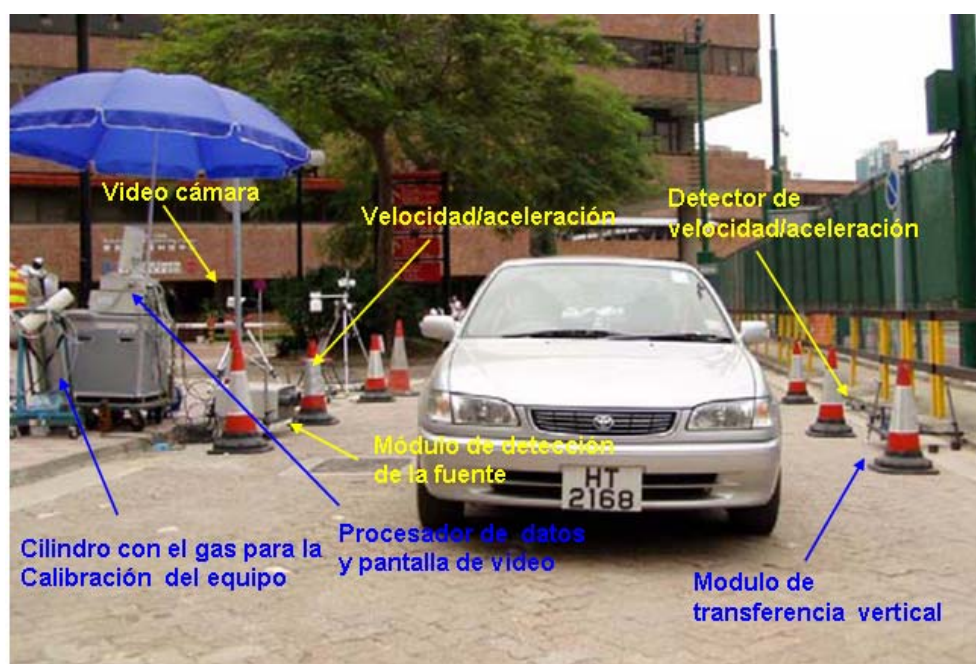


Figura 1 Arreglo típico del sistema de detección remota para medición de emisiones de vehículos en circulación (RSR, 2005)

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, bajo la coordinación del Instituto Nacional de Ecología (INE) y con la participación del Centro de Transporte Sustentable, del gobierno del estado de Baja California y el acompañamiento de las autoridades municipales de medio ambiente y tránsito de Mexicali y Tijuana, y la Delegación de SEMARNAT en Baja California, quienes fueron fundamentales para el cumplimiento de los objetivos del estudio. Asimismo, la Secretaría de Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal facilitó el equipo de detección remota y el

personal necesarios para llevar a cabo la medición de emisiones. 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 Mexicali y Tijuana, así como el análisis posterior y las conclusiones del estudio en estas ciudades. La estructura del documento se describe a continuación.

- I. Introducción: Describe los antecedentes, el objetivo y los alcances del documento
- II. Aspectos generales de Tijuana y Mexicali
- III. Metodología: Detalla los métodos utilizados para la medición de emisiones vehiculares y levantamiento de encuestas
- IV. Resultados: Presenta y discute los resultados del estudio
- V. Conclusiones y recomendaciones
- VI. Bibliografía

II. ASPECTOS GENERALES DE LA ZONA DE ESTUDIO

a. Mexicali

1. Situación geográfica

La ciudad de Mexicali, capital del estado de Baja California, se encuentra ubicada en la frontera entre México y los Estados Unidos, comparte frontera con Calexico, California. Tiene una población de 902.983 habitantes (INEGI 2006b), y se encuentra a 3 metros sobre el nivel del mar (msnm). El clima de Mexicali es cálido-seco con muy poca precipitación anual y muy extremo, puesto que alcanza temperaturas desde -5°C en el invierno hasta 45°C a la sombra en el verano.

El crecimiento económico de Mexicali está fuertemente ligado a la inversión extranjera de empresas de ensamblaje, principalmente de electrónicos que son exportados principalmente a Estados Unidos. Asimismo, la horticultura y la industria de procesamiento de alimentos tienen también una fuerte presencia en esta ciudad (Ayuntamiento de Mexicali, 2008).

2. Calidad del aire

El análisis de la información proveniente de la red de monitoreo de Mexicali indica que, históricamente, en esta ciudad se rebasan las normas de calidad de aire establecidas por la Secretaría de Salud (SS) para partículas aerodinámicas con diámetro menor a 10 micras (PM_{10}), con diámetro menor a 2.5 micras ($\text{PM}_{2.5}$), el monóxido de carbono (CO) y el ozono (O_3). Por ejemplo, en lo que respecta a las PM_{10} , prácticamente desde 1998 y hasta 2006 se registraron niveles ligeramente por arriba de doble del valor de la norma anual ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, promedio) y por arriba de tres veces el valor de la

norma diaria ($120 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 24 horas) como lo muestra la Figura 2.1; además en la estación UABC, que mide con equipo automático las PM_{10} , se ha rebasado el valor de la norma diaria entre 48 y 65 días al año de 2003 al 2007. Las concentraciones de PM_{10} observadas se pueden relacionar con la ubicación de Mexicali en una zona árida y con el hecho de que casi un 40% de las calles y los caminos se encuentran sin pavimentar (BDAM, 2003).

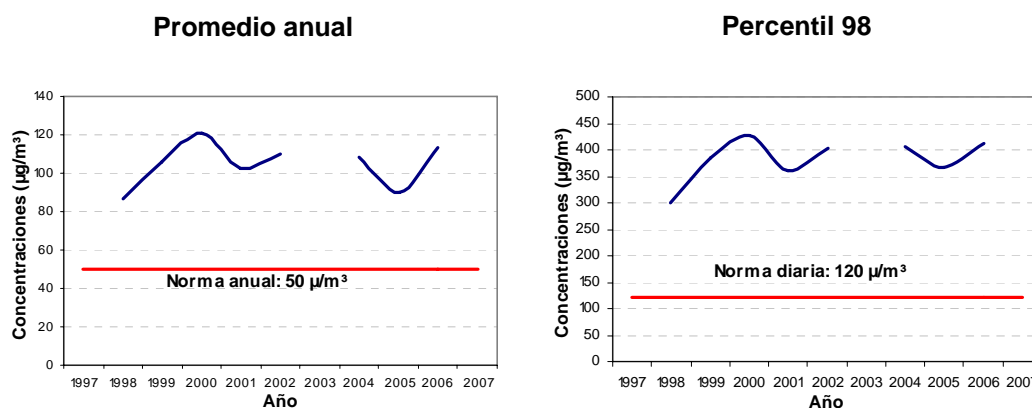
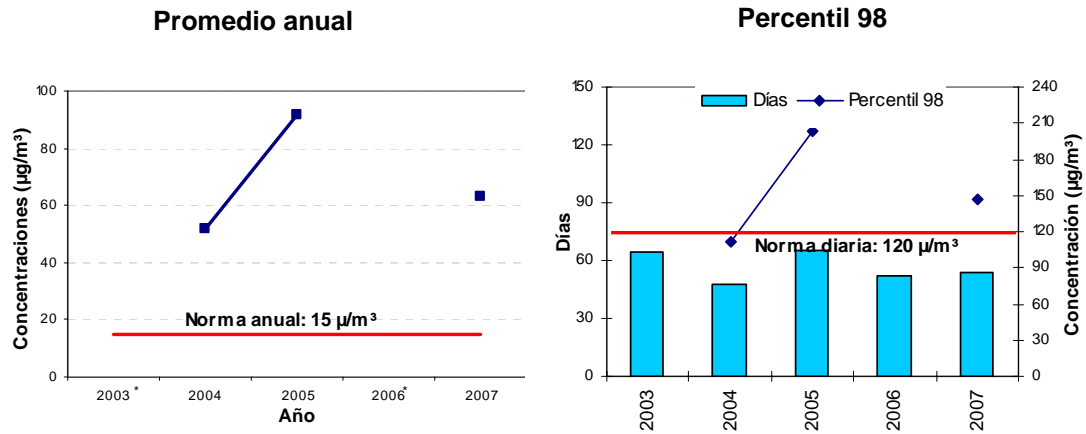


Figura 2.1 Promedio anual y percentil 98 de los muestreos manuales de PM_{10} en Mexicali, 1997-2007 (INE, 2008)

Asimismo, para las $\text{PM}_{2.5}$, que se miden con equipo automático en la estación UABC, se encontró que este contaminante en ese sitio de monitoreo no cumple con las normas anual ($15 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y diaria (percentil 98, $65 \mu\text{g}/\text{m}^3$) en los años 2004, 2005 y 2007, como se aprecia en la Figura 2.2, además supera en 21, 64, 231, 63 y 110 días el año el valor de la norma diaria en el periodo 2003 a 2007, respectivamente.



* En 2003 y 2006 no hay suficiente información para obtener los indicadores promedio anual y percentil 98 especificados en la NOM de partículas.

Figura 2.2 Promedio anual, número de días por arriba de la norma diaria (120 µg/m³) y percentil 98 de PM_{2.5} en la estación UABC de Mexicali, 2003-2007 (INE, 2008)

En relación con el CO, la Figura 2.3 muestra una tendencia decreciente del contaminante a partir de 1999 en los dos indicadores ilustrados y que en 2007 se cumplió incluso con el valor de la norma de calidad del aire (11 ppm en un promedio de 8 horas, una vez al año). Sin embargo, los valores registrados son todavía elevados.

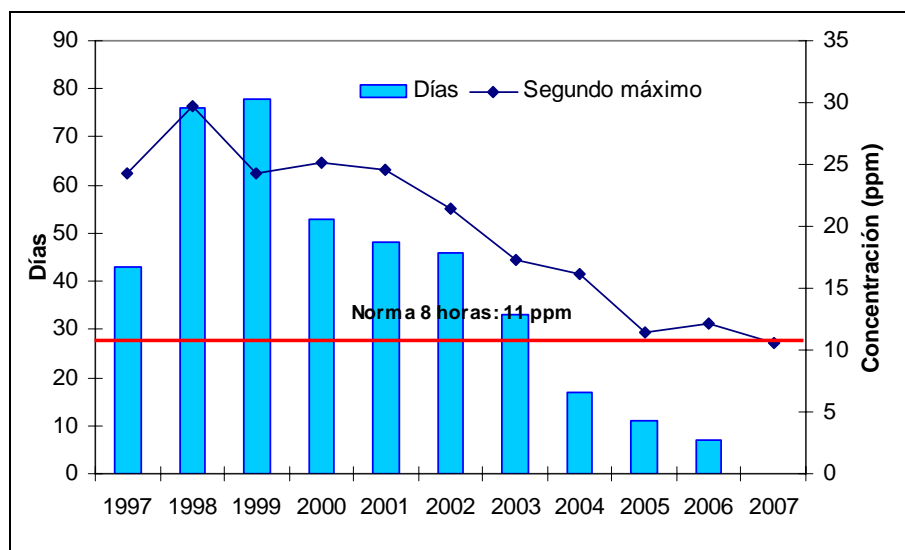


Figura 2.3 Segundo máximo de los promedios móviles de 8 horas y número de días por arriba del valor de la norma de 8 horas de CO (11 ppm) en Mexicali, 1997-2007 (INE, 2008)

Con respecto al O₃, en Mexicali para el periodo de análisis, no se cumple la norma horaria (0.11 ppm, 1 hora), ni la norma anual (0.08 ppm, 8 horas) como lo muestran las figuras 2.4 y 2.5.

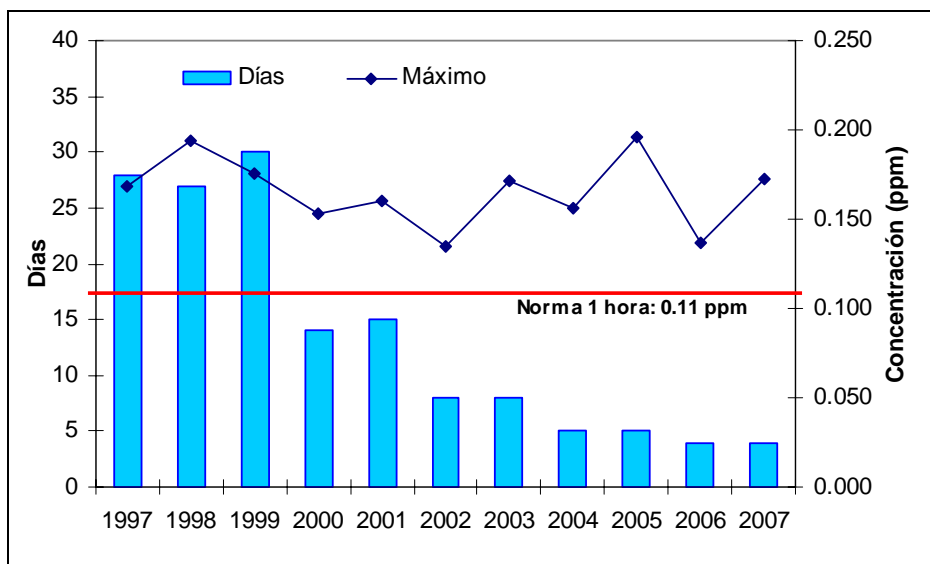


Figura 2.4 Concentración horaria máxima y número de días por arriba del valor de la norma horaria (0.11 ppm) de O₃ en Mexicali, 1997-2006 (INE, 2008)

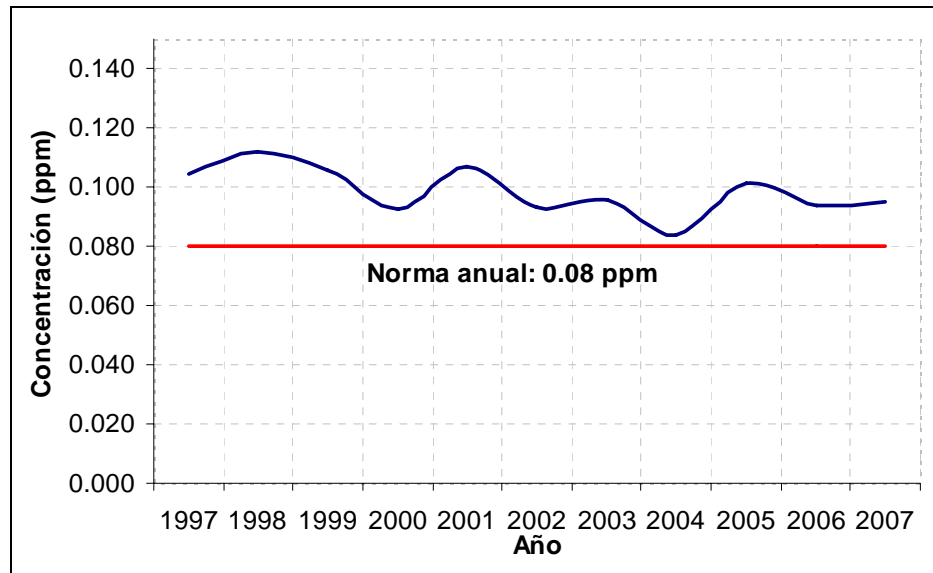


Figura 2.5 Quinto máximo de los promedios móviles de 8 horas de O₃ en Mexicali, de 1997-2007 (INE, 2008)**

El inventario de emisiones de Mexicali muestra que el sector transporte es el que más contribuye a las emisiones totales de CO, NO y HC, estos dos últimos precursores de la formación de ozono. En este sentido, las emisiones en Mexicali podrían asociarse con el alto porcentaje de la flota vehicular con tecnologías caducas; ya que se estima que más del 45% de los vehículos, de un total de aproximadamente 240 mil, tienen más de 15 años de edad (Ayuntamiento de Mexicali, 2008; GEBC *et al.*, 1999) y que más del 70% de las emisiones totales provienen de los vehículos con más de 10 años de edad (Tejada-Honstein *et al.*, 2005). Estas fuentes son normalmente responsables también de la emisión de óxidos de nitrógeno (NO_x) e hidrocarburos (HC), los cuales son precursores de ozono (Finlayson-Pitts, Pitts, 2000)

Sin embargo, en los inventarios de emisiones elaborados hasta ahora no se ha podido identificar la proporción de vehículos usados provenientes de

Estados Unidos y Canadá ni la contribución de éstos a las emisiones vehiculares en la zona.

b. Tijuana

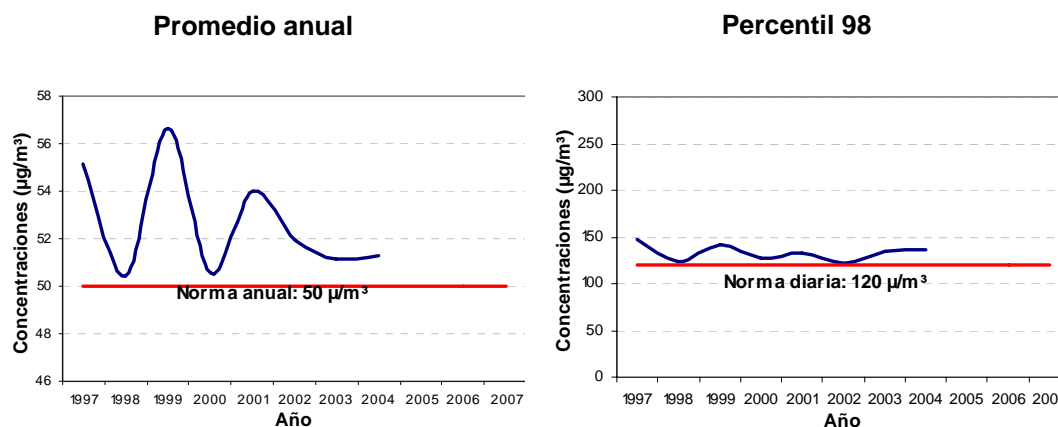
1. Situación geográfica

Tijuana está situada en el estado de Baja California, tiene una población de 1,286 187 habitantes (INEGI 2006b). Colinda al norte en 41 kilómetros con el condado de San Diego (California), al sur con los municipios de Playas de Rosarito y Ensenada, al este con el municipio de Tecate y al oeste con el Océano Pacífico. Aunque el municipio tiene una extensión de 1,239.49 kilómetros cuadrados, puede decirse que las áreas urbanas de Tijuana y San Diego son centros de una misma zona metropolitana dividida por la frontera internacional. En el lado mexicano se encuentra la mitad de la conurbación, que es conformada por Tijuana, Rosarito, y Tecate. San Diego, Chula Vista y Nacional City son las tres más pobladas de las numerosas comunidades que se encuentran al cruzar la frontera. El clima de Tijuana es de tipo mediterráneo; los inviernos son suaves y los veranos cálidos.

La economía de Tijuana esta principalmente asociada a los Estados Unidos debido a las maquiladoras (alrededor de 820 instaladas), y a la extensa, variada, y relativamente barata mano de obra disponible. La industria láctea, automotriz y del cemento son las principales instaladas en la ciudad, asimismo, la oferta de servicios y el turismo son importantes (H. Ayuntamiento de Tijuana, B.C. Mexico, 2008).

2. Calidad del aire

El análisis de la información proveniente de la red de monitoreo de Tijuana indica que, históricamente, en esta ciudad se presentan valores que rebasan los especificados en las normas de calidad de aire de PM_{10} se aprecia en la figura 2.6.



* De 2005 a 2007 no hay suficiente información para obtener los indicadores relacionados con la modificación de la NOM-025-SSA1-1993 de partículas.

Figura 2.6 Promedio anual y percentil 98 de los muestreos manuales de PM_{10} en Tijuana, 1997-2007 (INE, 2008)

De acuerdo con el inventario de emisiones de esta ciudad, la mayoría de las emisiones de PM_{10} provinieron de fuentes de área, y, específicamente, de caminos no pavimentados (60%) (GEBC *et al.*, 2000).

En lo que respecta al CO y el O_3 , si bien en Tijuana no se alcanzan concentraciones tan elevadas de estos contaminantes como en otras ciudades mexicanas (INE, 2007), en el caso del O_3 las concentraciones promedio de 8 horas y horarias máximas se encuentran muy cerca de los límites especificados en las normas de calidad del aire respectivas (figuras 2.7 a 2.9).

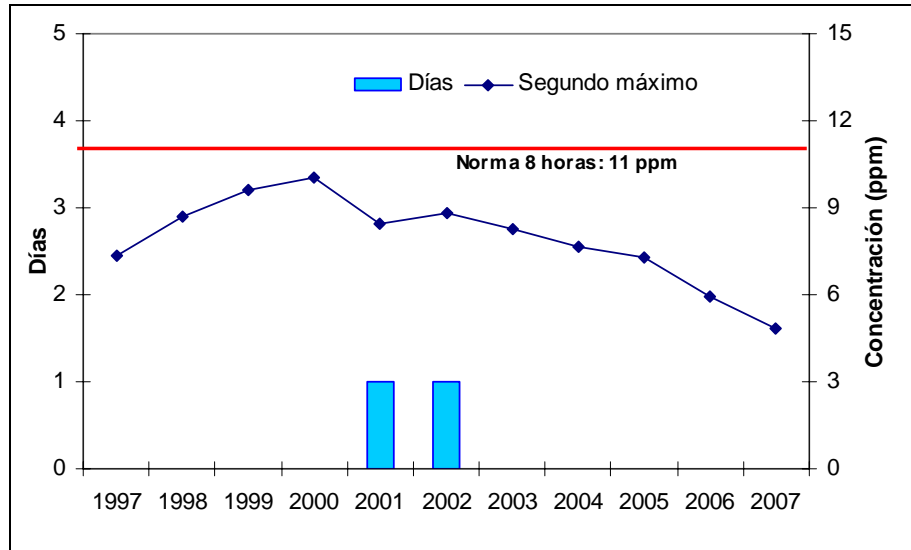


Figura 2.7 Segundo máximo de los promedios móviles de 8 horas y número de días por arriba del valor de la norma de 8 horas de CO (11 ppm) en Tijuana, 1997-2007 (INE, 2008)

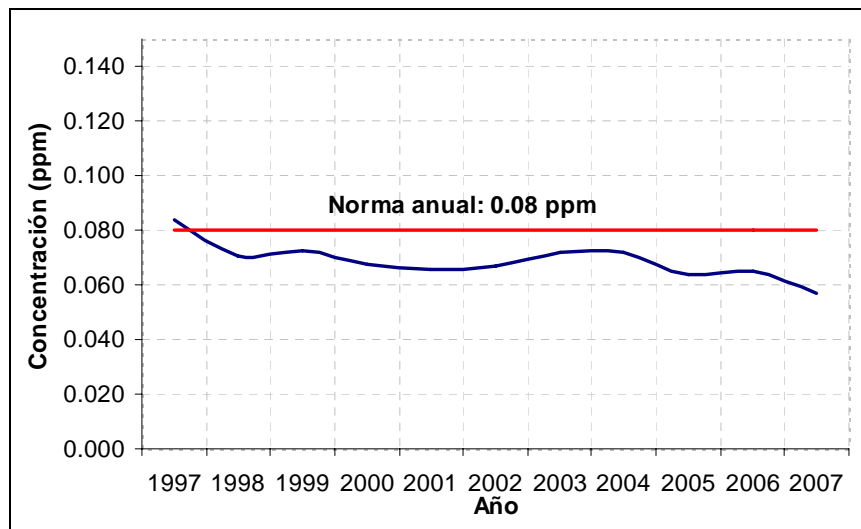


Figura 2.8 Quinto máximo de los promedios móviles de 8 horas de O₃ en Tijuana, de 1997-2007 (INE, 2008)**

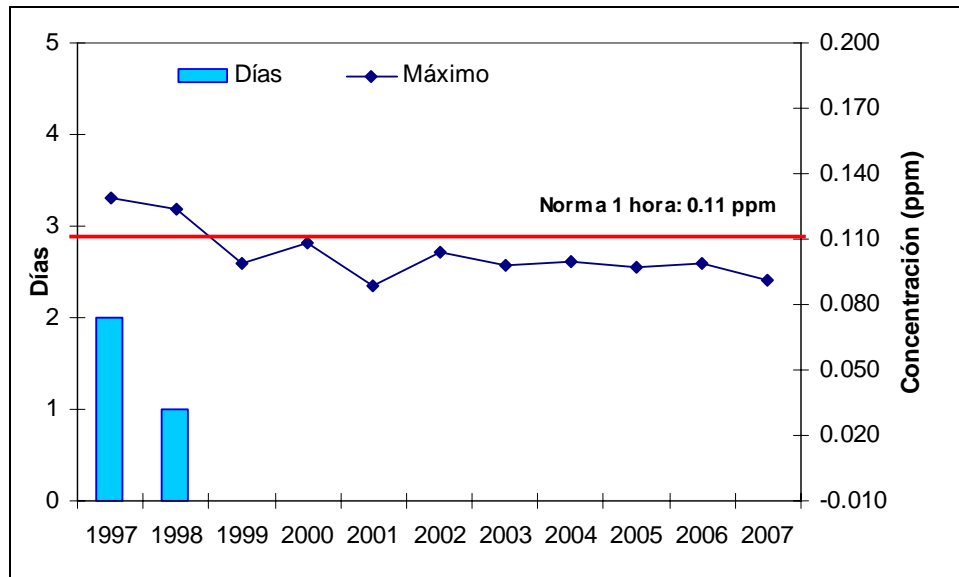


Figura 2.9 Concentración horaria máxima y número de días por arriba del valor de la norma horaria (0.11 ppm) de O₃ en Tijuana, 1997-2006 (INE, 2008)

La información de calidad del aire muestra que, a pesar de la ubicación de la ciudad en una zona costera, favorable para la dispersión de contaminantes, los niveles de ozono se encuentran muy cerca de los límites marcados en las normas. Esto puede indicar que, de aumentar las emisiones de los precursores de ozono en la región (principalmente los NO_x y los hidrocarburos reactivos, provenientes principalmente de los vehículos automotores), las concentraciones de este contaminante podrían aumentar hasta rebasar límites de las normas de calidad del aire correspondientes.

III. METODOLOGÍA

Los objetivos del estudio de campo en ambas ciudades fueron:

- a) Obtener información de la flota vehicular de Tijuana y Mexicali para determinar la proporción de autos de origen nacional y de origen extranjero que circulan en ellas, 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 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 Mexicali y Tijuana fue utilizado el sistema Accuscan 3000, propiedad del Gobierno del Distrito Federal. Mediante este equipo se obtienen mediciones de monóxido de carbono (CO), bióxido de carbono (CO₂), hidrocarburos (HC), óxido nítrico (NO).

Este equipo lanza un haz de luz infrarrojo a lo largo de una trayectoria de entre 4.5-8.5mts. 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 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 22.5km/h. 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 parte trasera de cada unidad con la intención de obtener una imagen de cada matrícula que permita obtener los datos particulares de los vehículos monitoreados (como año modelo, tipo, cilindraje, 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).

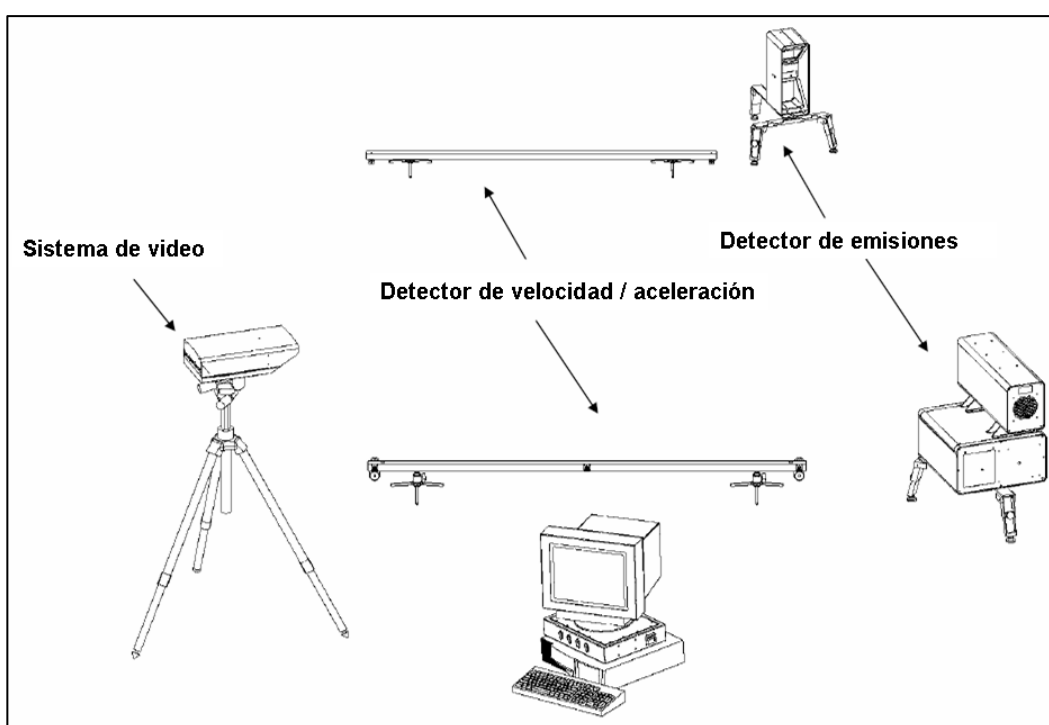


Figura 3.1 Elementos del equipo de detección remota: sistema de video, detector de velocidad /aceleración y detector de emisiones (RSR, 2005)

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. Duración

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 Mexicali se llevó a cabo del jueves 4 al miércoles 10 de octubre de 2007 y en Tijuana se realizó del jueves 11 al martes 16 de octubre de 2007. Las mediciones se realizaron de las 9:00 a las 14:00 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, considerando el alto porcentaje de vehículos sin placas detectados en estudios previos en ciudades fronterizas (CMM, 2006).

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 aforo vehicular, y el criterio de las autoridades locales. Asimismo, se realizó un recorrido previo al inicio de las mediciones, para asegurar la correcta selección de los puntos.

Los cuadros 3.1 y 3.2 presentan 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 el principal tipo de 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.

No.	Ubicación	Día de muestreo	Tipo de zona
1	AV. COLÓN (entre las calles J y K; avenida que conduce a la garita internacional Mexicali-Caléxico)	Jueves 4 de octubre	Comercios y servicios
2	AV. CETYS UNIVERSIDAD (enfrente del Montesori, a un lado del fraccionamiento San Pedro)	Viernes 5 de octubre	Comercial/ Habitacional
3	AV. FCO. L. MONTEJANO (atrás del hotel Araiza Inn; enfrente del MVS)	Sábado 6 de octubre	Comercial y servicios/ habitacional
4	BULEVAR ANÁHUAC (entre las avenidas Héctor Terán Terán y Laguna Xochimilco, frente a Villa Residencial)	Domingo 7 de octubre	Habitacional
5	AV. RÍO NUEVO (entre el Centro Estatal de las Artes y la avenida Independencia)	Lunes 8 de octubre	Comercial/ Habitacional
6	CALLE NOVENA	Martes 9 de octubre	Habitacional
7 *	AV. COLÓN (entre las calles J y K; avenida que conduce a la garita internacional Mexicali-Caléxico)	Miércoles 10 de octubre	Comercios y servicios

Cuadro 3.1 Ubicación de los sitios de muestreo en la Ciudad de Mexicali

No.	Ubicación	Día de muestreo	Tipo de zona
1	VÍA RÁPIDA PONIENTE (Frente a la Agencia de la Ford)	Jueves 11 de octubre	Comercial/ habitacional
2	BOULEVARD CASA BLANCA (Frente a la tienda La Ley)	Viernes 12 de octubre	Comercios y servicios
3	CAMINO AL AEROPUERTO (Frente al taller de mantenimiento de aviones del aeropuerto "Abelardo L. Rodríguez")	Sábado 13 de octubre	Comercial
4	VÍA RÁPIDA PONIENTE (Frente a la Agencia de la Ford)	Domingo 14 de octubre	Comercial/ habitacional
5	LIBRAMIENTO SUR (A un lado de la gasolinera "Jazhel")	Lunes 15 de octubre	Habitacional
6	PASEO ENSENADA EN PLAYAS DE TIJUANA (Frente a la tienda Waldo's Mart)	Martes 16 de octubre	Comercios y servicios

Cuadro 3.2 Ubicación de los sitios de muestreo en la Ciudad de Tijuana

4. Calibración del equipo y recolección de datos

El equipo fue calibrado todos los días, antes de iniciar las mediciones. Adicionalmente, debido a que así lo requiere el sistema, se calibró con el gas estándar cada 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 y NO_x, y junto con los registros de velocidad y aceleración del vehículo, que 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 de los vehículos de cada fotografía tomada para así asociarla con las emisiones medidas. En este proceso, se descartaron los datos no válidos, por tratarse de:

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

Control de calidad de la captura de la información

Con el fin de asegurar la correcta captura de las placas de los vehículos se siguió la siguiente metodología para determinar si existían errores

significativos en el proceso, y por lo tanto, si era necesario repetir la captura para un determinado día:

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

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

donde:

n es el tamaño de la muestra

$Z_{1-\frac{\alpha}{2}}$ es el percentil donde se acumula el $(1-\alpha/-\alpha/2)\%$ 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 es el porcentaje del número de placas capturadas en el día h .

s_h^2 es la varianza de los errores de captura de las placas de los vehículos en el día h .

d es el margen de error con respecto al verdadero valor de la media de los errores de captura.

α es el 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, tamaño de motor, etc.). Para tal efecto, se obtuvieron las bases de datos del registro vehicular del gobierno del estado de Baja California. Asimismo, las autoridades del estado de California proporcionaron la información de los vehículos con placas de ese estado encontrados en el estudio de Mexicali.

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.

A dicha base de datos se le aplicaron tanto 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 registradas. 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, camión ligero (Vagoneta, Pick-Up, etc.) y camión pesado (Autobús, ómnibus, microbús, volteo, etc.)
- **Antigüedad:** diferencia entre el último año modelo (2008) y el año modelo del vehículo
- **Número de cilindros del vehículo:** 4 ó menos, 5 ó más
- **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 3.2). 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 validar las mediciones, porque para el tratamiento estadístico de las mediciones de emisiones 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 (%) medida resultó menor a -1% o mayor a 21%, entonces las lecturas de todos los gases se consideraron no válidas.
- Si la concentración medida de HC (ppm, como propano) resultó menor a -1000ppm ó mayor a 40,000ppm, entonces se considera que la lectura de HC no es válida.
- Si la concentración medida de NO (ppm) resultó menor a -700ppm o mayor a 7000ppm, entonces se considera que la lectura de NO no es válida.

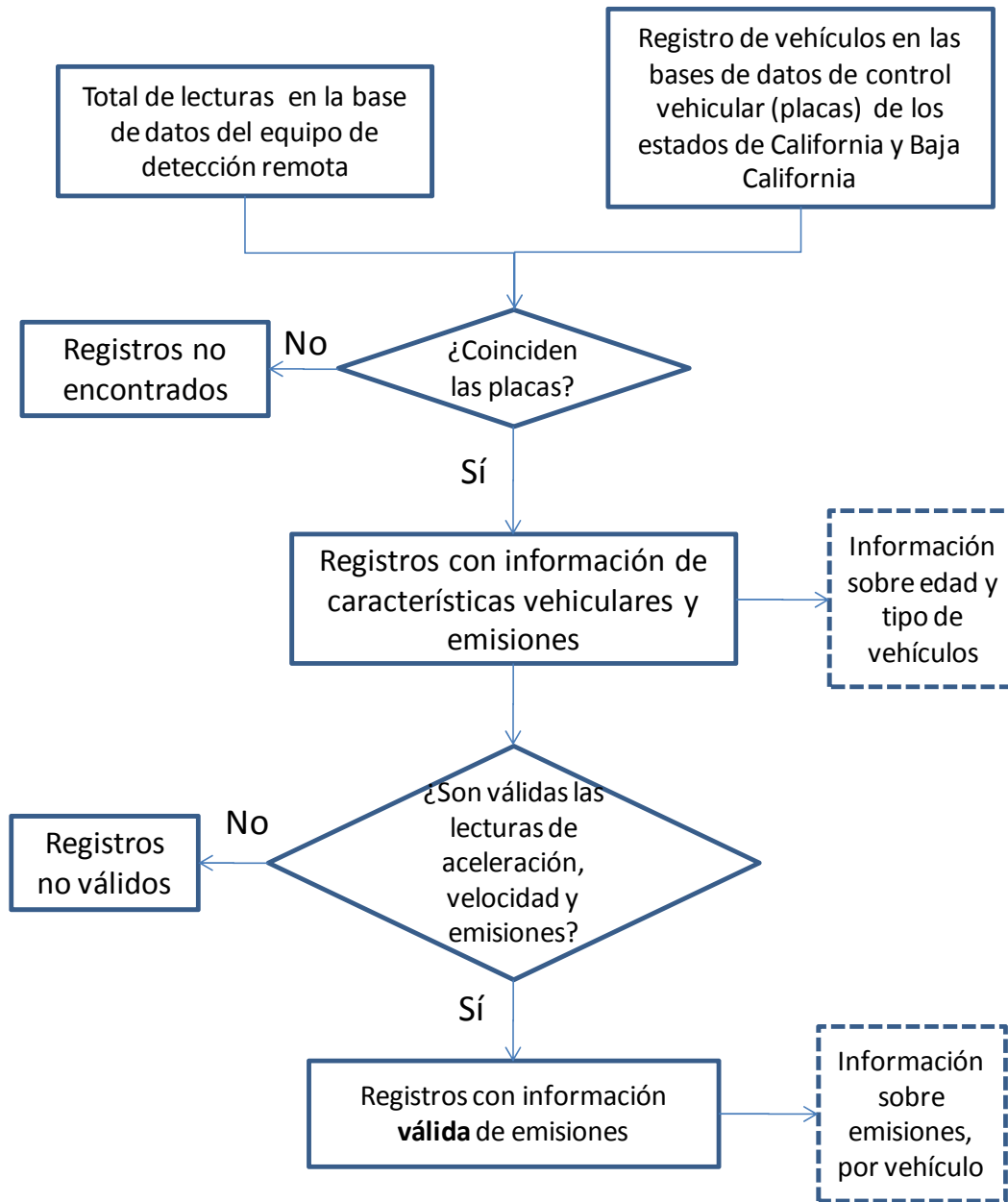


Figura 3.2 Diagrama de flujo para el procesamiento de la información proveniente del equipo de detección remota

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:

- Mediante la técnica estadística de análisis de conglomerados se agruparon los vehículos (con respecto a su año modelo) con características similares de emisiones. Esto permitió definir tres estratos de edad vehicular en cada ciudad, con el objeto de observar las diferencias existentes entre las emisiones de los vehículos con respecto a su edad tecnológica.
- Adicionalmente, se realizó otra agrupación, 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*.

Para cada uno de los casos anteriores se obtuvieron las estadísticas descriptivas de las emisiones de CO, CO₂, HC y NO (número de mediciones, mínimo, mediana, promedio, desviación estándar, percentil 95, percentil 98 y máximo), así como gráficas de caja (Boxplot). Las gráficas de caja resumen la distribución de los valores de las emisiones vehiculares y muestran el percentil 25, la mediana, el percentil 75, el rango inter-cuartil (percentil 75-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 “•” o “-” 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 a los más extremos. En este tipo de gráficos el 50% de los casos están dentro de la caja (figura 3.3).

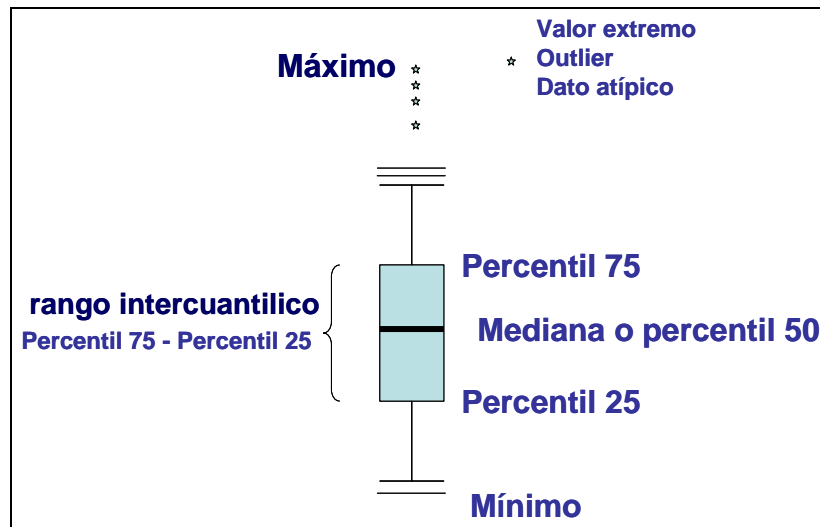


Figura 3.3 Descripción de la gráfica de caja

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 densidad de distribución 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 Mexicali y Tijuana 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.
- Es decir, si se realizara este estudio nuevamente en estas ciudades, cuál sería el intervalo donde se encontraría el valor promedio de emisiones, con un 95% de certidumbre.
- Cálculo de las probabilidades de que los valores de CO se encuentren por arriba del 2% de CO (vol) y 1000 ppm de HC. Otro aspecto importante de saber cómo se distribuyen los datos de las emisiones vehiculares radica en que se pueden determinar, a través de la distribución teórica, las probabilidades de que los valores de emisión excedan un cierto umbral y, con esas probabilidades, inferir cuál es el porcentaje del total de los datos que exceden los umbrales seleccionados. En el caso de las emisiones vehiculares de CO, el gobierno del estado de California en Estados Unidos utiliza los umbrales mencionados para detectar a los vehículos que muy

probablemente no cumplirían con los límites máximos permisibles establecidos en su programa de inspección/mantenimiento, aproximadamente equivalentes a los límites especificados en la normatividad mexicana para la verificación de emisiones de vehículos en circulación mediante el procedimiento de aceleración simulada (Wenzel et al, 2004; DOF, 2007).

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

Con el objeto de determinar la población total de vehículos en circulación en las ciudades de Mexicali y Tijuana 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 Baja California y se levantaron encuestas a usuarios de vehículos en la zona. A este respecto se llevaron a cabo las siguientes actividades.

- **Entrevistas** directas a mil conductores de vehículos en cada ciudad.
- **Conteo directo** para obtener una primera aproximación de la composición del parque vehicular que circula en cada ciudad por categoría de vehículo de acuerdo con su procedencia.
- **Recopilación de bases de datos de ventas** históricas de la industria automotriz en Mexicali para determinar la composición de la venta de vehículos nacionales que entró al parque vehicular.

Estas actividades se llevaron a cabo del 29 de noviembre al 3 de diciembre de 2007 en Mexicali y del 5 al 9 de diciembre de 2007 en Tijuana. 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 de cada ciudad donde se llevaron a cabo el conteo y la aplicación de las mil entrevistas se indican en el cuadro 3.3.

Mexicali	
Clave de ubicación	Dirección de la ubicación
1	Km. 7.5 Carretera Tijuana, Col. Progreso
2	Av. San Carlos No. 136, Col Bella Vista
3	Ind. Palaco 2298, Col González Ortega
4	Av. Zaragoza y Calle J, Col. Nueva
5	Carretera San Luís Km. 13.5, Col González Ortega
Tijuana	
Clave de ubicación	Dirección de la ubicación
1	Zona Río, Ignacio Zaragoza y Sánchez Taboada
2	Vía Rápida Oriente y Calle Tamayo, Col. Miner Santa Fe
3	Boulevard Industrial y Av. Carranza
4	Boulevard Casa Blanca
5	Libramiento Sur

Cuadro 3.3 Puntos seleccionados para la aplicación de encuestas

2. Recolección de datos

Se realizó el conteo directo durante cinco días en cada ciudad, 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 apéndices I y II.

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 trece días de medición se obtuvieron un total de 45,321 lecturas de emisiones vehiculares. Los cuadros 4.1 y 4.2 muestran la distribución del número de registros obtenidos por día de muestreo en cada ciudad.

MEXICALI			
No.	Ubicación	Día de muestreo	Placas capturadas por día
1	AV. COLÓN	Jueves 4 de octubre	4,035
2	AV. CETYS UNIVERSIDAD	Viernes 5 de octubre	3,504
3	AV. FCO. L. MONTEJANO	Sábado 6 de octubre	3,177
4	BULEVAR ANÁHUAC	Domingo 7 de octubre	3,408
5	AV. RÍO NUEVO	Lunes 8 de octubre	3,628
6	CALLE NOVENA	Martes 9 de octubre	3,605
7	AV. COLÓN	Miércoles 10 de octubre	4,012
TOTAL MEXICALI			25 369

Cuadro 4.1 Distribución del número de registros capturados por día de muestreo en Mexicali

TIJUANA

No.	Ubicación	Día de muestreo	Placas capturadas por día
1	VÍA RÁPIDA PONIENTE	Jueves 11 de octubre	5 010
2	BOULEVARD CASA BLANCA	Viernes 12 de octubre	3 928
3	CAMINO AL AEROPUERTO	Sábado 13 de octubre	2 436
4	VÍA RÁPIDA PONIENTE	Domingo 14 de octubre	1 481
5	LIBRAMIENTO SUR	Lunes 15 de octubre	5 091
6	PASEO ENSENADA EN PLAYAS DE TIJUANA	Martes 16 de octubre	2 006
7	Día no monitoreado por condiciones meteorológicas adversas (lluvia)	Miércoles 17 de octubre	-
TOTAL TIJUANA			19 952

Cuadro 4.2 Distribución del número de registros capturados por día de muestreo en Tijuana

Como puede observarse, se logró el objetivo de recopilar en promedio entre tres y cuatro mil mediciones por día. En Tijuana se obtuvo un número menor de mediciones debido principalmente a las condiciones meteorológicas.

Del total de registros obtenidos se descartaron aquéllos correspondientes a vehículos sin placas, o eran ilegibles o poco visibles. El cuadro 4.3 muestra el resumen de este proceso.

	Mexicali	Tijuana
Registros totales	25,369	19,952
Registros sin placas, ilegibles o poco visibles	8,459	10,430
Registros con placa capturada	16,910	9,522

Cuadro 4.3 Depuración de registros durante la captura

Para el control de calidad de la captura, se aplicó la fórmula descrita en la metodología. El cuadro 4.4 especifica los tamaños de muestra obtenidos para este proceso así como el porcentaje de error en la captura encontrado para cada muestra.

MEXICALI		
Día	Tamaño de muestra	% de error
04-Oct	351	4.84
05-Oct	305	1.96
06-Oct	280	5.35
07-Oct	297	2.35
08-Oct	316	6.66
09-Oct	314	4.77
10-Oct	349	2.57
Total	2212	$\hat{x} = 4.07$

TIJUANA		
Día	Tamaño de muestra	% de error
11-Oct	555	2.70
12-Oct	435	3.68
13-Oct	270	2.22
14-Oct	164	0.60
15-Oct	564	3.54
16-Oct	222	1.80
Total	2210	$\hat{x} = 2.42$

Cuadro 4.4 Tamaño de muestra y porcentaje de error en la captura por día de medición

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 Baja

California y de California, se obtuvieron tres grupos de datos, para cada ciudad:

- registros encontrados en la base de datos de registro vehicular del estado de Baja California,
- registros encontrados en la base de datos de registro vehicular del estado de California
- 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 4.5.

Grupo de datos	MEXICALI		TIJUANA	
	Número de registros	%	Número de registros	%
Registros encontrados en la base de datos de Baja California	14,570	57	9,522	47.72
Registros encontrados en la base de datos de California	2,340	9	2999	15.03
Registros sin información	8,459	33	7431	37.24
Total	25,369	100	19,952	100

Cuadro 4.5 Relación de los registros del equipo de detección remota

De estos tres grupos, se utilizaron los dos primeros (es decir, aquellos registros encontrados en las bases de datos de Baja California y California) para el análisis de la antigüedad del parque vehicular. Debido a que la base de datos de California no contaba con una descripción del tipo de vehículo, la información de esta base no se utilizó para la descripción de la flota con respecto a esta característica. Los resultados de la descripción de la flota con respecto a su antigüedad y características se muestran en la sección b.

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 California o Baja California aproximadamente el 56% y el 42% de los registros de Mexicali y Tijuana, respectivamente, pudieron efectivamente ser utilizados para los análisis posteriores. Del total de mediciones efectuadas, esta muestra representa aproximadamente 38% para Mexicali y 42% para Tijuana (figura 4.1). Este porcentaje es consistente con los porcentajes reportados en estudios similares (Unal, 2007).

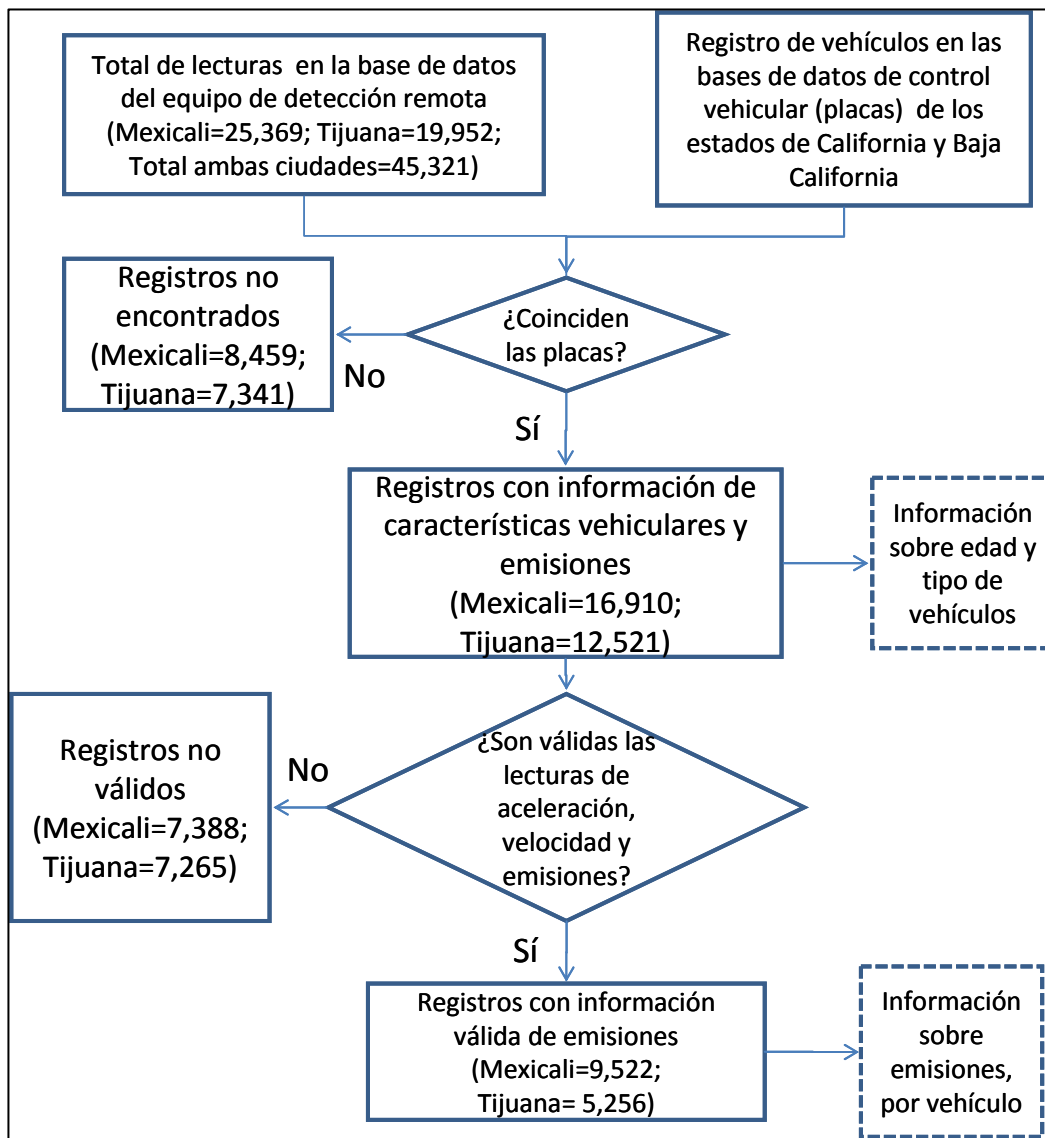


Figura 4.1 Resultado del procesamiento y validación de la información obtenida del equipo de detección remota

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

las ciudades de Mexicali y Tijuana. 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, como resultado del análisis de conglomerados se obtuvieron tres grandes grupos de vehículos, por año-modelo: 1980 y anteriores, 1981-1995 y 1996 y posteriores. Por lo tanto, también se analizó el comportamiento de las emisiones de acuerdo con esta agrupación.

En esta sección se muestra, para cada contaminante, un cuadro con las estadísticas descriptivas de las emisiones vehiculares (tamaño de muestra, mínimo, mediana, promedio, desviación estándar y valor máximo), gráficos de caja, gráficas con la mediana, promedio y percentil 95 para cada caso: dos y tres 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)

	Ciudad	1998 y anteriores	1999 y posteriores
Número de mediciones	Mexicali	5173	4349
	Tijuana	3335	1921
Mínimo	Mexicali	-0.2	-0.17
	Tijuana	-0.25	-0.15
Mediana	Mexicali	0.39	0.04
	Tijuana	0.38	0.05
Promedio	Mexicali	0.77	0.20
	Tijuana	0.86	0.25
Desviación estándar	Mexicali	1.40	0.51
	Tijuana	1.57	0.67
Máximo	Mexicali	12.57	8.43
	Tijuana	11.87	12.44

Cuadro 4.6 Estadísticas descriptivas de CO (%vol) para dos estratos vehiculares en Mexicali y Tijuana

Como puede observarse en el cuadro 4.6 y en las figuras 4.2 y 4.3, la mediana de las emisiones los vehículos de diez años o más de antigüedad es aproximadamente cuatro veces la mediana de las emisiones de los vehículos más recientes. En el caso del promedio, la relación es 3.5 a 1. Asimismo, pueden observarse menos valores extremos en los vehículos de menos de diez años. En lo que respecta a las diferencias entre las ciudades, puede observarse que las medianas son muy similares, pero el promedio y el percentil 95 son ligeramente mayores en Tijuana.

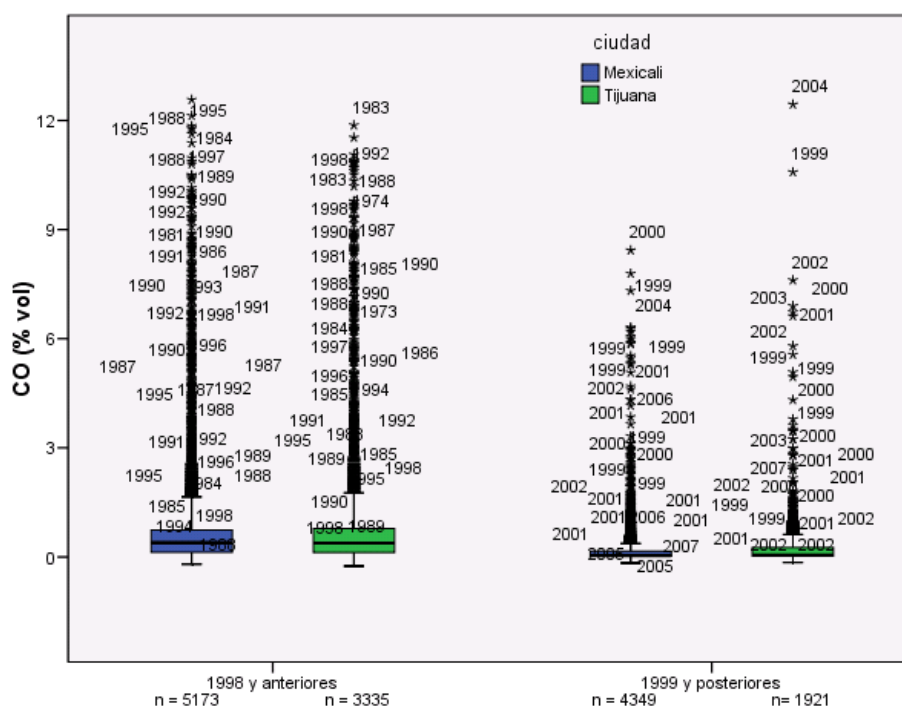


Figura 4.2 Distribución de las concentraciones de CO (% vol) para dos estratos vehiculares en Mexicali y Tijuana

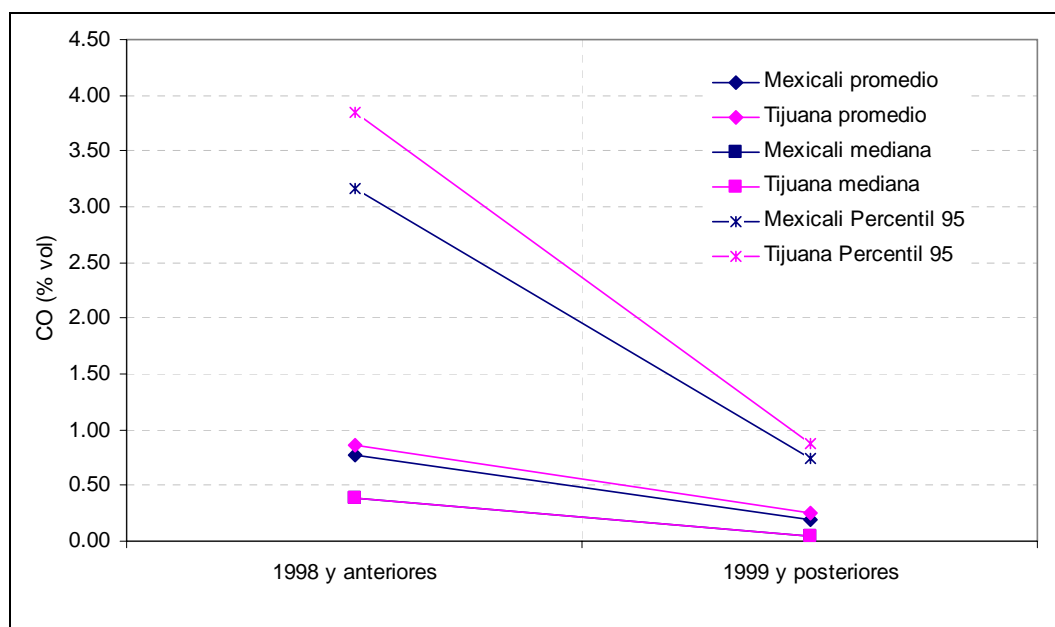


Figura 4.3 Mediana, promedio y percentil 95 de CO (% vol) para dos estratos vehiculares en Mexicali y Tijuana

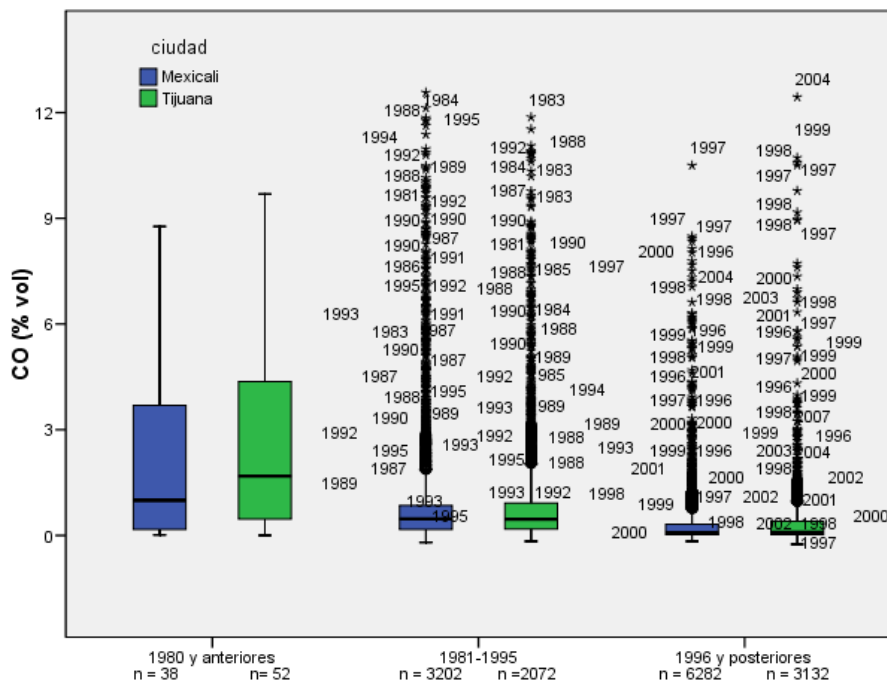
Tres estratos (agrupación de años-modelo por edad tecnológica aproximada)

El cuadro 4.7 presenta las estadísticas descriptivas de las mediciones de CO, al agrupar los vehículos en tres estratos.

	Ciudad	1980 y anteriores	1981-1995	1996 y posteriores
Número de mediciones	Mexicali	38	3202	6282
	Tijuana	52	2072	3132
Mínimo	Mexicali	0.01	-0.2	-0.17
	Tijuana	0	-0.17	-0.25
Mediana	Mexicali	1.00	0.47	0.07
	Tijuana	1.69	0.46	0.09
Promedio	Mexicali	2.25	0.94	0.28
	Tijuana	2.93	1.02	0.34
Desviación estándar	Mexicali	2.51	1.60	0.63
	Tijuana	2.85	1.73	0.81
Máximo	Mexicali	8.77	12.57	10.5
	Tijuana	9.69	11.87	12.44

Cuadro 4.7 Estadísticas descriptivas de CO (%vol) para tres estratos vehiculares en Mexicali y Tijuana

Es evidente que las medianas de las emisiones de los tres grupos varían significativamente, ya que la mediana de las emisiones del estrato más reciente (1996 y posteriores) es aproximadamente 85% menor que la mediana de las emisiones del estrato anterior (1981-1995) en ambas ciudades. Asimismo, como puede apreciarse en el cuadro 4.7 y en las figuras 4.4 y 4.5, el promedio de las emisiones del segundo estrato es tres veces el promedio de las emisiones medidas en los vehículos del estrato más reciente. Sin embargo, cabe señalar que los valores máximos en los dos estratos más recientes son más altos que los valores máximos registrados por el estrato más antiguo, aunque el tamaño de muestra de este último es demasiado pequeño como para poder hacer una comparación muy robusta.



Al igual que en el análisis anterior, las emisiones de los vehículos en ambas ciudades presentan un comportamiento muy similar.

Figura 4.4 Distribución de las concentraciones de CO (% vol) para tres estratos vehiculares en Mexicali y Tijuana

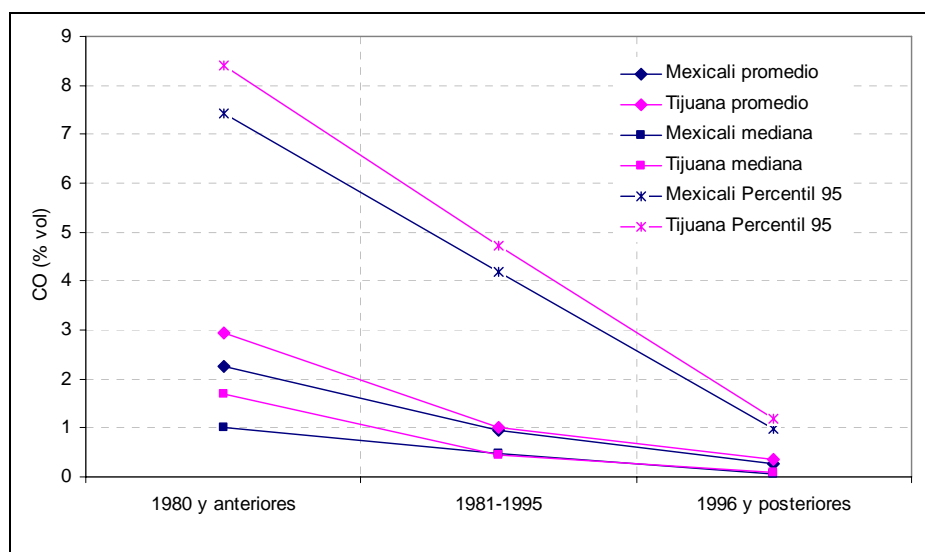


Figura 4.5 Mediana, promedio y percentil 95 de CO (% vol) para tres estratos vehiculares en Mexicali y Tijuana

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 4.8.

	Ciudad	1998 y anteriores	1999 y posteriores
Número de mediciones	Mexicali	5173	4349
	Tijuana	3335	1921
Mínimo	Mexicali	6.03	9.01
	Tijuana	6.54	6.12
Mediana	Mexicali	14.71	15.02
	Tijuana	14.73	15.01
Promedio	Mexicali	14.45	14.90
	Tijuana	14.40	14.87
Desviación estándar	Mexicali	1.00	0.37
	Tijuana	1.13	0.49
Máximo	Mexicali	15.12	15.18
	Tijuana	15.22	15.16

Cuadro 4.8 Estadísticas descriptivas de CO₂ (%vol) para dos estratos vehiculares en Mexicali y Tijuana

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. Si bien la diferencia entre las medianas y los promedios s medianas no es muy notoria, si es de notarse la diferencia en la distribución de las concentraciones medidas, puesto que el estrato más antiguo presenta una dispersión mayor de valores, mientras que la del más reciente se muestra más compacta. Asimismo, puede apreciarse un mayor número de valores extremos y más bajos en el caso del estrato de diez años o más de antigüedad con respecto al estrato más reciente.

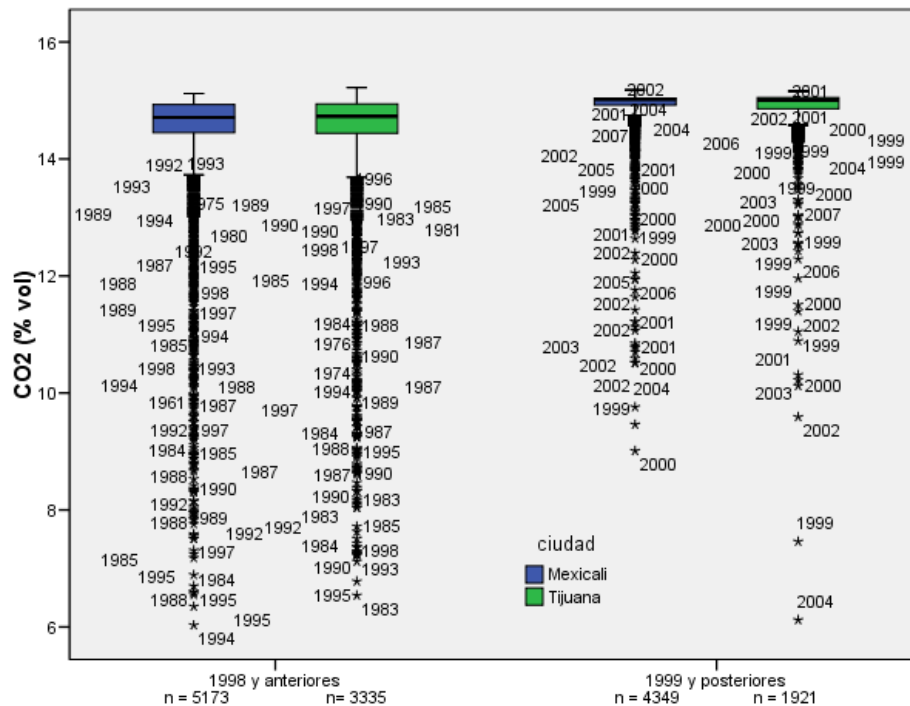


Figura 4.6 Distribución de las concentraciones de CO₂ (% vol) para dos estratos vehiculares en Mexicali y Tijuana

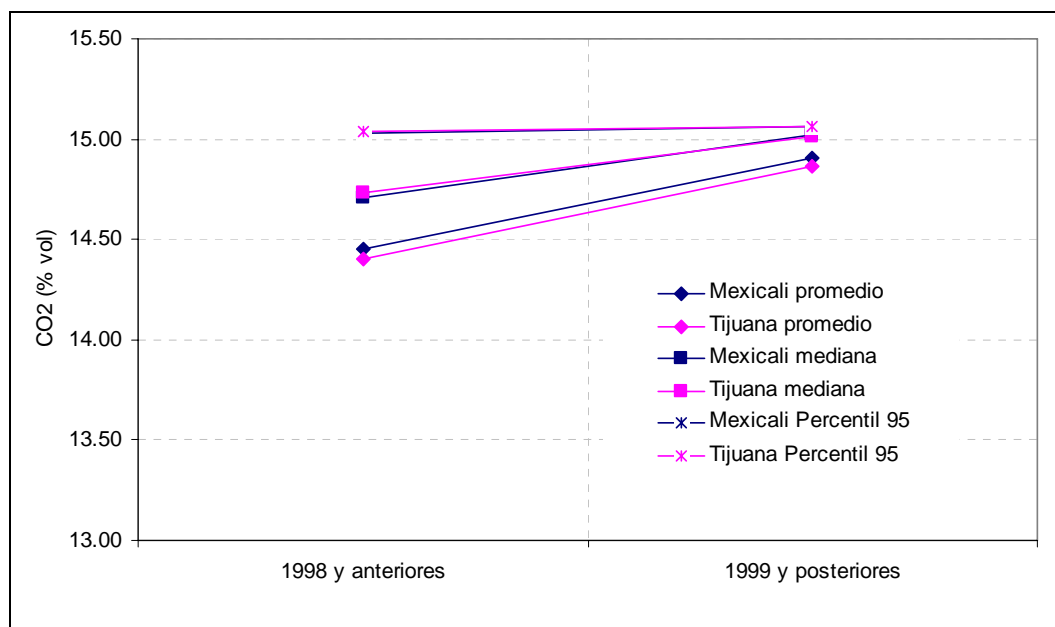


Figura 4.7 Mediana, promedio y percentil 95 de CO₂ (% vol) para dos estratos vehiculares en Mexicali y Tijuana

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

El cuadro 4.9 presenta las estadísticas descriptivas de las mediciones de CO₂, al agrupar los vehículos en tres estratos.

	Ciudad	1980 y anteriores	1981-1995	1996 y posteriores
Número de mediciones	Mexicali	38	3202	6282
	Tijuana	52	2072	3132
Mínimo	Mexicali	8.76	6.03	7.51
	Tijuana	8.09	6.54	6.12
Mediana	Mexicali	14.27	14.65	14.99
	Tijuana	13.82	14.67	14.98
Promedio	Mexicali	13.40	14.33	14.84
	Tijuana	12.92	14.28	14.79
Desviación estándar	Mexicali	1.79	1.14	0.46
	Tijuana	2.03	1.24	0.59
Máximo	Mexicali	15.06	15.12	15.18
	Tijuana	15.06	15.15	15.22

Cuadro 4.9 Estadísticas descriptivas de CO₂ (%vol) para tres estratos vehiculares en Mexicali y Tijuana

En este caso particular, las medianas de ambos estratos son muy similares, lo que no permite establecer a simple vista, si la diferencia es significativa. Lo mismo ocurre con los promedios, a excepción del primer estrato cuyo promedio de concentración es menos parecido al de los otros dos estratos. Sin embargo, sí es apreciable una diferencia en la dispersión de datos entre cada estrato, que indica que en el segundo estrato (1981 a 1995) se presentaron un mayor número de valores extremos y de valores bajos (indicativos de mala combustión) que en el estrato más reciente (ver figuras 4.8 y 4.9).

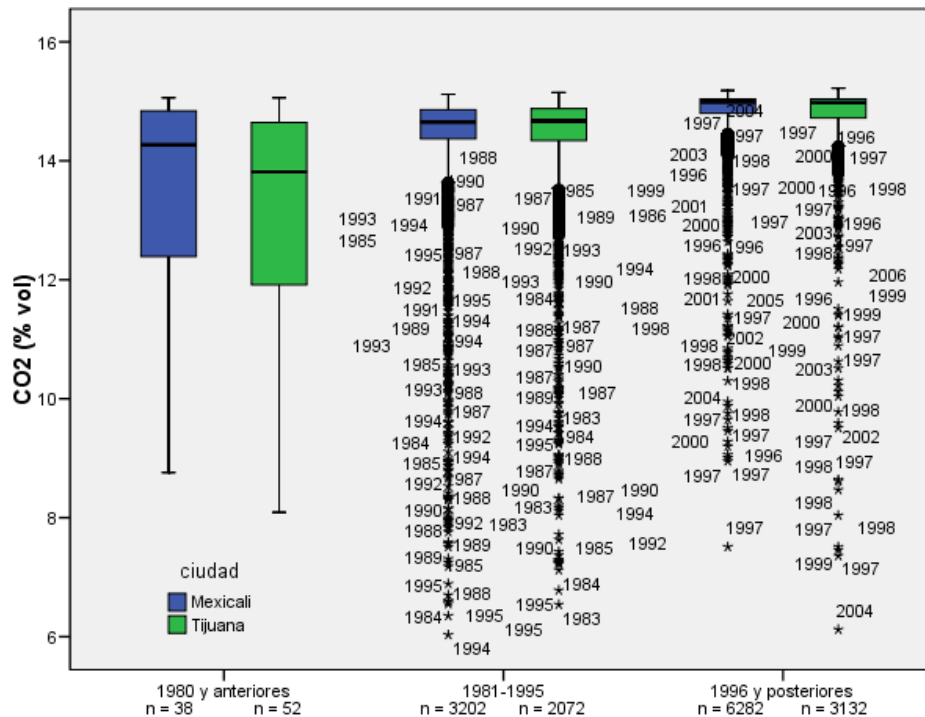


Figura 4.8 Distribución de las concentraciones de CO₂ (% vol) para tres estratos vehiculares en Mexicali y Tijuana

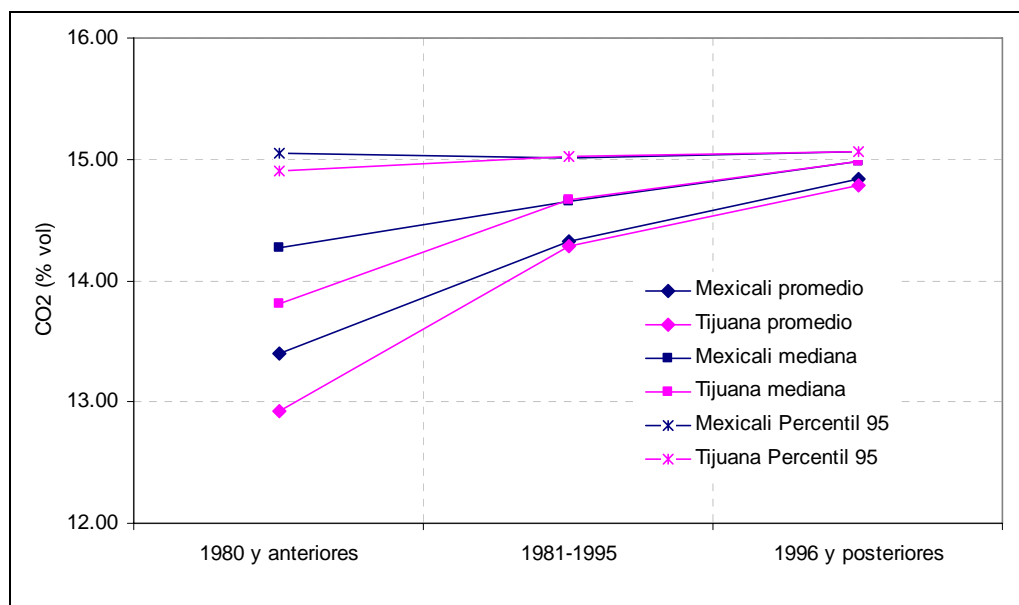


Figura 4.9 Mediana, promedio y percentil 95 de CO2 (% vol) para tres estratos vehiculares en Mexicali y Tijuana

Hidrocarburos (HC)

El cuadro 4.10 presenta las estadísticas descriptivas de las mediciones de HC, al agrupar los vehículos en dos estratos de antigüedad vehicular. Los valores encontrados indican que, en ambas ciudades, la mediana de las emisiones de los vehículos de nueve años o menos de antigüedad es un orden de magnitud más pequeña que la mediana del grupo de vehículos de 10 años o más de edad. Asimismo, el promedio de emisiones de HC de los vehículos más antiguos es aproximadamente cinco veces el promedio de las emisiones de los más recientes.

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

	Ciudad	1998 y anteriores	1999 y posteriores
Número de mediciones	Mexicali	5173	4349
	Tijuana	3335	1921
Mínimo	Mexicali	-139	-85
	Tijuana	-118	-91
Mediana	Mexicali	122	17

	Tijuana	109	14
Promedio	Mexicali	160	36
	Tijuana	142	35
Desviación estándar	Mexicali	169	78
	Tijuana	219	73
Máximo	Mexicali	2487	2672
	Tijuana	9148	1395

Cuadro 4.10 Estadísticas descriptivas de HC (ppm) para dos estratos vehiculares en Mexicali y Tijuana

Ahora bien, en las figuras 4.10 y 4.11 se aprecia que las distribuciones de los datos son relativamente compactas, aunque sí se presentan valores extremos en ambos casos. Sin embargo, en el estrato más antiguo, se presentan valores más altos con más frecuencia que en el estrato de menor edad.

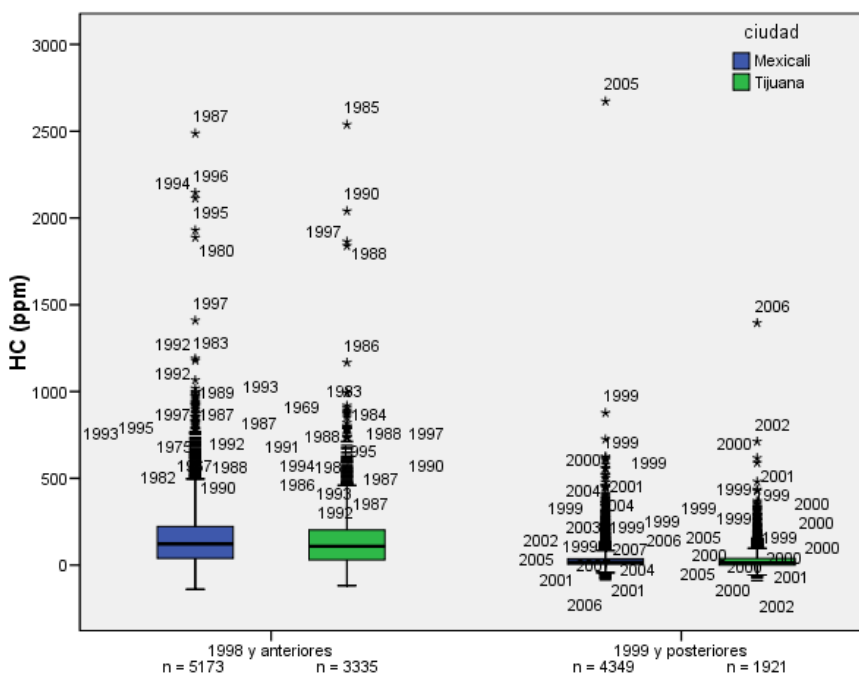


Figura 4.10 Distribución de las concentraciones de HC (ppm) para dos estratos vehiculares en Mexicali y Tijuana

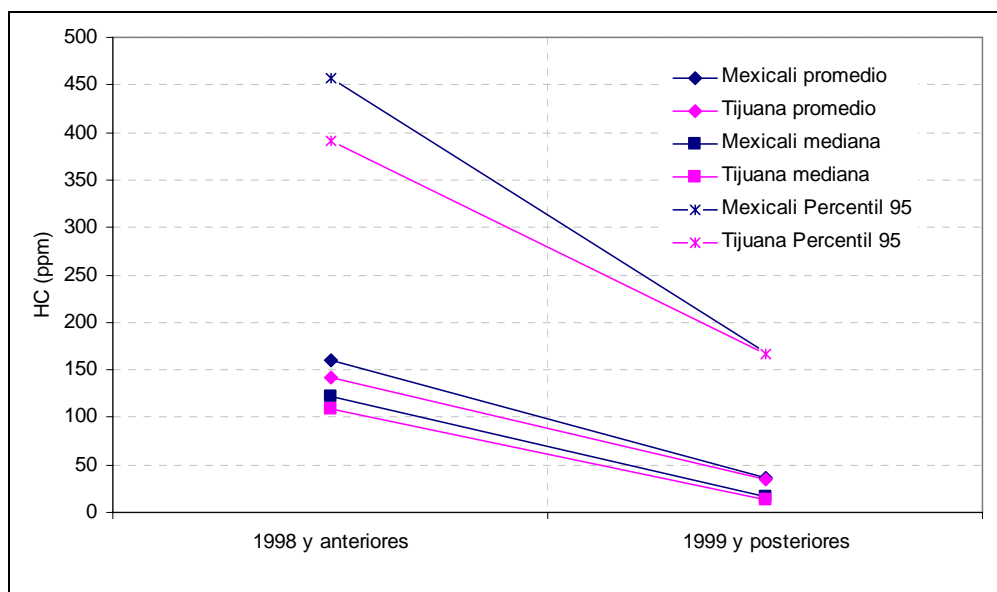


Figura 4.11 Mediana, promedio y percentil 95 de HC (ppm) para dos estratos vehiculares en Mexicali y Tijuana

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

Las estadísticas descriptivas de las mediciones de emisiones de HC, con la agrupación en tres estratos de edad vehicular se muestran en el cuadro 4.11.

	Ciudad	1980 y anteriores	1981-1995	1996 y posteriores
Número de mediciones	Mexicali	38	3202	6282
	Tijuana	52	2072	3132
Mínimo	Mexicali	0	-139	-121
	Tijuana	-48	-103	-118
Mediana	Mexicali	307	160	23
	Tijuana	201	142	20
Promedio	Mexicali	367	196	55
	Tijuana	254	168	57
Desviación estándar	Mexicali	339	177	99
	Tijuana	192	163	188
Máximo	Mexicali	1887	2487	2672
	Tijuana	788	2538	9148

Cuadro 4.11 Estadísticas descriptivas de HC (ppm) para tres estratos vehiculares en Mexicali y Tijuana

En ambas ciudades se muestra claramente una reducción progresiva de las medianas de las mediciones entre el estrato más antiguo y el más reciente. Asimismo, los promedios de las mediciones también se reducen significativamente conforme se reduce la edad vehicular. En específico, las mediciones indican que los vehículos año-modelo 1996 y posteriores presentaron, en promedio, emisiones cuatro veces menores que las de aquellos año-modelo 1981 a 1995 y 7 veces menores que las del estrato más antiguo. En el caso de la mediana, este comportamiento es similar aunque la diferencia entre los dos estratos más recientes es mayor ya que las emisiones del estrato de vehículos año-modelo 1981 a 1995 son casi 8 veces las emisiones del estrato más reciente.

Ahora bien, las figuras 4.12 y 4.13 muestran que, si bien los valores de tendencia central de las distribuciones de concentración son más bajos para los vehículos más recientes, en éstos también se presentan un gran número de valores extremos.

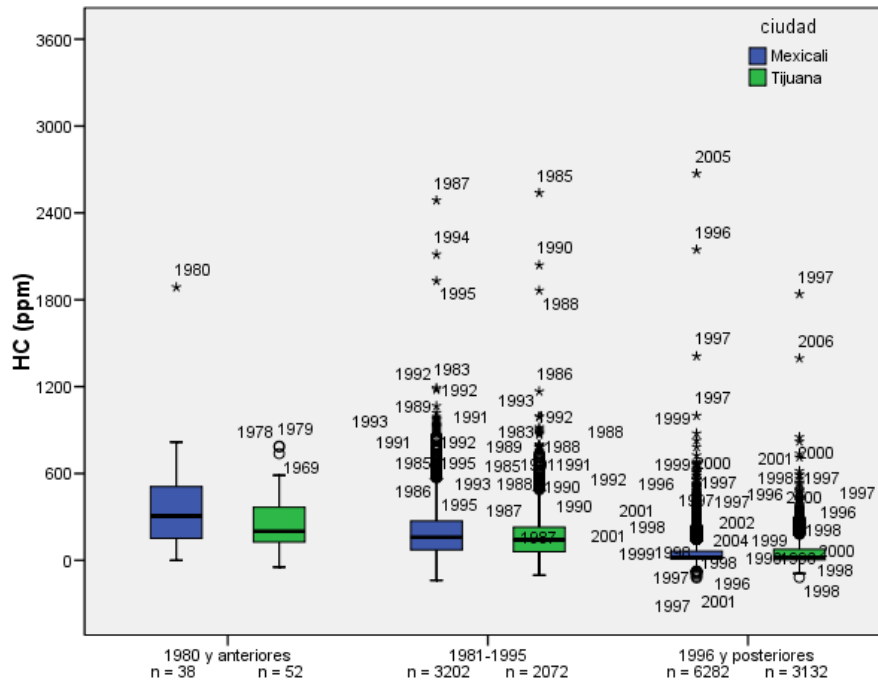


Figura 4.12 Distribución de las concentraciones de HC (ppm) para tres estratos vehiculares en Mexicali y Tijuana

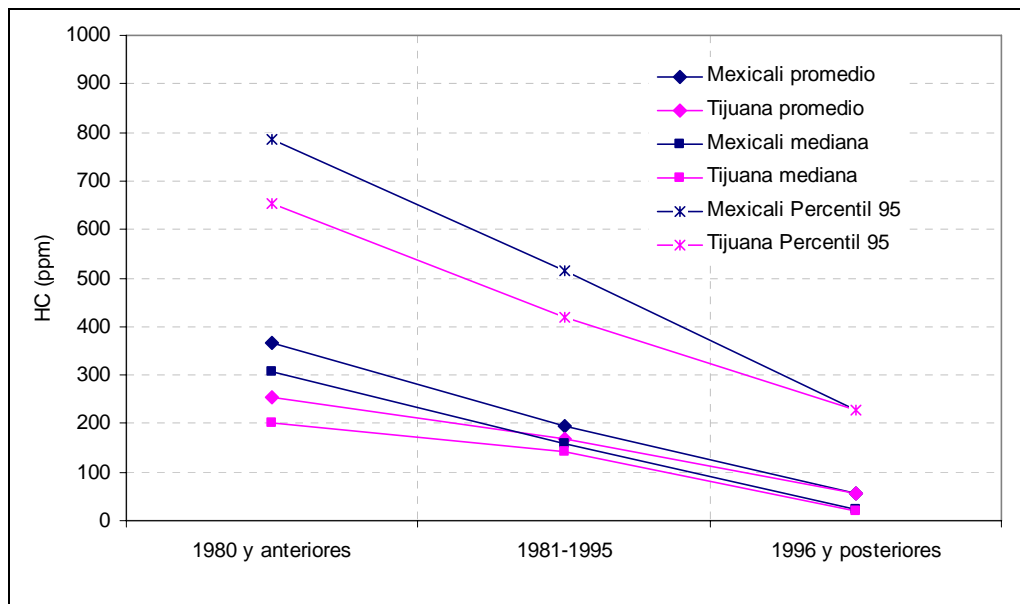


Figura 4.13 Mediana, promedio y percentil 95 de HC (ppm) para tres estratos vehiculares en Mexicali y Tijuana

Óxido nítrico (NO)

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

En el cuadro 4.12 se detallan las estadísticas descriptivas obtenidas para las mediciones de NO, de acuerdo con la agrupación en dos estratos de antigüedad.

	Ciudad	1998 y anteriores	1999 y posteriores
Número de mediciones	Mexicali	5173	4349
	Tijuana	3335	1921
Mínimo	Mexicali	-249	-248
	Tijuana	-247	-249
Mediana	Mexicali	1143	114
	Tijuana	818	125
Promedio	Mexicali	1404.13	407.28
	Tijuana	1073	402
Desviación estándar	Mexicali	1208.18	774.88
	Tijuana	953	675
Máximo	Mexicali	6826	6737
	Tijuana	6496	3981

Cuadro 4.12 Estadísticas descriptivas de NO (ppm) para dos estratos vehiculares en Mexicali y Tijuana

En este caso, de manera similar al caso de los hidrocarburos, se observa que la diferencia entre las medianas es de un orden de magnitud. En el caso del promedio, esta diferencia es de aproximadamente de 70%, siendo mayores las emisiones promedio del estrato vehicular más antiguo. De acuerdo con estos datos, la ciudad de Tijuana presenta valores de mediana y promedio de emisiones ligeramente inferiores a los de Mexicali, pero sin llegar a ser significativos

Al observar gráficamente la distribución de los datos (figuras 4.14 y 4.15), puede observarse esta diferencia entre las medianas. Asimismo, cabe notar que se presentaron un gran número de valores extremos en el estrato más

reciente, a pesar de que la mayoría de los datos se concentra en valores más bajos que los observados en el estrato más antiguo.

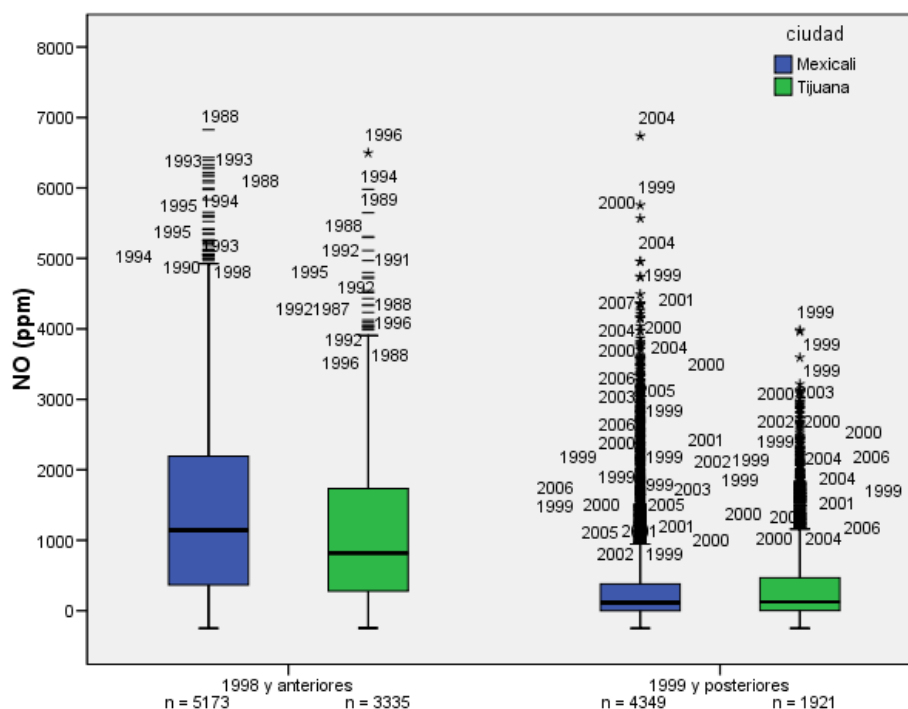


Figura 4.14 Distribución de las concentraciones de NO (ppm) para dos estratos vehiculares en Mexicali y Tijuana

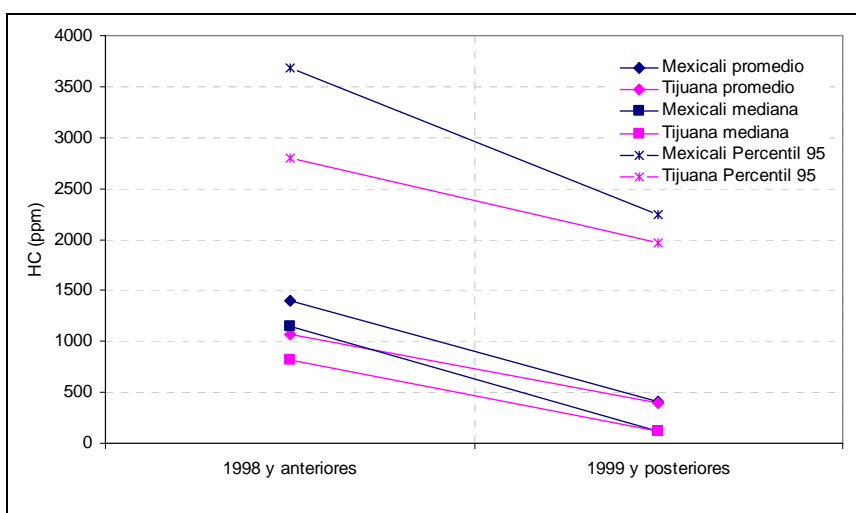


Figura 4.15 Mediana, promedio y percentil 95 de NO (ppm) para dos estratos vehiculares en Mexicali y Tijuana

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

El cuadro 4.13 muestra las estadísticas descriptivas para el análisis de las mediciones, agrupadas con respecto a tres estratos de antigüedad vehicular.

	Ciudad	1980 y anteriores	1981-1995	1996 y posteriores
Número de mediciones	Mexicali	38	3202	6282
	Tijuana	52	2072	3132
Mínimo	Mexicali	-209	-249	-249
	Tijuana	-216	-242	-249
Mediana	Mexicali	694	1487	191
	Tijuana	597	1049	226
Promedio	Mexicali	1090	1623	604
	Tijuana	893	1215	571
Desviación estándar	Mexicali	1037	1229	930
	Tijuana	810	964	794
Máximo	Mexicali	4081	6826	6737
	Tijuana	2990	5982	6496

Cuadro 4.13 Estadísticas descriptivas de NO (ppm) para tres estratos en Mexicali y Tijuana

En este caso se observa un ligero incremento en el valor de la mediana entre el estrato más antiguo (1980 y anteriores) y el que le sigue (1981 a 1995). Sin embargo, como se comentó con anterioridad, el tamaño de la muestra del primer estrato es demasiado pequeño, por lo que sugiere una mayor incertidumbre en el cálculo de estas estadísticas que en el caso de los otros dos estratos, para los cuales el tamaño de muestra es mucho mayor. Ahora bien, como puede observarse en el cuadro 4.13 y las figuras 4.16 y 4.17 la diferencia entre los dos estratos más recientes es considerable, puesto que las medianas son entre 4.6 y 7.8 veces más altas para el estrato de vehículos año-modelo 1981 a 1995 que para el grupo de vehículos más reciente. En el caso del promedio, las emisiones de los vehículos año-modelo 1981 a 1995 son de dos a tres veces las emisiones de los más recientes. Sin embargo, en el estrato más reciente se presentan también valores extremos, aunque los datos se concentran en valores más bajos.

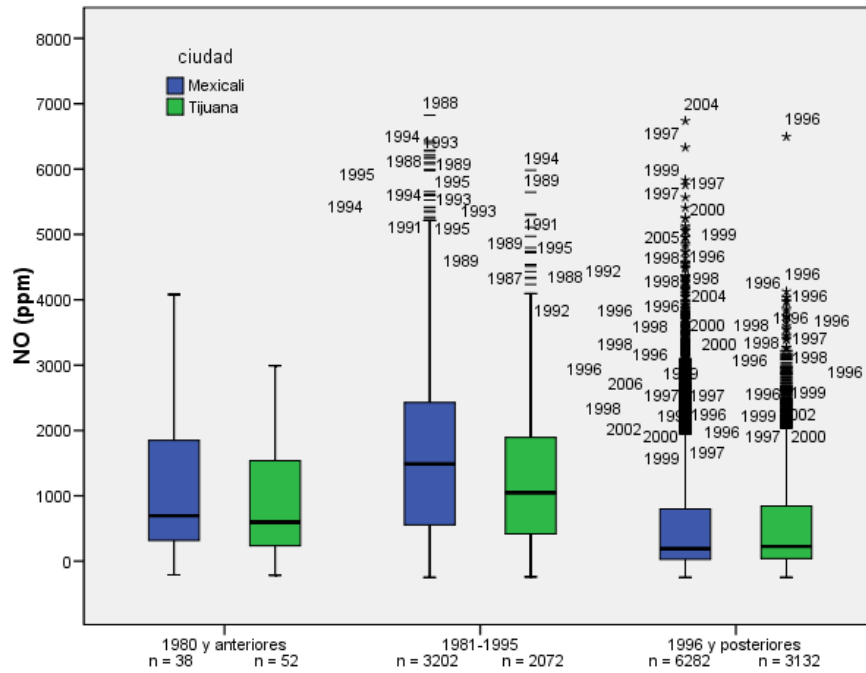


Figura 4.16 Distribución de las concentraciones de NO (ppm) para tres estratos en Mexicali y Tijuana

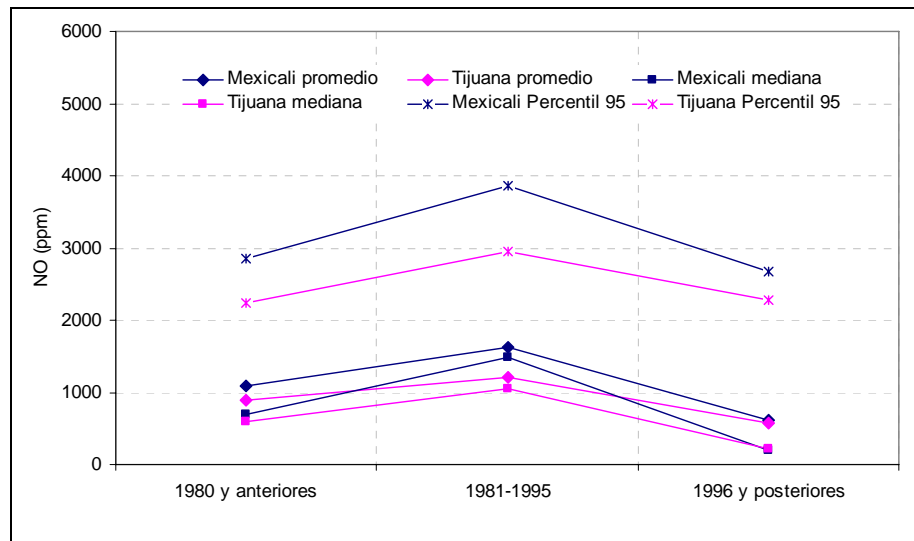


Figura 4.17 Mediana, promedio y percentil 95 de NO (ppm) para tres estratos vehiculares en Mexicali y Tijuana

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 Mexicali y Tijuana. 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)

Los intervalos de confianza al 95% para las mediciones de CO en ambas ciudades se presentan en la figura 4.18. Como puede observarse, en promedio las mediciones de emisiones en Tijuana son aproximadamente 30% mayores que las registradas en Mexicali. Esto puede explicarse debido a que en Tijuana el 60% de los vehículos son de 10 años o más de antigüedad, mientras que en Mexicali esta proporción es sólo de alrededor de 54%. Ahora bien, los resultados de este análisis arrojaron intervalos muy pequeños, lo que indica que hay poca incertidumbre sobre el valor promedio verdadero de los vehículos que circulan en ambas ciudades.

	Mexicali	Tijuana
Límite Inferior	0.49608	0.62498
Media	0.52436	0.67564
Límite Superior	0.55339	0.72824

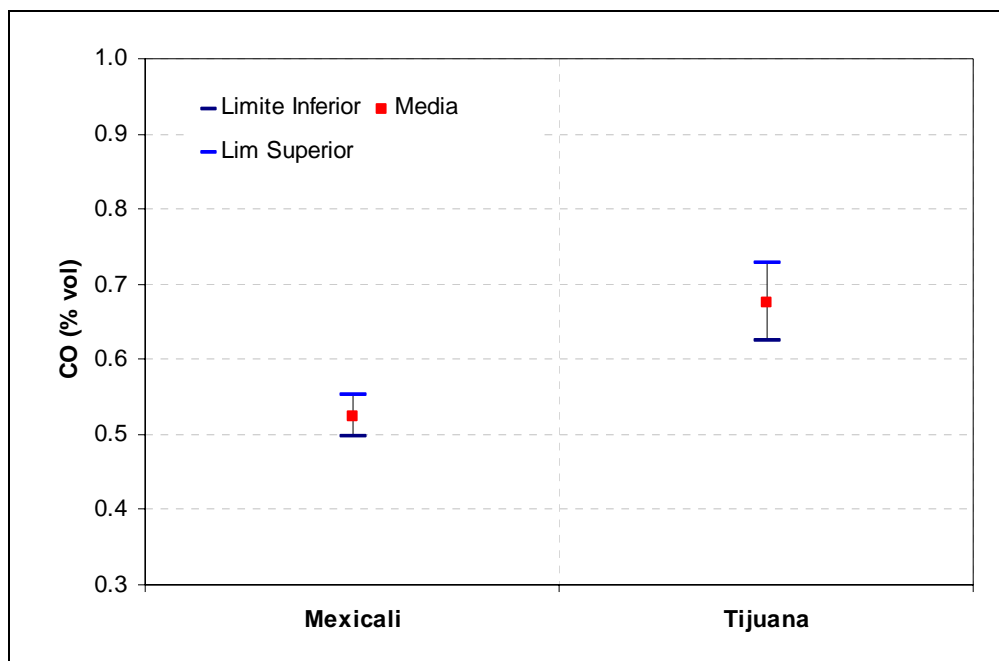


Figura 4.18 Intervalo de confianza al 95% para el promedio de CO (%vol) suponiendo que los valores siguen una distribución Gamma

En lo que respecta al cálculo del porcentaje de vehículos en cada ciudad que excederían el umbral del 2% de CO, el cuadro 4.14 muestra las probabilidades para cada ciudad.

	Mexicali $\alpha = 0.2125$ $\beta = 2.4673$	Tijuana $\alpha = 0.2408$ $\beta = 2.8056$
Probabilidad	0.0756	0.1019

Cuadro 4.14 Probabilidades de que las mediciones de CO estén por arriba del 2 % vol en Mexicali y Tijuana

Esto quiere decir que, a partir del muestreo realizado en Mexicali, puede inferirse que aproximadamente el 7.56% de los vehículos que circulan en esta ciudad rebasarían el umbral de 2% vol y, muy probablemente, no

aprobarían la prueba de aceleración simulada. En el caso de Tijuana, el porcentaje de vehículos cuyas emisiones rebasarían este umbral se estimó en 10.19%.

En la figura 4.19 pueden observarse los datos que rebasan el umbral del 2% dentro de la muestra tomada para cada ciudad.

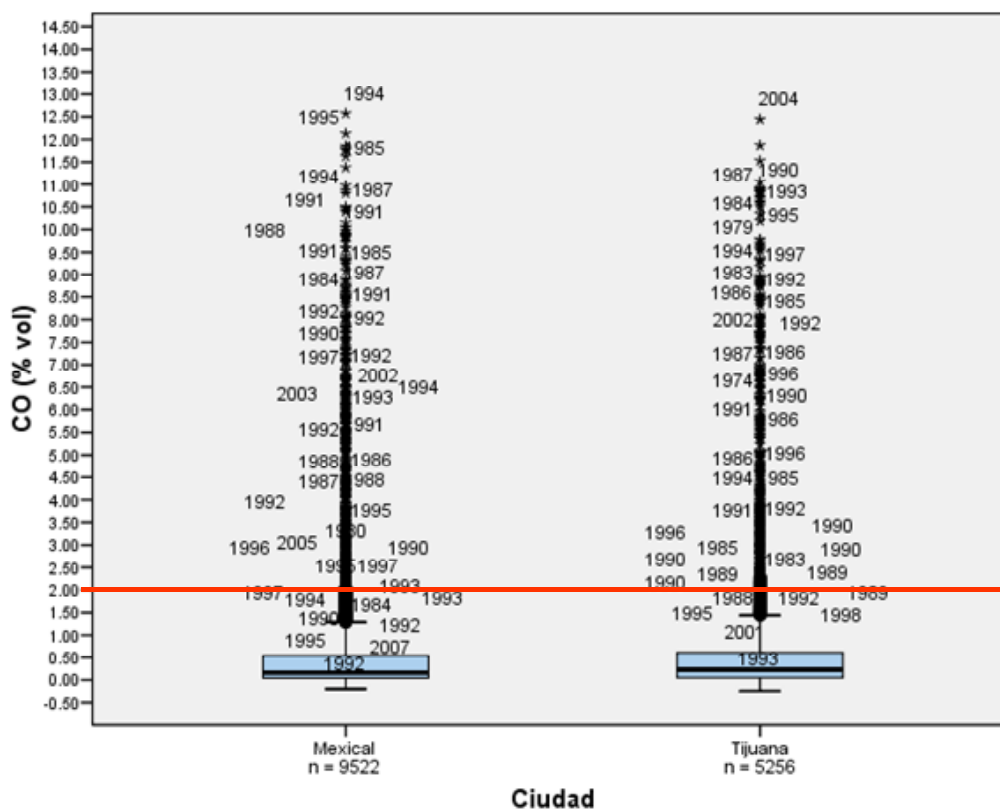


Figura 4.19 Emisiones de CO en Mexicali y Tijuana y el umbral de 2% vol

El análisis de los vehículos que rebasan el citado umbral arrojó que el 88% de los vehículos que se encuentran en este caso tienen una antigüedad mayor o igual a diez años, mientras que sólo el 12% de los vehículos que rebasan el umbral son año-modelo 1999 y posteriores.

Hidrocarburos (HC)

Los intervalos de confianza al 95% para el promedio de las mediciones de las emisiones vehiculares de HC suponiendo que siguen una distribución gamma se presentan en la figura 4.20.

	Mexicali	Tijuana
Límite Inferior	109.99	114.58
Media	117.55	121.75
Límite Superior	125.36	129.13

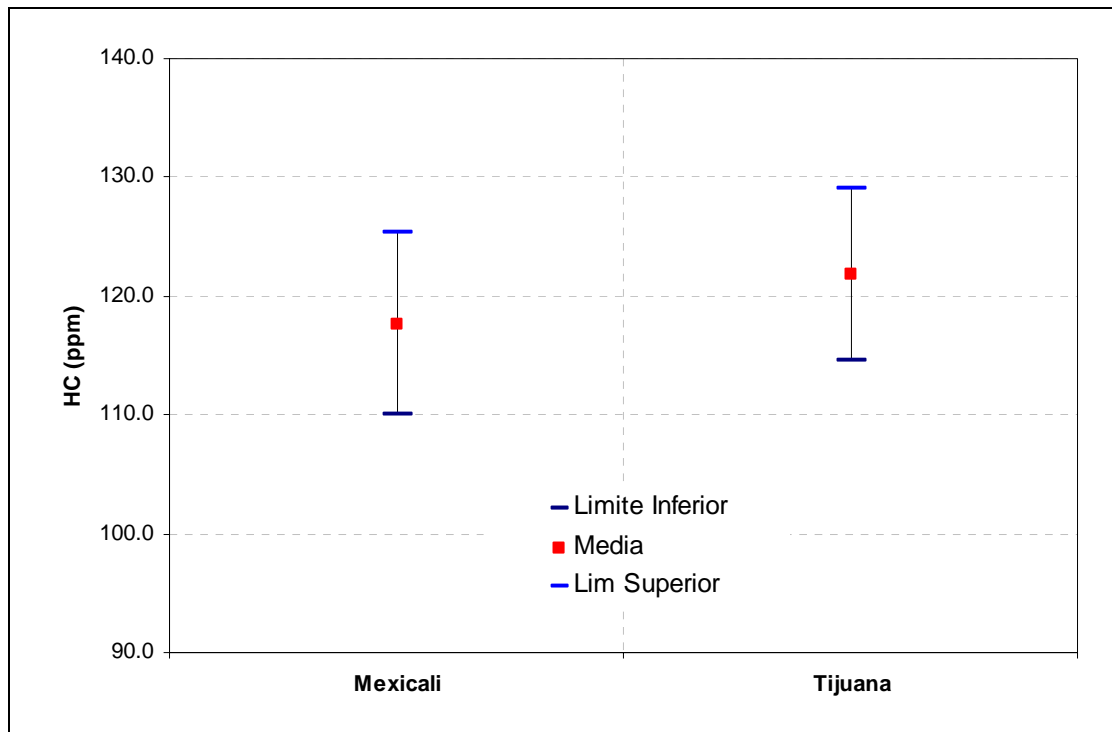


Figura 4.20 Intervalo de confianza al 95% para el promedio de HC (ppm) suponiendo que los valores siguen una distribución Gamma

En este caso, también el valor promedio de emisiones de Tijuana es ligeramente mayor que el de Mexicali, sin embargo, es difícil determinar si esta diferencia es estadísticamente significativa. En lo que respecta a los promedios para cada ciudad, debido a que intervalos obtenidos son angostos, se infiere que hay poca incertidumbre de dónde se localiza el

verdadero valor del promedio de las mediciones de las emisiones vehiculares de HC en Mexicali y Tijuana.

Ahora bien, el cálculo del porcentaje de vehículos en cada ciudad que excederían el umbral de 1000 ppm de HC se muestra en el cuadro 4.15.

	Mexicali $\alpha = 0.7718$ $\beta = 152.3082$	Tijuana $\alpha = 0.8151$ $\beta = 149.3711$
Probabilidad	0.0007	0.0007

Cuadro 4.15 Probabilidades de que las mediciones de HC estén por arriba de las 1000 ppm en Mexicali y Tijuana

Las probabilidades mostradas en el cuadro anterior indican que, a partir del muestreo realizado en ambas ciudades, puede inferirse que menos del 1% de los vehículos que circulan en ellas presentarían emisiones superiores a 1000 ppm y que muy probablemente no aprobarían la verificación de emisiones con la prueba de aceleración simulada.

En la figura 4.21 pueden observarse los datos que rebasan el umbral de dentro de la muestra tomada para cada ciudad. Del análisis de estos datos se desprende que aproximadamente el 90% de los vehículos que rebasan este umbral es de una antigüedad mayor a diez años, mientras que sólo el 10% es más reciente.

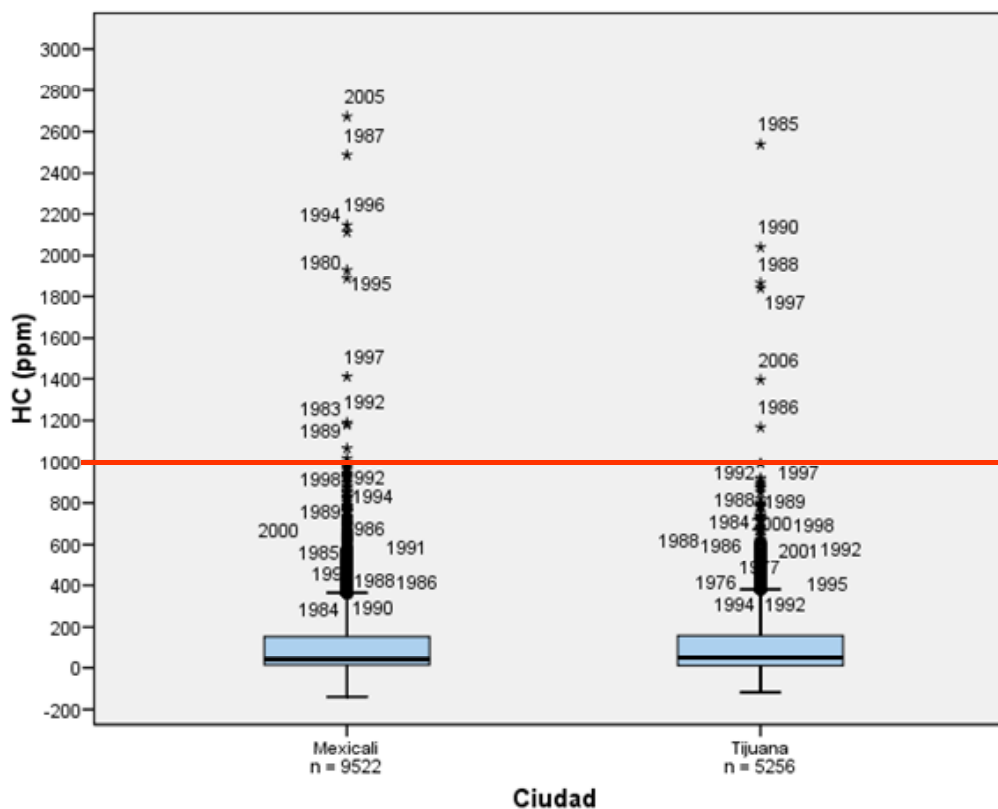


Figura 4.21 Emisiones de HC en Mexicali y Tijuana y el umbral de 1000 ppm.

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

1. Características y composición de la flota vehicular

El número de entrevistas realizadas en cada uno de los puntos seleccionados se muestra en el cuadro 4.16.

MEXICALI		
Fecha	Clave Ubicación	Cantidad Entrevistas
29-Nov-07	1	199
30-Nov-07	2	200
1-Dic-07	3	201
2-Dic-07	4	199
3-Dic-07	5	201
TOTAL		1000
TIJUANA		
	Clave Ubicación	Cantidad Entrevistas
5-Dic-07	1	200
6-Dic-07	2	199
7-Dic-07	3	149
8-Dic-07	4	199
9-Dic-07	5	199
TOTAL		946

Cuadro 4.16 Distribución del número de entrevistas realizadas en Mexicali

La medición de emisiones con el equipo de detección remota proporcionó una muestra considerable de los vehículos que circulan por las vialidades de Mexicali y Tijuana, por lo que se utilizó esta muestra para obtener las características de la flota en estas ciudades. Con base en la información encontrada en los registros vehiculares, se obtuvo el año-modelo de cada vehículo y frecuencia y se comparó con la distribución de la flota de la zona metropolitana del valle de México (ZMVM), como lo muestra la figura 4.22.

En la figura puede observarse que en la ZMVM se encuentra un parque vehicular más numeroso, pero también más concentrado en los modelos más recientes. Asimismo, en Mexicali se nota una mayor frecuencia en modelos más recientes comparada con Tijuana, en la que prevalecen los vehículos de diez años o más.

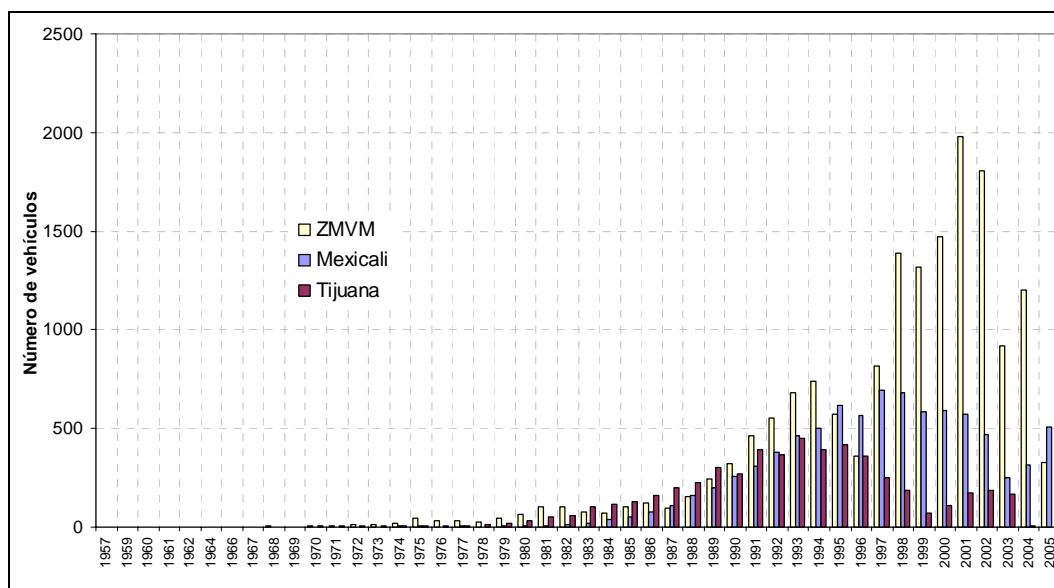


Figura 4.22 Frecuencia del año-modelo en las ciudades de Mexicali, Tijuana y la ZMVM

De las entrevistas se desprendió que el 93% de las personas encuestadas en Mexicali y señaló haber comprado su vehículo en los últimos 5 años. De éstos, un 15% de los vehículos son año modelo 2001 o posteriores. En Tijuana, el 76% de las personas señaló haber comprado su vehículo en los últimos 3 años y el 28% de los vehículos son año modelo 2001 ó posteriores. En este sentido, puede inferirse que el mercado de automóviles en estas dos ciudades es principalmente de segunda mano, ya que las cifras indican que tres de cuatro personas son propietarios de un vehículo que compraron usado.

Ahora bien, también a partir de las encuestas realizadas se obtuvo una caracterización del tipo de vehículos que circulan en cada ciudad. La figura 4.23 muestra los resultados obtenidos en este sentido. La información obtenida en Mexicali y Tijuana se comparó con la existente para la ZMVM y se observa que existe una clara diferencia en el tipo de vehículos que se encuentran en la zona fronteriza de Baja California y en el centro del país.

Mientras que en la ZMVM los automóviles sedan comprenden casi el 80% de la flota, en 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 Tijuana y Mexicali (aproximadamente 30%) que en la ZMVM (13%).

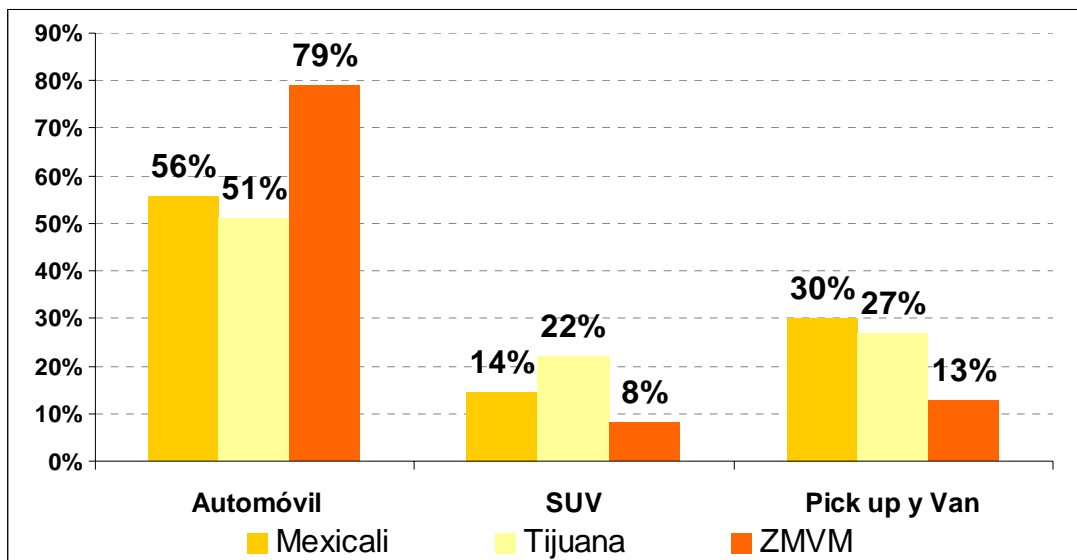


Figura 4.23 Distribución de la flota por tipo de vehículo en Tijuana, Mexicali y la ZMVM

En las encuestas también se solicitó a los conductores especificar si su vehículo cuenta con convertidor catalítico. En Mexicali, el 55% de los conductores señaló que su vehículo cuenta con el convertidor catalítico original, mientras que en Tijuana este porcentaje fue de 80%. Sin embargo, 85% de los encuestados en Mexicali respondió que su vehículo nunca ha sido sometido a una revisión de sus emisiones, mientras que en Tijuana esta proporción es de 93%.

2. Origen y actividad de la flota vehicular

Origen

El 98% de los conductores encuestados en ambas ciudades señalaron saber donde fue adquirido por primera vez el vehículo que conducen, y de ellos el 80% señaló que su vehículo fue adquirido en Estados Unidos de Norteamérica y el 18% en México.

Ahora bien, mediante los conteos y las encuestas también fue posible estimar que el parque vehicular en ambas ciudades, utilizando también la información histórica de ventas de vehículos nuevos en cada ciudad. El resultado de esta estimación se muestra, por tipo de vehículo y por su origen, en el cuadro 4.17.

		MEXICALI					
		Vehículos Nacionales		Vehículos importados		TOTAL	
		%	unidades	%	unidades	%	unidades
	Autos	21	34,403	79	128,376	100	162,780
	Vans	18	3,443	82	15,248	100	18,691
	SUV (Sports Utility Vehicle)	20	9,841	80	39,242	100	49,083
	Pick ups y estaquitas	24	21,439	76	66,436	100	87,875
	Total		69,126		249,302		318,428

		TIJUANA					
		Vehículos Nacionales		Vehículos importados		TOTAL	
		%	unidades	%	unidades	%	unidades
	Autos	20	43,337	80	172,990	100	216,327
	Vans	15	4,597	85	26,946	100	31,543
	SUV (Sports Utility Vehicle)	18	13,189	82	60,633	100	73,822
	Pick ups y estaquitas	24	22,298	76	71,578	100	93,876
	Total		83,420		332,147		415,567

Cuadro 4.17 Estimación del parque vehicular (nacional e importado) en ambas ciudades

Actividad

En las encuestas se solicitó a los conductores informar sobre el recorrido promedio de los vehículos. Sin embargo, debido a que muchas personas desconocen este dato, se recabó también información sobre el gasto en combustible promedio por semana, el número de cilindros del vehículo y el tipo de combustible, para poder calcular este dato a través de datos secundarios.

Al aplicar las encuestas, sólo una de cada tres personas en ambas ciudades indicaron saber cuál es su recorrido semanal promedio, por lo tanto, a partir del gasto semanal promedio en combustible, se determinó calcular el consumo semanal promedio de combustible (litros) consumidos por cada una de las categorías de vehículo.

Para tal efecto, se consideró que los propietarios de vehículos modelo 2002 y posteriores consumen gasolina Premium, con un costo de \$8.36 por litro en diciembre del 2007 y que los propietarios de modelos 2001 y anteriores consumen gasolina Magna a \$7.41/litro en diciembre del 2007. Bajo este esquema, se determinó el consumo semanal promedio en litros para los vehículos por categoría en ambas ciudades (figura 10).

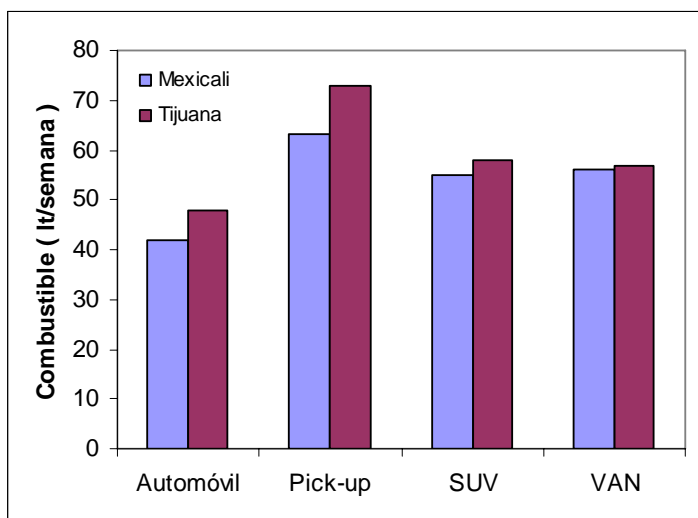


Figura 4.24 Consumo semanal promedio por categoría de vehículo

En Mexicali se obtuvo que los autos consumen en promedio 42 litros de gasolina por semana, las pick-up /estaquitas 63 litros por semana, las van de 56 litros y los vehículos tipo SUV 55 litros de gasolina por semana en promedio. Para Tijuana, se estimó que los autos consumen en promedio 48 litros de gasolina por semana, las pick-up /estaquitas 73 litros por semana, las van de 57 litros y los vehículos tipo SUV 58 litros de gasolina por semana en promedio.

Ahora bien, 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 4.18 incluye los resultados de esta estimación.

Tipo de vehículo	Mexicali	Tijuana
Automóvil	517	583
Pick-up	479	555
SUV	436	458
Van	441	449

Cuadro 4.18 Recorrido promedio semanal por tipo de vehículo para cada ciudad (km)

La figura 4.25 muestra la comparación de los valores obtenidos con los encontrados en estudios previos en la ZMVM. Como puede observarse, los recorridos promedio diarios en Mexicali y Tijuana son superiores para todos los tipos de vehículo que los de la ZMVM.

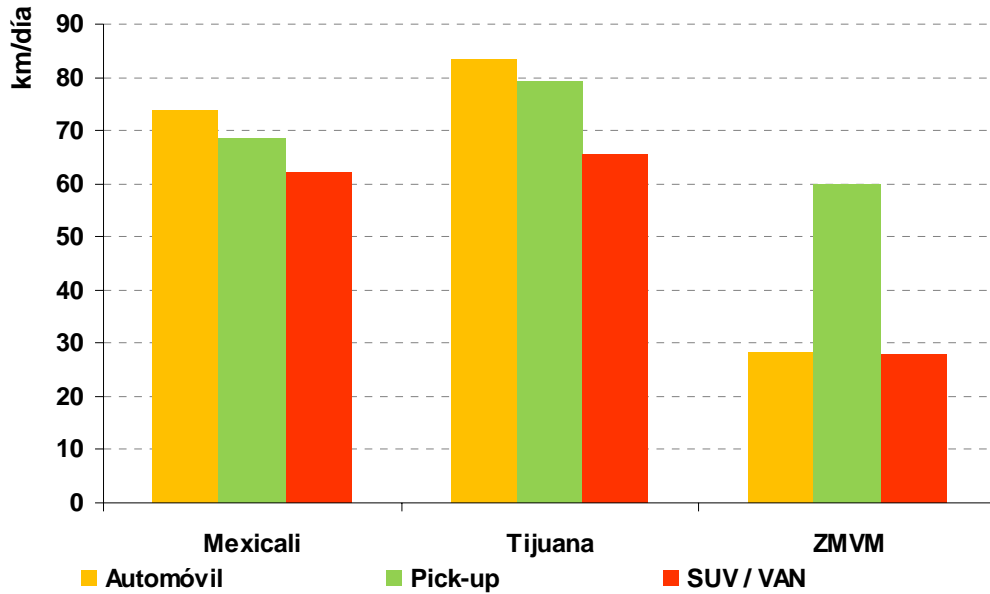


Figura 4.24 Comparación de distancia recorrida por ciudad y tipo de vehículo

IV. CONCLUSIONES

Este estudio proporciona información importante sobre la composición y las emisiones del parque vehicular en ambas ciudades estudiadas. En términos del origen de los vehículos, los trabajos de campo permitieron documentar que un alto porcentaje son adquiridos en Estados Unidos y, además, se adquieren usados. Asimismo, la antigüedad de la flota pudo contrastarse con la ZMVM, ya que en estas ciudades fronterizas un alto porcentaje (entre el 50 y el 60%) de los vehículos observados es de diez años o más de antigüedad, mientras que en la ZMVM la mayor parte de los vehículos (aproximadamente el 60%) son de nueve años o menos de antigüedad. Además de ser más antiguos, los vehículos de esta zona recorren en promedio distancias más largas que los que se encuentran en la ZMVM, probablemente debido al trazado urbano, a las condiciones climáticas en la zona y a las opciones de transporte disponibles.

En lo que respecta a las emisiones, los análisis llevados a cabo muestran que la mediana y el promedio de las emisiones de los vehículos más recientes son evidentemente menores que las de los vehículos de más edad, excepto en el caso del CO₂, puesto que el comportamiento de este contaminante es inverso al de los demás. Particularmente cuando se analizan los vehículos de diez años o más de antigüedad contra los de modelos más recientes, estas diferencias son mayores, llegando a ser de un orden de magnitud. Asimismo, es notorio que, aun cuando las concentraciones observadas en vehículos más recientes son menores, se presentan valores extremos dentro de estos estratos, lo que indica que independientemente de la edad vehicular, el mantenimiento y el estado mecánico muy probablemente influyen de manera importante en las emisiones.

Debido a que la muestra de vehículos de cada ciudad fue lo suficientemente grande y representativa de distintas zonas, el estudio permitió asimismo hacer inferencias sobre la totalidad de los vehículos que circulan en las ciudades. En este sentido, puede estimarse que aproximadamente entre 8 y 10% de los vehículos en estas ciudades no aprobarían los límites de emisión de CO establecidos en la prueba de verificación con base en el método de aceleración simulada. Asimismo, puede inferirse que aproximadamente el 90% de los vehículos que no aprobarían esta prueba son vehículos con una antigüedad mayor o igual a diez años.

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.

V. BIBLIOGRAFIA

Ayuntamiento de Mexicali. 2008. <http://www.mexicali.gob.mx>

BDAM-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. and D. H. Stedman. 2006. *On-Road Remote Sensing of Automobile Emissions in the Denver Area: Year 6*, Department of Chemistry and Biochemistry, University of Denver, 2007

Diario Oficial de la Federación. 2007. NORMA Oficial Mexicana NOM-041-SEMARNAT-2006, Que establece los límites máximos permisibles de emisión de gases contaminantes provenientes del escape de los vehículos automotores en circulación que usan gasolina como combustible. Primera sección. SEMARNAT. 6 de marzo de 2007.

Centro Mario Molina, 2006. Medición de emisiones vehiculares en Ciudad Juárez. Disponible en línea:
<http://www.centromariomolina.org/publicaciones.html>

EPS, *Remote Sensing Milestones, "US Experience"* Niranjana Vescio, ESPH August 12, 2004, 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

GEBC-Gobierno del Estado de Baja California, Gobierno Municipal de Mexicali, SEMARNAT y SSA. 1999. *"Programa para Mejorar la Calidad del Aire de Mexicali 2000-2005"*, México 243 pp.

Gilbert, Richard O. Statistical methods for environmental pollution monitoring. 1987, John Wiley & Sons.

H. Ayuntamiento de Tijuana, B.C. 2008. <http://www.tijuana.gob.mx/>

INE, 2006. “*Inventario nacional de emisiones de México, 1999*”. Instituto Nacional de Ecología, SEMARNAT y Western Governors’ Association. México, DF.

INE, 2007. “*Tercer almanaque de datos y tendencias de la calidad del aire en nueve ciudades mexicanas*”. Instituto Nacional de Ecología, México, DF.

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>

INEGI, 2007. “*Porcentaje de población emigrante a Estados Unidos de América, para cada entidad federativa (año 2000)*”. Disponible en: http://cuentame.inegi.gob.mx/monografias/informacion/zac/poblacion/m_migratorios.aspx?tema=me&e=32..

Popp, P.J. ,S.S. Pokharel, G. A. Bishop and D. H. Stedman. 1999. *On-Road Remote Sensing of Automobile Emissions in the Denver Area: Year 1*; Department of Chemistry and Biochemistry, University of Denver, 1999

RSD, “*Correlation and Remote Sensing Device Application Results. A Summary of the Milestones Reached*”, April 2005, 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.

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 Mexico*, 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>

Tejeda-Honstein D.D., P.C. Montúfar-Ortíz, J.A. Aguilar-Gómez, I. González-Merino. *Inventario de Emisiones a la Atmósfera de Fuentes Móviles en la Zona Metropolitana de Mexicali*. Reporte final del Tecnológico de Monterrey como parte de las actividades para llevar a cabo el Programa de Reducción del Ozono y Mejora de la Calidad del Aire en la Frontera entre México y Estados Unidos, Mexicali, Baja California, en marzo de 2005. 49 pp.

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

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

Wenzel, Thomas P.; Singer, Brett C.; Slott, Robert R.; et.al. Short-term emissions deterioration in the California and Phoenix I/M programs. *Transportation Research Part D*, Vol. 9; 2004; 107-124.

Y Zhang, GA Bishop, DH Stedman. Automobile Emissions Are Statistically y-Distributed. *Environmental Science & Technology*, 1994

ANEXO 1

Formato empleado para la realización del conteo de vehículos

Conteo de vehículos Clave de la ubicación Ciudad:

Descripción Ubicación: _____ FECHA

Día	Mes	Año
-----	-----	-----

SUPERVISO: _____ AUTORIZO: _____ REALIZO: _____

De (H:M) ____:____ a ____:____

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

De (H:M) ____:____ a ____:____

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

De (H:M) ____:____ a ____:____

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

De (H:M) ____:____ a ____:____

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

De (H:M) ____:____ a ____:____

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

Clave de la ubicación

Ciudad:

FECHA Día Mes Año

REALIZO:

De (H:M) : : a : : : :	Número de Vehículos					Observaciones:
	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) : : a : : : :	Número de Vehículos					Observaciones:
	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) : : a : : : :	Número de Vehículos					Observaciones:
	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) : : a : : : :	Número de Vehículos					Observaciones:
	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) : : a : : : :	Número de Vehículos					Observaciones:
	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 2

Formato empleado para la realización de la entrevista

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?

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

2.- ¿Qué año / modelo es su vehículo?

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

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

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

5.- ¿Cuál es el kilometraje total de su vehículo según su odómetro? Millas

Si no funciona señalarlo y anotar lectura de odómetro

() está descompuesto o no funciona

ó 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)

ANEXO 3

Del estudio de Zhang se desprende 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 Mexicali y Tijuana siguieran esta distribución.

En los cuadros A3.1 y A3.2 se presentan los intervalos de clase para las emisiones vehiculares de CO, así como las distribuciones empírica y teórica de los datos de Mexicali y Tijuana respectivamente. 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.

Intervalo de clase	Frecuencia	Promedio de la clase	Distribución empírica	Distribución teórica Gamma (α , β)	
			% de la frecuencia	Momentos $\alpha = 0.2125$ $\beta = 2.4673$	Máxima Verosimilitud $\alpha = 0.5285$ $\beta = 0.9922$
(0-1]	8242	0.25	0.8952	0.8445	0.8332
(1-2]	527	1.35	0.0572	0.0799	0.1182
(2-3]	139	2.48	0.0151	0.0348	0.0333
(3-4]	82	3.44	0.0089	0.0176	0.0103
(4-5]	53	4.43	0.0058	0.0096	0.0033
(5-6]	50	5.53	0.0054	0.0055	0.0011
(6-7]	33	6.43	0.0036	0.0032	0.0004
(7-8]	25	7.45	0.0027	0.0019	0.0001
(8-9]	23	8.45	0.0025	0.0011	0.0000
(9-10]	16	9.58	0.0017	0.0007	0.0000
(10-11]	10	10.47	0.0011	0.0004	0.0000
(11-12]	5	11.68	0.0005	0.0003	0.0000
(12-13]	2	12.35	0.0002	0.0002	0.0000
> 13	0		0.0000	0.0003	0.0000

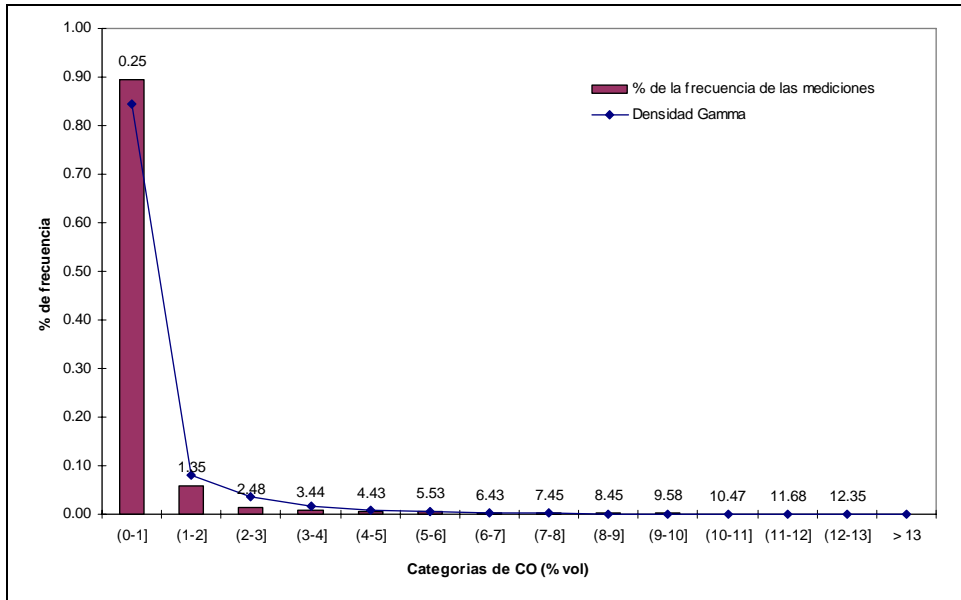
Cuadro A3.1. Intervalos de clase, distribución empírica y teórica de las emisiones vehiculares de CO en Mexicali.

Intervalo de clase	Frecuencia	Promedio de la clase	Distribución empírica	Distribución teórica Gamma (α, β)	
			% de la frecuencia	Momentos $\alpha = 0.2408$ $\beta = 2.8056$	Máximo Verosimilitud $\alpha = 0.5375$ $\beta = 1.257$
(0-1]	4267	0.28	0.8591	0.8047	0.7747
(1-2]	345	1.35	0.0695	0.0933	0.1429
(2-3]	110	2.50	0.0221	0.0433	0.0501
(3-4]	78	3.51	0.0157	0.0233	0.0192
(4-5]	35	4.45	0.0070	0.0135	0.0077
(5-6]	31	5.47	0.0062	0.0081	0.0032
(6-7]	31	6.61	0.0062	0.0050	0.0013
(7-8]	21	7.60	0.0042	0.0031	0.0006
(8-9]	22	8.52	0.0044	0.0020	0.0002
(9-10]	10	9.52	0.0020	0.0013	0.0001
(10-11]	13	10.68	0.0026	0.0008	0.0000
(11-12]	3	11.49	0.0006	0.0005	0.0000
(12-13]	1	12.44	0.0002	0.0004	0.0000
> 13	0	-		0.0007	0.0000

Cuadro A3.2. Intervalos de clase, distribución empírica y teórica de las emisiones vehiculares de CO en Tijuana.

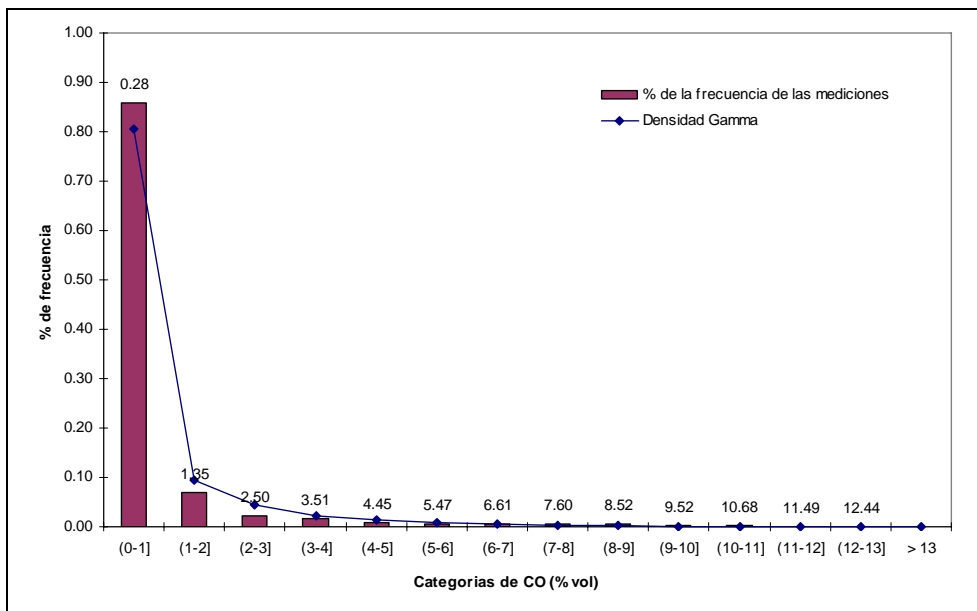
Se obtuvo, como se puede observar en el cuadro, una mejor aproximación para los parámetros calculados por el método de momentos; sin embargo, se presentan los parámetros del método de máxima verosimilitud porque con estos se calcularon los intervalos de confianza para el promedio de la distribución teórica que se presentan en párrafos posteriores. Cabe mencionar que para la obtención de los parámetros y el ajuste de la distribución gamma sólo se consideraron las emisiones vehiculares de CO mayores que cero, de acuerdo a los valores que puede tomar la función de densidad de una distribución gamma (ver la definición en la sección de metodología).

En las figuras A3.1 y A3.2 se comparan de manera gráfica las emisiones vehiculares de CO medidas y la distribución gamma ajustada a los datos con los parámetros estimados a través del Método de Momentos. Como se aprecia, en ambas, el ajuste es bastante bueno.



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 A3.1 Comparación de las emisiones vehiculares de CO y su aproximación a la distribución Gamma ($\alpha = 0.2125$, $\beta = 2.467$) en Mexicali



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 A3.2 Comparación de las emisiones vehiculares de CO y su aproximación a la distribución Gamma ($\alpha = 0.2408$, $\beta = 2.8056$) en Tijuana

El promedio de los valores de la distribución gamma está dado por $\mu = \alpha\beta$; en el caso de Mexicali $\mu = 0.2125 \times 2.467 = 0.52436$ y en el de Tijuana $\mu = 0.2408 \times 2.8056 = 0.67563$, que son casi idénticos a los obtenidos de las mediciones de las emisiones vehiculares.

En lo que respecta a los HC, los cuadros A3.3 y A3.4 presentan los intervalos de clase para las emisiones vehiculares de HC, así como las distribuciones empírica y teórica de los datos de Mexicali y Tijuana respectivamente. 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.

Intervalo de clase	Frecuencia	Promedio de la clase	Distribución empírica	Distribución teórica Gamma (α, β)	
			% de la frecuencia	Momentos $\alpha = 0.6017$ $\beta = 195.36$	Máxima Verosimilitud $\alpha = 0.7718$ $\beta = 152.3082$
(0,200]	6844	60	0.8041	0.8078	0.8108
(200,400]	1253	277	0.1472	0.1351	0.1438
(400,600]	284	474	0.0334	0.0390	0.0341
(600,800]	89	679	0.0105	0.0122	0.0085
(800,1000]	30	894	0.0035	0.0039	0.0021
(1000,1200]	4	1113	0.0005	0.0013	0.0006
(1200,1400]	0	---	0.0000	0.0004	0.0001
(1400,1600]	1	1410	0.0001	0.0001	0.0000
(1600,1800]	0	---	0.0000	0.0001	0.0000
(1800,2000]	2	1909	0.0002	0.0000	0.0000
(2000,2200]	2	2130	0.0002	0.0000	0.0000
(2200,2400]	0	---	0.0000	0.0000	0.0000
(2400,2600]	1	2487	0.0001	0.0000	0.0000
(2600,2800]	1	2672	0.0001	0.0000	0.0000
> 2800	0	---	0.0000	0.0000	0.0000

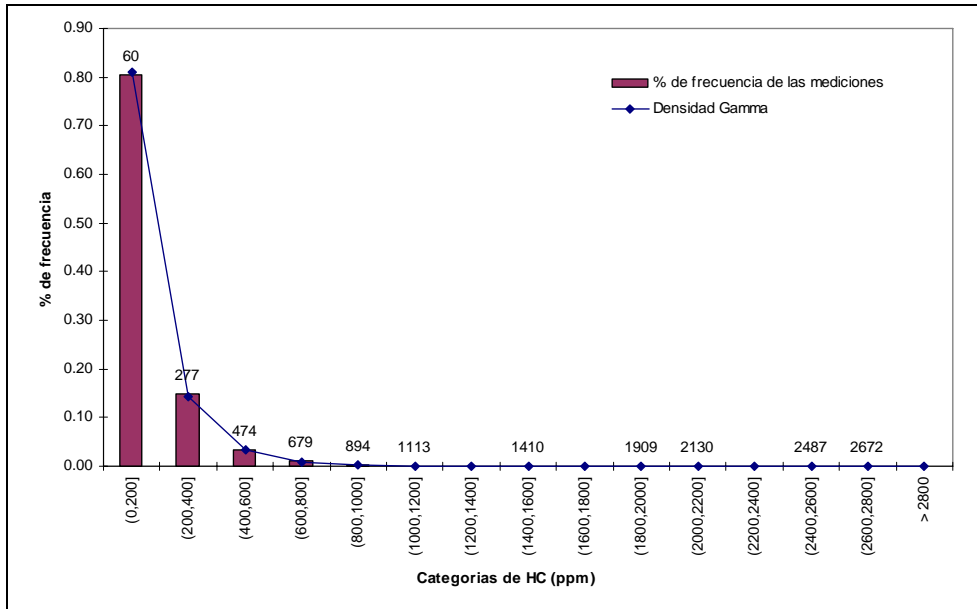
Cuadro A3.3. Intervalos de clase, distribución empírica y teórica de las emisiones vehiculares de HC en Mexicali.

Intervalo de clase	Frecuencia	Promedio de la clase	Distribución empírica	Distribución teórica Gamma (α, β)	
			% de la frecuencia	Momentos $\alpha = 0.3873$ $\beta = 314.3474$	Máximo Verosimilitud $\alpha = 0.8151$ $\beta = 149.3711$
(0,200]	3611	67	0.7992	0.8042	0.8018
(200,400]	751	271	0.1662	0.1165	0.1508
(400,600]	105	476	0.0232	0.0441	0.0357
(600,800]	34	703	0.0075	0.0189	0.0088
(800,1000]	10	900	0.0022	0.0085	0.0022
(1000,1200]	1	1167	0.0002	0.0040	0.0006
(1200,1400]	1	1395	0.0002	0.0019	0.0001
(1400,1600]	0	---	0.0000	0.0009	0.0000
(1600,1800]	0	---	0.0000	0.0005	0.0000
(1800,2000]	2	1852	0.0004	0.0002	0.0000
(2000,2200]	1	2040	0.0002	0.0001	0.0000
(2200,2400]	0	---	0.0000	0.0001	0.0000
(2400,2600]	1	2538	0.0002	0.0000	0.0000
(2600,2800]	0	---	0.0000	0.0000	0.0000
> 2800	1	9148	0.0002	0.0000	0.0000

Cuadro A3.4. Intervalos de clase, distribución empírica y teórica de las emisiones vehiculares de HC en Tijuana.

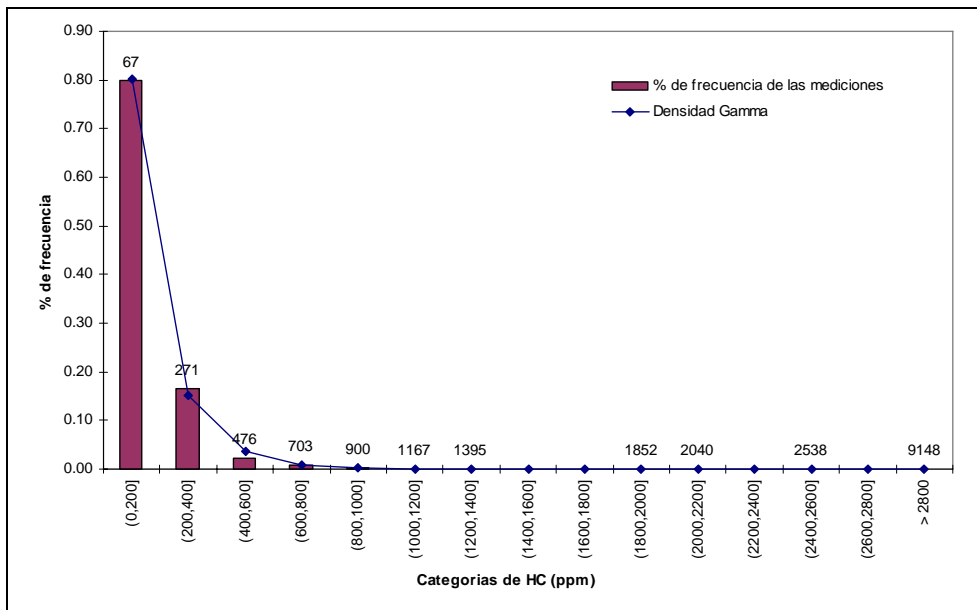
Se obtuvo, como se puede observar en el cuadro, una mejor aproximación para los parámetros calculados por el método de máxima verosimilitud, con estos se calcularon los intervalos de confianza para el promedio de la distribución teórica que se presentan en párrafos posteriores. Cabe recordar que para la obtención de los parámetros y el ajuste de la distribución gamma sólo se consideraron las emisiones vehiculares de HC mayores que cero.

En las figuras A3.3 y A3.4 se comparan 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. Como se aprecia, en ambas, el ajuste es bastante bueno.



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 A3.3 Comparación de las emisiones vehiculares de HC y su aproximación a la distribución Gamma ($\alpha = 0.7718$, $\beta = 152.3082$) en Mexicali



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 A3.4 Comparación de las emisiones vehiculares de HC y su aproximación a la distribución Gamma ($\alpha = 0.8151$, $\beta = 149.3711$) en Tijuana

El promedio de los valores de la distribución gamma está dado por $\mu = \alpha\beta$; en el caso de Mexicali $\mu = 0.7718 \times 152.3082 = 121.7463$ y en el de Tijuana $\mu = 0.8151 \times 149.3711 = 121.7524$, que son casi idénticos a los obtenidos de las mediciones de las emisiones vehiculares.