COMISIÓN AMBIENTAL DE LA MEGALÓPOLIS

INECC
INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA Y CAMBIO CLIMÁTICO

Campañas de identificación de automotores altos emisores, vía sensor remoto, en accesos de entrada a la Megalópolis 2020 – 2024

Informe técnico de campaña mayo – junio de 2021

"Campaña Pro Vehículos Limpios 2021"

MEDIO AMBIENTE
SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES

Informe de actividades 2021

Campañas de identificación de automotores altos emisores, vía sensor remoto, en accesos de entrada a la Megalópolis 2020 - 2024

"Campaña Pro Vehículos Limpios 2021"

INECC
INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA Y CAMBIO CLIMÁTICO

2021

Coordinación General de Contaminación y Salud Ambiental

Dirección de Investigación de Calidad del Aire y Contaminantes Climáticos

Blvd. Adolfo Ruiz Cortines, No. 4209, Col. Jardines en la Montaña,
Alcaldía Tlalpan, C.P. 14210. Ciudad de México.
Tel. +52 (55) 54246400. Fax. +52 (55) 54245404.
www.gob.mx/inecc

“PROYECTO FINANCIADO CON RECURSOS DEL FIDEICOMISO 1490 PARA APOYAR LOS PROGRAMAS, PROYECTOS Y ACCIONES AMBIENTALES DE LA MEGALÓPOLIS”

Directorio

INECC

Dra. María Amparo Martínez Arroyo
Directora General del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático

Dr. Luis Gerardo Ruiz Suárez
Coordinador General de Contaminación y Salud Ambiental

Biól. Rodolfo Iniestra Gómez
Director de Investigación de Calidad del Aire y Contaminantes Climáticos

M. en C. José Andrés Aguilar Gómez
Subdirector de Movilidad Sustentable

M. en C. Laura E. Ramos Casillas
Jefa del Departamento de Caracterización de Fuentes Móviles

Téc. Francisco F. Guardado López
Técnico Superior

CAMe

Dr. J. Víctor Hugo Páramo Figueroa
Coordinador Ejecutivo de la Comisión Ambiental de la Megalópolis

Mtro. Ramiro Barrios Castrejón
Director General Adjunto de Gestión de la Calidad del Aire en Zonas Metropolitanas

M. en A.P. Gloria Julissa Calva Cruz
Directora de Prevención y Control de la Contaminación Urbana en Zonas Metropolitanas

Mtro. Luis Fernando Lahud Flores
Director de Coordinación y Vinculación Institucional

Ing. Rubén Hernández Monter
Jefe de Departamento en la Subsecretaría de Planeación Y Política Ambiental de SEMARNAT

AGRADECIMIENTOS

El Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático y la Coordinación Ejecutiva de la Comisión Ambiental de la Megalópolis agradecen a las siguientes dependencias, por el apoyo brindado durante el trabajo de campo para la recopilación de la información de emisiones vehiculares mediante la técnica de detección remota realizada en los principales accesos carreteros al Valle de México:

- Caminos y Puentes Federales (CAPUFE)
- Comisión Ambiental de la Megalópolis (CAMe)
- Guardia Nacional (GN)
- Operadora y Mantenedora Golfo Centro S.A. de C.V.
- Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT)
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT)
    - Subsecretaría de Fomento y Normatividad Ambiental - DGGCARETC
    - Subsecretaría de Planeación y Política Ambiental

RESUMEN EJECUTIVO

Como parte de las actividades del proyecto titulado "Campañas de identificación de automotores altos emisores, vía sensor remoto, en accesos de entrada a la Megalópolis 2020 – 2024", realizado por el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático a solicitud de la Comisión Ambiental de la Megalópolis, se llevó a cabo la campaña de medición Pro Vehículos Limpios correspondiente al año 2021, en los principales accesos carreteros al Valle de México.

La campaña de medición de emisiones vehiculares "Pro Vehículos Limpios 2021" dio inicio, debido a la emergencia sanitaria por COVID-19, el 13 de mayo y finalizó el 30 de junio, al inicio de la época de lluvias. La medición se realizó en cuatro plazas de cobro que dan acceso al Valle de México: Ojo de Agua (México-Pachuca), San Marcos (México-Puebla), Tepotzotlán (México-Querétaro) y Tlalpan (México-Cuernavaca), durante un total de 7 días y logrando una recopilación de 11,562 registros de emisiones vehiculares, de los cuales se utilizaron 6,022 datos válidos para el análisis por tipo de vehículo pesado, 280 datos válidos para el análisis por antigüedad de los vehículos pesados, así como 4,649 dato válidos para el análisis por procedencia de vehículos ligeros a gasolina.

Los principales resultados de esta campaña muestran lo siguiente:

- Del total del parque vehicular medido, el 53% fueron vehículos ligeros (autos compactos, subcompactos y camionetas tipo SUV); el 28% camiones de carga ligeros, medianos y pesados; 15% pick up y van; y, el 4% autobuses foráneos.

- Por procedencia, 41% porta placa del Estado de México; 17% placa de la SCT; 16% de la Ciudad de México, 13% de Morelos; 4% de Hidalgo; 2% de Puebla; 1% de Querétaro. El 6% restante corresponde a otras entidades entre las que sobresalen Guerrero, Guanajuato y Jalisco.
- Por antigüedad, la flota de vehículos pesados que se localizaron en la base de datos de la Secretaría de Comunicaciones y Transporte (SCT), el 34% tiene hasta 5 años, 33% entre 6 y 10 años, 18% entre 11 y 15 años, 7% entre 16 y 20 años, y el 9% más de 20 años.
- En cuanto al cumplimiento de la NOM-167-SEMARNAT-2017, los resultados indican que el 3% de los vehículos pesados a diésel que circularon por las casetas de cobro rebasan el límite de óxido nítrico (NO) y el 4% rebasa el límite de factor de humo.
- A partir del percentil 80 hay un cambio importante en la pendiente de la curva para las emisiones de óxido nítrico (NO) y factor de humo, lo cual indica que un 20% de los vehículos son altamente contaminantes.

Debido a que la emergencia sanitaria por COVID-19 no permitió realizar la recopilación de información durante el número de días considerado originalmente en el proyecto, el tamaño de la muestra no fue el deseado, por lo que los resultados que aquí se presentan, principalmente de emisiones, deben considerarse solo como indicativos. Los resultados de este informe serán robustecidos, con la recopilación de un mayor tamaño de muestra, durante la campaña de medición a realizarse en el periodo de octubre a diciembre de 2021.

CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS 2
RESUMEN EJECUTIVO 3
CONTENIDO 5
LISTA DE CUADROS 6
LISTA DE FIGURAS 7
SIGLAS Y ACRÓNIMOS 9
I. ANTECEDENTES 10
II. OBJETIVOS 17
2.1. OBJETIVO GENERAL 17
2.2. OBJETIVOS PARTICULARES 17
III. ASOCIADOS EN EL PROYECTO 17
IV. BENEFICIOS E IMPACTOS ESPERADOS 18
V. METODOLOGÍA 18
VI. RESULTADOS 31
6.1. ACCIONES DE COORDINACIÓN 31
6.2. RECOPILACIÓN DE INFORMACIÓN 34
6.3. CARACTERIZACIÓN DEL PARQUE VEHICULAR GENERAL 37
6.4. CARACTERIZACIÓN DEL PARQUE DE VEHÍCULOS PESADOS 39
6.5. RESULTADOS DE EMISIÓN 40
6.4.1. ANÁLISIS POR ESTRATO TECNOLÓGICO 40
6.4.2. ANÁLISIS POR TIPO DE VEHÍCULO 48
6.6. CUMPLIMIENTO DE LA NOM-167-SEMARNAT-2017 54
6.7. DESEMPEÑO AMBIENTAL POR PROCEDENCIA DEL PARQUE VEHICULAR 57
VII. CONCLUSIONES 61
VIII. BIBLIOGRAFÍA 63
ANEXO 1. CATÁLOGO DE CLASIFICACIÓN VEHICULAR 64
ANEXO 2. CALENDARIO DE MEDICIÓN MAYO – JUNIO DEL 2021 66

Lista de cuadros

Cuadro 1. Número de vehículos medidos por caseta de cobro. 35

Cuadro 2. Estadísticas descriptivas de CO (% en volumen) por estrato de edad para vehículos pesados que ingresan al Valle de México. 43

Cuadro 3. Estadísticas descriptivas de HC (ppm de hexano) por estrato de edad para vehículos pesados que ingresan a la Zona Metropolitana del Valle de México. 44

Cuadro 4. Estadísticas descriptivas de NO (ppm) por estrato de edad para vehículos pesados que ingresan al Valle de México. 46

Cuadro 5. Estadísticas descriptivas de Factor de humo (gramos de partículas/100 gramos de combustible) por estrato de edad para vehículos pesados que ingresan al Valle de México. 47

Cuadro 6. Estadísticas descriptivas de monóxido de carbono (% volumen) por tipo de vehículo pesado que ingresa al Valle de México. 49

Cuadro 7. Estadísticas descriptivas de hidrocarburos (ppm de hexano) por tipo de vehículo pesado que ingresa al Valle de México. 50

Cuadro 8. Estadísticas descriptivas de óxido nítrico (ppm) por tipo de vehículo pesado que ingresa al Valle de México. 52

Cuadro 9. Estadísticas descriptivas de factor de humo (gramos de partículas/100 g de diésel) por tipo de vehículo pesado que ingresa al Valle de México. 53

Cuadro 10. Límites de emisión para vehículos de cualquier año-modelo evaluados mediante el equipo de detección remota. 55

Cuadro 11. Resultados del cumplimiento de la NOM-167-SEMARNAT-2017 por vehículos pesados a diésel que ingresan a la Zona Metropolitana del Valle de México. 55

Lista de figuras

Figura 1. Elementos del equipo de detección remota para medir la emisión de gases provenientes de escapes altos y bajos. 22

Figura 2. Proceso de validación y análisis de los datos generados en el proceso de medición remota de contaminantes. 27

Figura 3. Proceso de depuración de datos de medición de emisiones vehiculares en plazas de acceso a la Zona Metropolitana del Valle de México durante 2021. 36

Figura 4. Composición por tipo de vehículo de la flota que circuló en 2021 por las plazas de acceso al Valle de México. 37

Figura 5. Composición por procedencia de la flota vehicular que circuló en el 2021 por las plazas de acceso al Valle de México. 38

Figura 6. Composición por estrato de edad de la flota de vehículos pesados que circuló en el 2021 por las plazas de acceso al Valle de México. 39

Figura 7. Composición por estrato de edad de la flota de vehículos pesados que circuló en 2021 por las casetas de acceso al Valle de México. 40

Figura 8. Composición tecnológica de la flota de vehículos pesados que circuló en las plazas de acceso al Valle de México en el 2021. 41

Figura 9. Distribución de las concentraciones de CO (% en volumen) por estratos para vehículos pesados que ingresan al Valle de México. 43

Figura 10. Distribución de las concentraciones de HC (ppm hexano) por estratos para vehículos pesados que ingresan al Valle de México. 45

Figura 11. Distribución de las concentraciones de NO (ppm) por estratos para vehículos pesados que ingresan al Valle de México. 46

Figura 12. Distribución de las concentraciones de factor de humo por estratos para vehículos pesados que ingresan al Valle de México. 48

Figura 13. Distribución de las concentraciones de CO (% volumen) por tipo de vehículo pesado que ingresa al Valle de México. 49

Figura 14. Distribución de las concentraciones de HC (ppm de hexano) por tipo de vehículo pesado que ingresa al Valle de México. 51

Figura 15. Distribución de las concentraciones de NO (ppm) por tipo de vehículo pesado que ingresa al Valle de México. 52

Figura 16. Distribución de las concentraciones de Factor de Humo (gramos de partículas/100 gramos de combustible) por tipo de vehículo pesado que ingresa al Valle de México. 54

Figura 17. Cumplimiento del límite de óxido nítrico de la NOM-167-SEMARNAT-2017 por vehículos pesados a diésel que ingresan al Valle de México. 56

Figura 18. Cumplimiento del límite de factor de humo de la NOM-167-SEMARNAT-2017 por vehículos pesados a diésel que ingresan al Valle de México. 56

SIGLAS Y ACRÓNIMOS

CAMe	Comisión Ambiental de la Megalópolis, integrada por la Ciudad de México, Estado de México, Hidalgo, Morelos, Puebla y Tlaxcala.
CAPUFE	Caminos y Puentes Federales; depende de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT).
CDMX	Ciudad de México.
CO	Monóxido de carbono, expresado en porcentaje en volumen (%vol.).
CO_2	Dióxido de carbono, expresado en porcentaje en volumen (%vol.).
CGCSA	Coordinación General de Contaminación y Salud Ambiental.
EdoMéx	Estado de México.
EPA	Environmental Protection Agency (Agencia de Protección al Ambiente de los Estados Unidos).
Factor de humo	Contaminante medido mediante la técnica de detección remota y que está expresado en gramos de partículas por cada 100 gramos de combustible.
GN	Guardia Nacional
HC	Hidrocarburos, reportados por la técnica de detección remota como propano y hexano en partes por millón (ppm).
INECC	Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático.
Km/h	Kilómetros por hora.
NO	Óxido nítrico, medido por la técnica de detección remota y expresado en partes por millón (ppm).
NO_X	Óxidos de nitrógeno
NOM-167-SEMARNAT-2017	Norma Oficial Mexicana que establece los límites máximos permisibles de emisión de contaminantes para los vehículos automotores que circulan en las entidades federativas Ciudad de México, Hidalgo, Estado de México, Morelos, Puebla y Tlaxcala; los métodos de prueba para la evaluación de dichos límites y las especificaciones de tecnologías de información y hologramas.
ppm	Concentración en partes por millón
PVVO	Programa de verificación vehicular obligatorio
SCT	Secretaría de Comunicaciones y Transportes federal
SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
RSD	Remote sensing device (equipo de detección remota)
VSP	Vehicle specific power (potencia específica del vehículo, expresada en kW/tonelada)
% en vol.	Concentración volumétrica en porcentaje

I. ANTECEDENTES

Los vehículos automotores continúan siendo una de las principales fuente de emisión de contaminantes a la atmósfera. Información del Inventario Nacional de Emisiones de México 2016[1], considerando únicamente las fuentes antropogénicas, muestran que los automotores en circulación contribuyen con el 70% de las emisiones de óxidos de nitrógeno (NOx), el 23% de los compuestos orgánicos volátiles (COV), el 63% del monóxido de carbono (CO), el 14% de las $PM_{2.5}$ y el 10% de las partículas PM_{10}.

La región de la Megalópolis, integrada por la Ciudad de México, Estado de México, Hidalgo, Morelos, Puebla y Tlaxcala, no es ajena al impacto de las emisiones vehiculares en la calidad del aire y sus consecuentes efectos adversos en la salud de la población. Sin embargo, la emisión de contaminantes atmosféricos por vehículos automotores está determinada por diversas variables, como el mantenimiento, la antigüedad, el uso, el tipo de combustible, la tecnología de control de emisiones e inclusive el modo de manejo, por lo que se han diseñado instrumentos regulatorios para establecer límites de emisión para vehículos en circulación, como es el caso de la NOM-167-SEMARNAT-2017[2].

---

[1] Información consultada en: https://www.gob.mx/semarnat/documentos/documentos-del-inventario-nacional-de-emisiones

[2] Norma Oficial Mexicana NOM-167-SEMARNAT-2017, Que establece los límites máximos permisibles de emisión de contaminantes para los vehículos automotores que circulan en las entidades federativas Ciudad de México, Hidalgo, Estado de México, Morelos, Puebla y Tlaxcala; los métodos de prueba para la evaluación de dichos límites y las especificaciones de tecnologías de información y hologramas. Publicado en el Diario Oficial de la Federación el 5 de septiembre de 2017.

Una de las técnicas de verificación de las emisiones de escape para vehículos en circulación establecida en la NOM-167-SEMARNAT-2017 es la detección remota, la cual tiene entre sus principales características la capacidad de medir una gran cantidad de vehículos en poco tiempo y bajo condiciones reales de manejo. Es así, que a partir del año 2016 la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), en coordinación con la Comisión Ambiental de la Megalópolis (CAMe), la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) y la Policía Federal (ahora Guardia Nacional), han realizado operativos con la técnica de detección remota en acceso a la Megalópolis, a fin de verificar el cumplimiento de la normatividad ambiental en la materia, tanto para vehículos con escape bajo como alto.

Durante las campañas de medición realizadas en el periodo de 2016 – 2019 en accesos carreteros a la Megalópolis, se obtuvieron más 123 mil registros de emisiones vehiculares, de las cuales, el 28% corresponde a vehículos pesados. Los resultados muestran que el 8% de los camiones de carga y el 6% de los camiones de pasajeros no cumplen con los límites de emisión establecidos por la NOM-167-SEMARNAT-2017. Por tipo de contaminante, de los vehículos pesados que exceden la norma el 63% es por factor de humo (gramos de carbono/100 gramos de combustible) y el 37% por óxido de nitrógeno (NO).

Este proyecto propone la realización de campañas de identificación de automotores con altas emisiones, vía sensor remoto, en accesos de entrada a la Megalópolis, con el objetivo de verificar el cumplimiento de la normatividad ambiental en la materia. Las campañas se realizarán durante el

periodo de los años 2020 al 2024, abarcando preferentemente los meses de marzo a mayo, un día de la semana, asistiendo cada semana sólo a una de las plazas de cobro designadas por la CAMe.

Los resultados de las campañas aportarán elementos para desarrollar una estrategia que permita incrementar el número de vehículos que son llevados revisión de sus emisiones y de esta manera garantizar el cumplimiento de los límites máximos permitidos, de acuerdo a la normatividad vigente. Adicionalmente, se generarán insumos y conocimientos para el diseño de políticas públicas para la gestión integral de la calidad del aire en la Megalópolis.

1.1. Encuadre del proyecto dentro de la CAMe

En virtud de las necesidades actuales de atención coordinada entre los gobiernos federal, estatales y de la Ciudad de México, así como la trascendencia de enfrentar la problemática de la calidad del aire y otros temas ambientales en la zona centro del país, el tres de octubre del 2013 se publicó en el Diario Oficial de la Federación el "Convenio de Coordinación por el que se crea la Comisión Ambiental de la Megalópolis" (en lo sucesivo la Comisión), que celebró la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, el Gobierno de la Ciudad de México (antes Distrito Federal) y los estados de Hidalgo, México, Morelos, Puebla y Tlaxcala, con el objeto de incorporar a las seis Entidades Federativas bajo una nueva visión de Megalópolis y transformar a la Comisión Ambiental Metropolitana.

La Comisión tiene por objeto llevar a cabo, entre otras, la planeación y ejecución de acciones en materia de protección al ambiente, y de preservación y restauración del equilibrio ecológico en la zona que precisa el convenio antes referido. El presente proyecto obedece al referido mandato institucional.

1.2. Área(s) temática(s) sustantivas de la CAMe

El presente proyecto atiende de manera integral las líneas temáticas sustantivas de la CAMe y que se han analizado en el seno de los grupos de trabajo: verificación de emisiones vehiculares, flotas vehiculares, gestión de la calidad del aire e integración de bases de datos sobre vehículos ostensiblemente contaminantes.

1.3. Justificación del proyecto y situación contextual

Los vehículos automotores continúan siendo una de las principales fuente de emisión de contaminantes a la atmósfera. Información del Inventario Nacional de Emisiones de México 2016[3], considerando únicamente las fuentes antropogénicas, muestran que los automotores en circulación contribuyen con el 70% de las emisiones de óxidos de nitrógeno (NOx), el 23% de los compuestos orgánicos volátiles (COV), el 63% del monóxido de carbono (CO), el 14% de las $PM_{2.5}$ y el 10% de las partículas PM_{10}.

La región de la Megalópolis, integrada por la Ciudad de México, Estado de México, Hidalgo, Morelos, Puebla y Tlaxcala,

[3] Información consultada en: https://www.gob.mx/semarnat/documentos/documentos-del-inventario-nacional-de-emisiones

no es ajena al impacto de las emisiones vehiculares en la calidad del aire y sus consecuentes efectos adversos en la salud de la población. Sin embargo, la emisión de contaminantes atmosféricos por vehículos automotores está determinada por diversas variables, como el mantenimiento, la antigüedad, el uso, el tipo de combustible, la tecnología de control de emisiones, inclusive el modo de manejo, por lo que se han diseñado instrumentos regulatorios para establecer límites de emisión para vehículos en circulación, como es el caso de la NOM-167SEMARNAT-2017.

Una de las técnicas de verificación de las emisiones de escape para vehículos en circulación establecida en la NOM-167-SEMARNAT-2017 es la detección remota, la cual tiene entre sus principales características la capacidad de medir una gran cantidad de vehículos en poco tiempo y bajo condiciones reales de manejo. Es así, que a partir del año 2016 la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), en coordinación con la Comisión Ambiental de la Megalópolis (CAMe), la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) y la Policía Federal (ahora Guardia Nacional), han realizado operativos con la técnica de detección remota en acceso a la Megalópolis, a fin de verificar el cumplimiento de la normatividad ambiental en la materia, tanto para vehículos con escape bajo como alto.

Durante las campañas de medición realizadas en el periodo de 2016 – 2019 en accesos carreteros a la Megalópolis, se obtuvieron más 123 mil registros de emisiones vehiculares, de las cuales, el 28% corresponde a vehículos pesados. Los resultados muestran que el 8% de los camiones de carga y el 6% de los camiones de pasajeros no cumplen con los límites de

emisión establecidos por la NOM-167-SEMARNAT-2017. Por tipo de contaminante, de los vehículos pesados que exceden la norma el 63% es por factor de humo (gramos de carbono/100 gramos de combustible) y el 37% por óxido de nitrógeno (NO).

Este proyecto propone la realización de campañas de identificación de automotores con altas emisiones, vía sensor remoto, en accesos de entrada a la Megalópolis, con el objetivo de verificar el cumplimiento de la normatividad ambiental en la materia. Las campañas se realizarán durante el periodo de los años 2020 al 2024, abarcando preferentemente los meses de marzo a mayo un día de la semana, en las plazas de cobro designadas por la CAMe.

Los resultados de las campañas aportarán elementos para desarrollar una estrategia que permita incrementar el número de vehículos que son llevados revisión de sus emisiones y de esta manera garantizar el cumplimiento de los límites máximos permitidos, de acuerdo a la normatividad vigente. Adicionalmente, se generarán insumos y conocimientos para el diseño de políticas públicas para la gestión integral de la calidad del aire en la Megalópolis.

1.4. Justificación jurídica y programática

La Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos en su Artículo 4° señala que toda persona tiene derecho a un medio ambiente adecuado para su desarrollo y bienestar.

También se fundamenta en los artículos 109 Bis, 110, y 111 de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al

Ambiente y su Reglamento en materia de prevención y control de la contaminación de la atmósfera.

Se tomará como parámetro normativo las Normas Oficiales Mexicanas que regulan las materias de exposición a contaminantes criterio por fuentes móviles de circulación (NOM-167-SEMARNAT2017, NOM-041-SEMARNAT-2015, NOM-047-SEMARNAT-2014, NOM-045-SEMARNAT-2017).

Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024 - Eje "Bienestar"

Objetivo 2.5. Garantizar el derecho a un medio ambiente sano con enfoque de sostenibilidad de los ecosistemas, la biodiversidad, el patrimonio y los paisajes bioculturales.

Estrategia 2.5.8. Promover la gestión, regulación y vigilancia para prevenir y controlar la contaminación y la degradación ambiental.

Agenda del Desarrollo Sostenible 2030

ODS 11. Conseguir que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles. Meta 6. Para 2030, reducir el impacto ambiental negativo per cápita de las ciudades, incluso prestando especial atención a la calidad del aire y la gestión de los desechos municipales y de otro tipo.

ODS 13. Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos. Meta 2. Incorporar medidas relativas al cambio climático en las políticas, estrategias y planes nacionales.

II. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Identificar a vehículos automotores que circulan con altas emisiones en accesos de entrada a la Megalópolis y generar información que apoye el diseño de estrategias de gestión de calidad del aire relacionadas con esta fuente de emisión.

2.2. Objetivos particulares

i. Medir las emisiones de escape de los vehículos automotores que ingresan a la Megalópolis por las principales plazas de cobro.
ii. Evaluar el cumplimiento de los límites establecidos en la NOM-167-SEMARNAT-2017.
iii. Proveer a la CAMe de información técnica para el desarrollo de procesos normativos y el diseño de políticas públicas en la materia.

III. ASOCIADOS EN EL PROYECTO

El proyecto cuenta con la participación de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes Federal (SCT), para proporcionar información del padrón vehicular con placa federal, así como para otorgar los permisos necesarios, a través de Caminos y Puentes Federales (CAPUFE), para la instalación de los sistemas de medición de emisiones vehiculares. Asimismo, se cuenta con la participación de la Guardia Nacional (GN) para apoyar la seguridad en los puntos de medición. Las autoridades

ambientales de las entidades de la Megalópolis participan proporcionando información de su padrones vehiculares y la vinculación con las instancias de vigilancia ambiental y tránsito.

IV. Beneficios e impactos esperados

El proyecto es de impacto regional, por lo que generará información útil para las autoridades de las entidades de la Megalópolis, así como para la SEMARNAT. El desarrollo del proyecto beneficiará directamente a toda la población urbana de la Megalópolis (30 millones de personas).

Se espera que el proyecto aporte elementos para diseñar e implementar programas que incentive a los propietarios y conductores de los automotores a mejorar las condiciones de mantenimiento y operación de los vehículos, a fin de cumplir con los límites máximos permisibles de emisión de contaminantes establecidos en la normatividad vigente, lo cual tendrá un impacto directo en la calidad del aire y la salud de la población de la Megalópolis.

V. Metodología

Las emisiones de origen vehicular son el resultado directo del uso de combustibles fósiles, como la gasolina y el diésel, aunque 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; así como la velocidad de circulación.

Los vehículos en circulación de mayor edad, con un mantenimiento deficiente, sin tecnologías para el control de emisiones son los que presentan una mayor tasa de emisión por distancia recorrida; además, si la unidad es de uso intensivo, se convierte en un automotor ostensiblemente contaminante dada la gran masa de emisiones generadas y lanzadas al aire.

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, dado que permite obtener, en poco tiempo, datos de emisiones de miles de vehículos bajo condiciones reales de circulación.

Estas mediciones se acompañan de una fotografía de la parte trasera del automotor lo cual permite la identificación de las características particulares de cada unidad, como son marca, sub-marca, modelo, combustible utilizado, lugar en donde está registrado, resultado obtenido en la verificación vehicular más reciente, etc., información indispensable para la caracterización del parque vehicular de cada entidad objeto de este estudio.

5.1 Características de la técnica de medición

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.

Los equipos de detección remota propiedad del INECC corresponden a dos AccuScan RSD4600, los cuales son la versión más actual de este tipo de instrumentos. Los instrumentos se transportan en dos distintos tipos de automotores, uno de los cuales esta instrumentado para obtener datos de unidades con escape alto (generalmente automotores que utilizan diésel como combustible) o bajo (principalmente automotores que utilizan gasolina), en tanto que el otro sólo puede ser utilizado para unidades con escape bajo. Asimismo, es posible configurar uno de los automotores para operar, en un mismo punto de medición, ambos equipos y obtener emisiones de unidades con escape alto y bajo al mismo tiempo.

Los medidores pueden obtener la medición de los siguientes contaminantes:

i. Monóxido de carbono (CO),
ii. Bióxido de carbono (CO_2),
iii. Hidrocarburos (HC),
iv. Óxido nítrico (NO), y
v. Opacidad (factor de humo).

La técnica de medición del sensor remoto consiste en la emisión de un haz de luz infrarrojo a lo largo de una trayectoria a través de la vialidad de interés, a la altura del tubo de escape de gases de los vehículos, hacia una serie de detectores en donde se mide las relaciones HC/CO_2 y CO/CO_2; mientras que la relación del NO respecto al CO_2 y opacidad se lleva a cabo utilizando una fuente de luz ultravioleta.

Los registros de las mediciones de contaminantes se expresan en partes por millón (ppm) para los hidrocarburos y el óxido

nítrico, porcentaje de volumen (%vol.) para el monóxido y bióxido de carbono y en gramos de partículas por 100 gramos de combustible para el factor de humo.

Asimismo, el sistema cuenta con sensores que permiten cuantificar la velocidad y la aceleración de cada vehículo monitoreado, parámetros determinantes para definir la validez de las lecturas registradas ya que, en ciertas de condiciones de aceleración y/o velocidad, las mediciones no son válidas, por ejemplo durante aceleraciones negativas que corresponden a situación de frenado de los automotores.

Estos sensores están sincronizados con el equipo que registra las emisiones vehiculares y con una cámara digital, con la cual se toma una fotografía de la parte trasera de cada unidad con la intención de obtener una imagen de cada matrícula y, posteriormente, obtener los datos técnicos del vehículo, y poder relacionarlos son sus emisiones. La Figura 1 muestra los elementos básicos del equipo de medición remota: el detector de emisiones, las barras de detección de velocidad / aceleración y el sistema de video.

Figura 1. Elementos del equipo de detección remota para medir la emisión de gases provenientes de escapes altos y bajos.

Fuente: INECC, 2019.

Las mediciones realizadas son almacenadas en un equipo de cómputo, en donde las lecturas de los gases contaminantes, la aceleración y la velocidad son evaluadas para detectarse resultados irregulares; en cuyo caso, el sistema crea banderas de alerta para que los datos no sean tomados en cuenta durante el análisis de la información.

5.2 Criterios de selección de los puntos de muestreo

i. Flujo vehicular que se ubique entre 800 y 1,100 vehículos por hora para asegurar suficiencia de información para la realización del análisis estadístico.
ii. Suelo seco, sin la presencia de piedras o materiales que puedan dañar los equipos.
iii. Zona que permita instalar con seguridad el equipo de detección remota y que, con ello, no se obstruyan las actividades de los comercios, centros educativos y demás establecimientos cercanos.
iv. Con dos o tres carriles para evitar grandes conflictos viales (en vialidades con mayor número de carriles) dado que la medición exige reducir a un carril la vialidad para poder dirigir los vehículos, uno a uno, por entre las barras de detección de velocidad / aceleración y a través del haz de luz que permite la lectura de emisiones.
v. Contar con pendiente positiva, para asegurar que el vehículo transite en aceleración y con una velocidad comprendida entre los 30 y 40 kilómetros por hora, al momento de pasar frente al equipo analizador de gases.
vi. Como herramientas de apoyo en la selección de los sitios de muestreo se revisa la cartografía de la red vial y de uso de suelo de la cuidad.

5.3 Captura y depuración de la información

Una vez terminado el proceso de recopilación de la información de emisiones en campo, se lleva a cabo la captura manual del

número de placa a partir del archivo fotográfico para asociarla con las emisiones medidas.

Además de registros del número de placa, también se realiza la captura del tipo de vehículo, conforme a la siguiente clasificación: compactos y subcompactos, sport utility vehicles (SUV), VAN, pick up, motocicletas, camiones ligeros, medianos, pesados, tanto de transporte público como de transporte de carga. **Ver Anexo 1. Catálogo de clasificación vehicular.**

Control de calidad de la captura de información

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

1. Se lleva 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 obtienen mediante la siguiente ecuación:

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

Dónde:

n = tamaño de la muestra.

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

h = 1, 2,. . ., 7 es el día en que se realizó la captura de las placas de los vehículos.

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

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

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

α = nivel de significancia.

Se utiliza un nivel de significancia del 1% (α = 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% (S2 = 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 seleccionan aleatoriamente los registros a ser revisados a partir de su número consecutivo en la base de datos.
3. Se procede a comparar el número de placa capturado con la fotografía correspondiente a estos registros. Como criterio general, para cada uno de los días, si en más del 5% de los registros seleccionados para revisión la placa capturada no coincide la fotografía tomada por el equipo de detección remota con el registro manual de la misma, se capturan nuevamente todos los registros de ese día.

5.4 Validación y procesamiento de la información

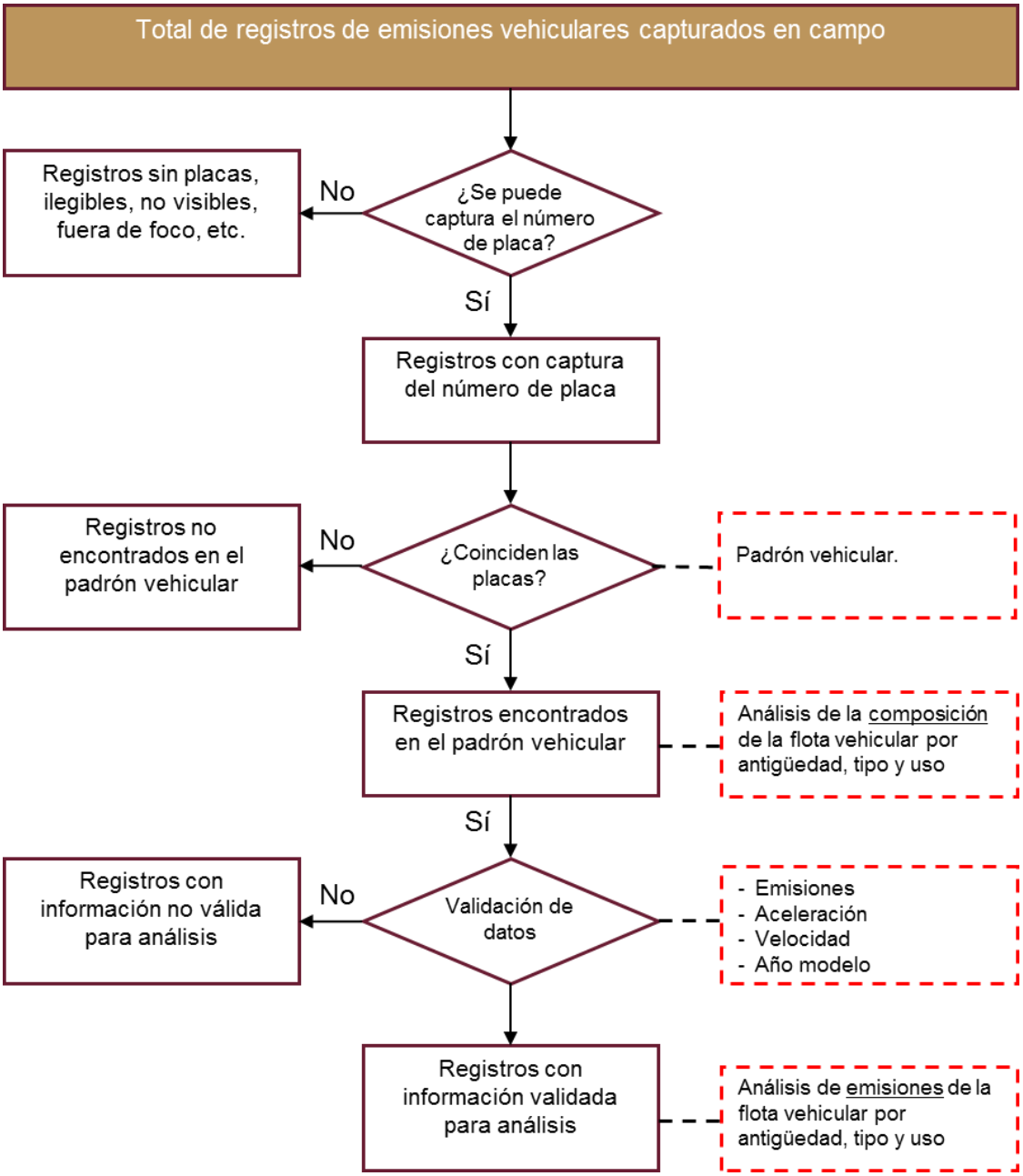
Los resultados de emisiones se validaran en base a la concentración de contaminantes. Para tal efecto, se utilizan los siguientes criterios (Bishop G.A y D.H. Stedman, 2006 y Popp et al., 1999):

i. Si la concentración de CO medida resulta menor a -1 o mayor a 21 (% en volumen), entonces las lecturas de todos los gases se consideran no válidas.
ii. Si la concentración medida de HC resulta menor a -1000 ppm o mayor a 40,000 ppm, entonces las lecturas de todos los gases se consideran no válidas.
iii. Si la concentración medida de NO resultó menor a -700 ppm o mayor a 7000 ppm, entonces las lecturas de todos los gases se consideran no válidas.

La base con los registros validos se compara con el padrón vehicular de la entidad o región para asignar el año-modelo, cilindros, cilindrada, combustible, tipo y uso que corresponde a cada automotor.

La base de datos final se conforma con los vehículos a los que se les pudo identificar y asignar información del modelo, combustible y uso, información que se utiliza para realizar el análisis de estadística descriptiva e inferencial.

Figura 2. Proceso de validación y análisis de los datos generados por medición remota de contaminantes.



Fuente: INECC, 2019.

La primera base de datos permite identificar las características de la muestra obtenida en términos de sus emisiones, de su antigüedad y del tipo de servicio, en tanto

que la segunda permite realizar supuestos sobre la población que se está examinando, los cuales son soportados en pruebas probabilísticas que rigen la certidumbre de los resultados presentados (por ejemplo, los intervalos de confianza).

La información que se obtiene permite identificar al sector vehicular con mayor tasa de emisión para cada contaminante, unidades cuyas emisiones son ostensibles[4], comparación entre las emisiones de unidades monitoreadas con sensor remoto y en centros de verificación, comparación de emisiones de unidades de distintas entidades respecto a las de la megalópolis, etc.

Los indicadores de emisiones vehiculares se elaboran en función de los límites de emisión establecidos para la técnica de detección remota en la norma oficial mexicana NOM-167-SEMARNAT-2017, Que establece los límites máximos permisibles de emisión de contaminantes para los vehículos automotores que circulan en las entidades federativas Ciudad de México, Hidalgo, Estado de México, Morelos, Puebla y Tlaxcala; los métodos de prueba para la evaluación de dichos límites y las especificaciones de tecnologías de información y hologramas.

5.5 Caracterización del parque vehicular

i. Desarrollo de la caracterización de las emisiones de automotores diésel y gasolina, incluyendo criterios como la tecnología, uso, combustible y antigüedad.

[4] En la NOM-167-SEMARNAT-2017 se considera a un vehículo automotor, a gasolina o diésel, ostensiblemente contaminante, cuando registre emisiones mayores a los límites indicados en esta misma norma, conforme al método de prueba de detección remota.

La caracterización de la flota vehicular que se registra en campo con el equipo de detección remota, se realiza a través del archivo fotográfico que se obtiene mediante esta técnica de medición, lo cual permite identificar la carrocería del equipo y por tanto conocer el tamaño y tipo de vehículo (Ver Anexo 1. Catálogo de clasificación vehicular). Adicionalmente, la fotografía permite identificar la matrícula de cada unidad para posteriormente obtener los datos técnicos del vehículo, como son, por ejemplo, marca, sub-marca, el año modelo, tipo de combustible que utiliza, uso, procedencia, entre otros. La cantidad y calidad de la información que se obtiene depende, en gran medida, de la calidad de las bases de datos de los padrones vehiculares de cada entidad de la CAMe y de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes Federal (SCT).

ii. Estimación de la cantidad de automotores con altas emisiones.

La estimación de la cantidad de automotores con altas emisiones se realizará en función de los límites de emisión establecidos para la técnica de detección remota en la norma oficial mexicana NOM-167-SEMARNAT-2017, Que establece los límites máximos permisibles de emisión de contaminantes para los vehículos automotores que circulan en las entidades federativas Ciudad de México, Hidalgo, Estado de México, Morelos, Puebla y Tlaxcala; los métodos de prueba para la evaluación de dichos límites y las especificaciones de tecnologías de información y hologramas.

Los límites establecidos en la NOM-167-SEMARNAT-2017, son los siguientes:

Combustible	CO (% en volumen)	HC (ppm de hexano)	NO (ppm)	Factor de humo (g de partículas/100 g de combustible)
Gasolina	4.5	600	2,500	NA
Diésel	NA	NA	3,000	0.5

NA: no aplica

Fuente: NOM-167-SEMARNAT-2017, publicada en el DOF el 15 de febrero de 2018.

iii. Comparativo del desempeño ambiental por procedencia del parque vehicular.

A través de la identificación de la matrícula de cada vehículo, entre otros datos, se puede identificar la procedencia de la unidad. Con esta información, se realizan comparativos de emisiones entre las flotas de vehículos provenientes de diferentes entidades del país, incluyendo matrículas por jurisdicción. La calidad de este análisis depende, en gran medida, de la calidad de las bases de datos con que se obtienen de los padrones vehiculares de cada entidad de la CAMe y de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes Federal.

VI. RESULTADOS

6.1. Acciones de coordinación

Como parte del trabajo de campo y de las acciones de coordinación, la Coordinación Ejecutiva de la CAMe en conjunto con el INECC, la Subsecretaría de Planeación y Política Ambiental de la SEMARNAT y de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes Federal (SCT), realizó las gestiones correspondientes para obtener los permisos de Caminos y Puentes Federales (CAPUFE) y de la Operadora y Mantenedora del Golfo-Centro, a fin de instalar los equipos de medición en las plazas de cobro que dan acceso a la Zona Metropolitana del Valle de México.

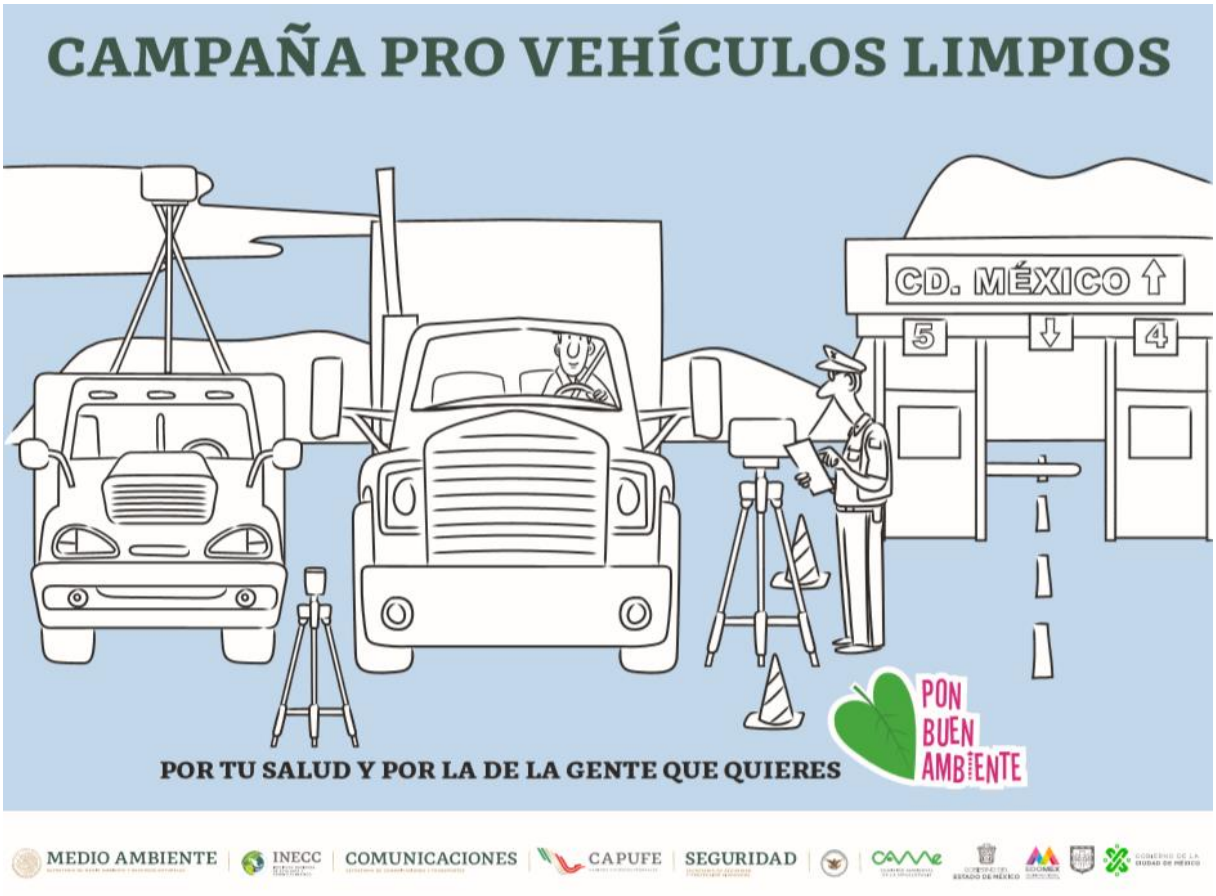
Así mismo, se gestionaron los permisos ante la Guardia Nacional (GN), perteneciente a la Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana, para recibir su apoyo de seguridad vial durante la instalación, operación y desinstalación de los equipos de medición.

En las siguientes imágenes se observa la coordinación de las diferentes dependencias participantes durante el trabajo de campo.

1. Apoyo de CAPUFE y Operadora y Mantenedora del Golfo-Centro para la instalación de los equipos de medición en sus instalaciones.

2. Apoyo de la Guardia Nacional durante la instalación, operación y desinstalación de los equipos de medición en sus instalaciones.

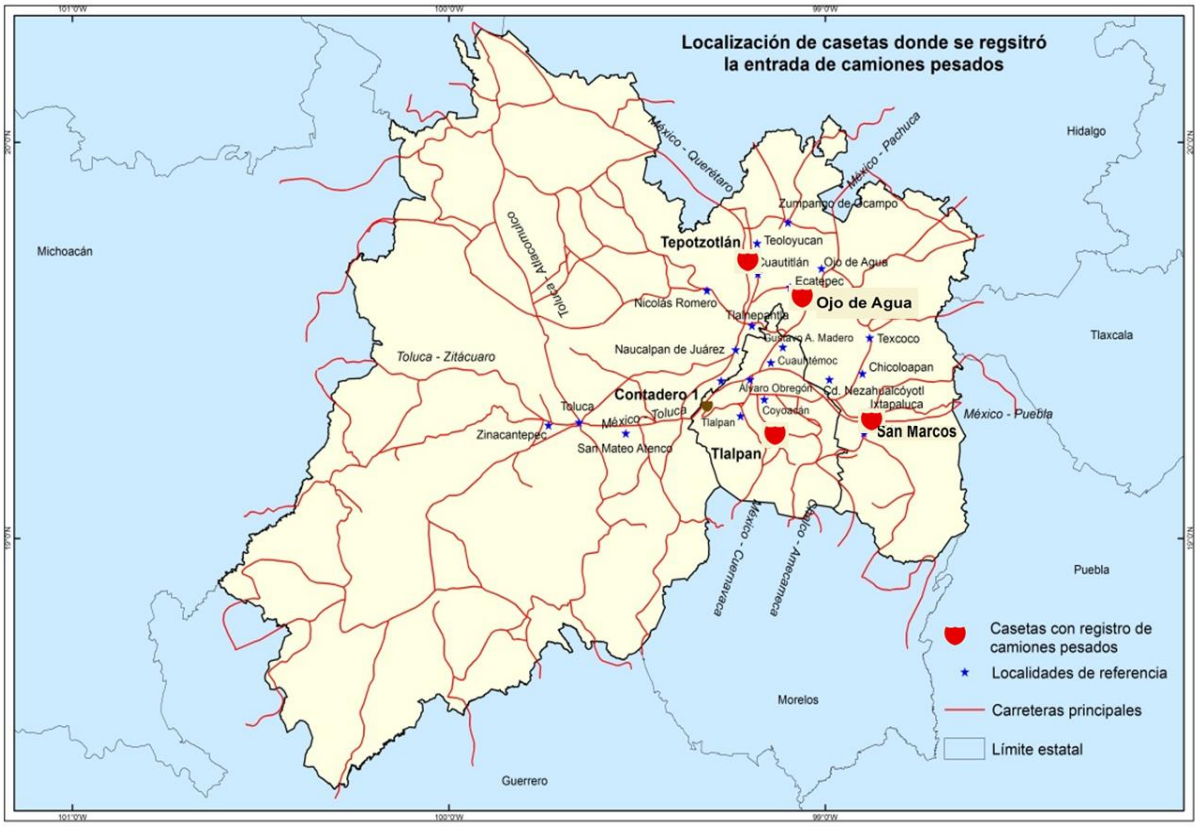
3. Colocación de manta informativa con nombre de la campaña y participantes.



6.2. Recopilación de información

La recopilación de la información de emisiones vehiculares se realizó del 13 de mayo al 30 de junio del 2021 (Ver calendarios de medición en el Anexo 2) en cuatro accesos carreteros al Valle de México (plazas de cobro Ojo de Agua, San Marcos, Tepotzotlán y Tlalpan), cuya ubicación se observa en la Figura 3.

Figura 3. Ubicación de las plazas de cobro muestreadas que dan acceso al Valle de México.



Fuente: INECC-CGCSA, 2017.

Durante el periodo de medición, se logró la recopilación de 11,562 registros de emisiones vehiculares, los cuales se resumen por plaza de cobro en el siguiente cuadro.

Cuadro 1. Número de vehículos medidos por caseta de cobro.

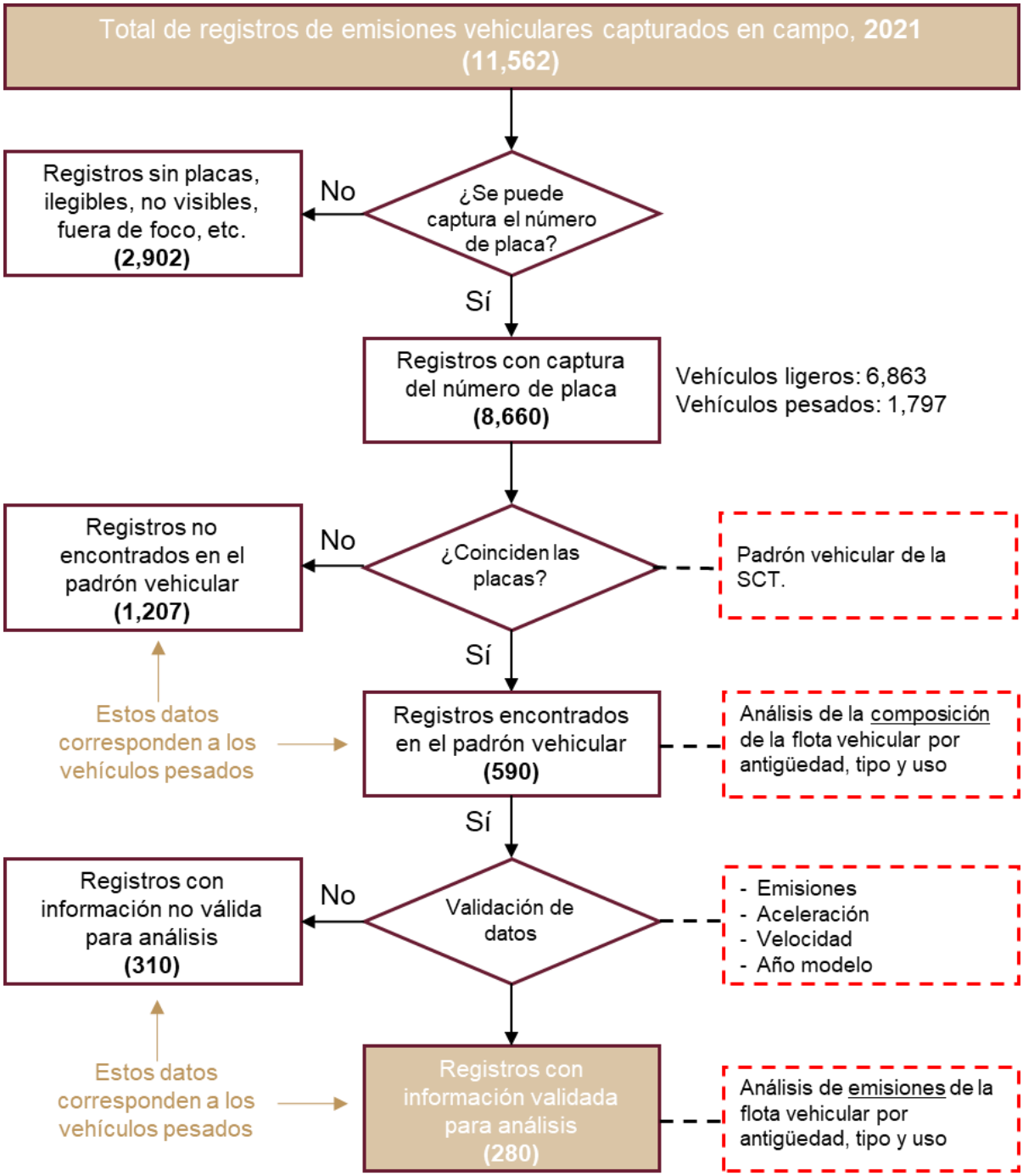
Plaza de cobro	Número de registros
Tepotzotlán, México-Querétaro	3,811
San Marcos, México-Puebla	2,074
Ojo de Agua, México-Pachuca	2,460
Tlalpan, México-Cuernavaca	3,217
Total	**11,562**

Fuente: INECC-CGCSA, 2021.

Después de realizar la recopilación de la información de emisiones vehiculares en campo, se capturó el número de matrícula, con la intención de obtener, a través de la base de datos de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), las características técnicas de la unidad, como es su edad, servicio que presta, combustible, tamaño de motor, entre otras. Además, mediante la fotografía de cada vehículo que se tomó en campo, se realizó la clasificación de los vehículos de acuerdo con el catálogo que se muestra en el Anexo A.

La Figura 4 muestran el proceso de depuración de los datos recopilados en campo y su uso en cada etapa del análisis de la información.

Figura 4. Proceso de depuración de datos de medición de emisiones vehiculares en plazas de acceso a la Zona Metropolitana del Valle de México durante 2021.



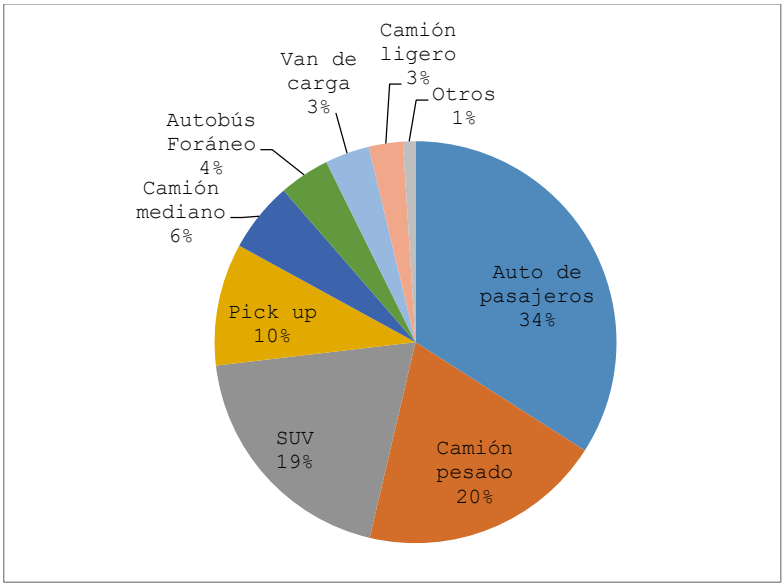
Fuente: INECC, 2021.

6.3. Caracterización del parque vehicular general

De los automotores medidos en las casetas, el 53% son vehículos ligeros particulares (autos compactos, subcompactos y camionetas tipo SUV), el 4% son autobuses foráneos y el 28% son camiones de carga ligeros, medianos y pesados, el resto (15%) son camionetas tipo pick up y van.

De estos datos podemos estimar que el parque vehicular a diésel (autobús foráneo, camiones de carga medianos y pesados) representa el 29% de los vehículos que ingresan al Valle de México.

Figura 5. Composición por tipo de vehículo de la flota que circuló en 2021 por las plazas de acceso al Valle de México.

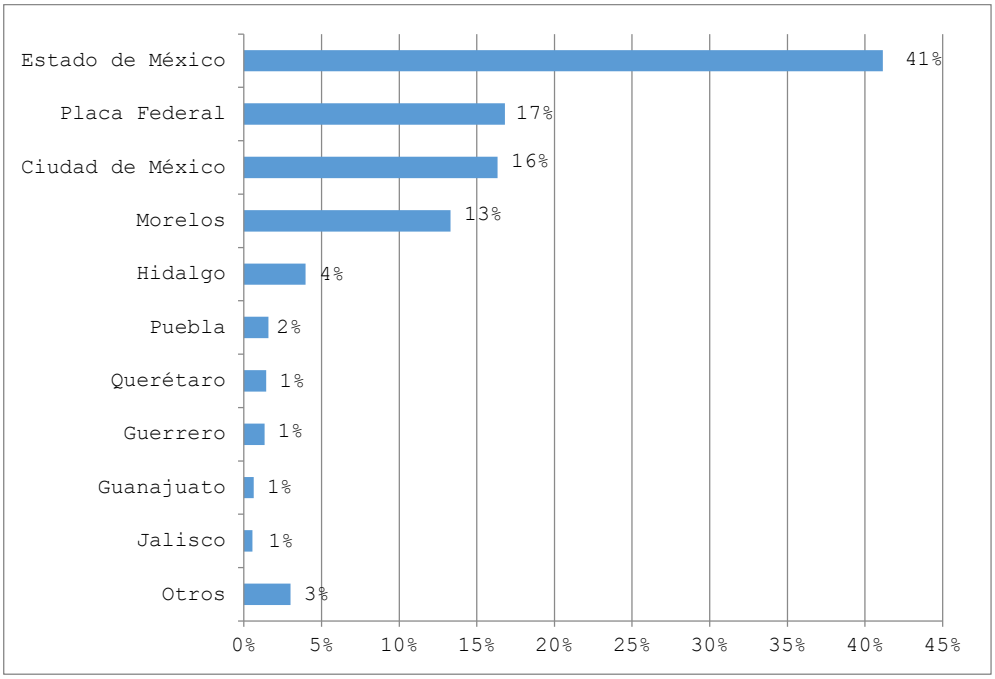


Fuente: INECC-CGCSA, 2021.

Para obtener la procedencia del automotor, se hizo uso del registro de número de placa obtenido con el sensor remoto, así como del catálogo de asignación de placa por entidad

federativa y tipo de vehículo establecido en la NOM-001-SCT-2-2016[5]. Se encontró que el 17% de los automotores portan placa federal que es expedida por la SCT, el 16% de la Ciudad de México, el 41% porta placa del Estado de México, y el 20% de otras entidades de la Megalópolis como son Morelos, Hidalgo y Puebla).

Figura 6. Composición por procedencia de la flota vehicular que circuló en el 2021 por las plazas de acceso al Valle de México.



Fuente: INECC-CGCSA, 2021.

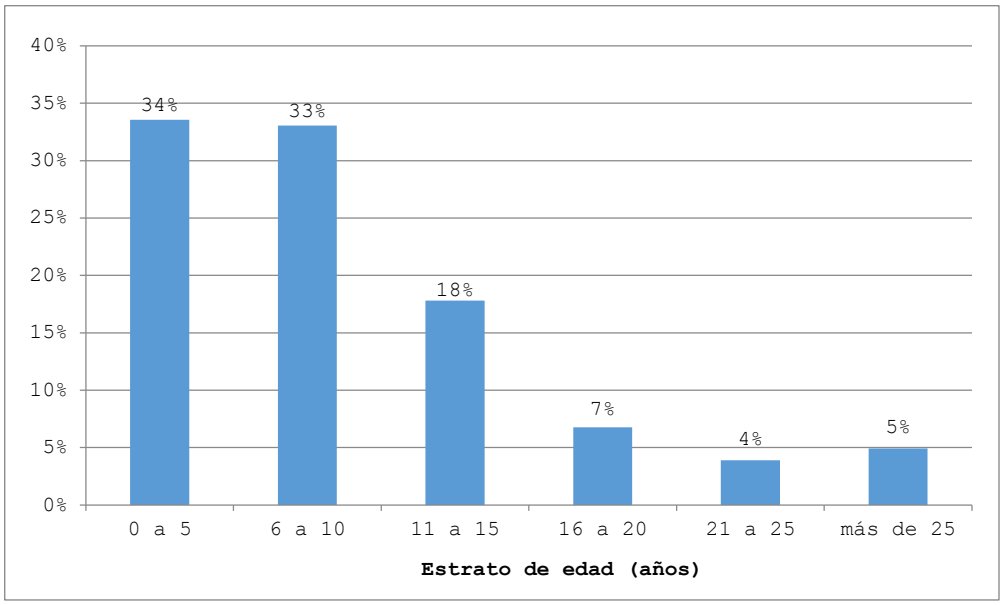
[5] NORMA Oficial Mexicana NOM-001-SCT-2-2016, Placas metálicas, calcomanías de identificación y tarjetas de circulación empleadas en automóviles, tracto-camiones, autobuses, camiones, motocicletas, remolques, semirremolques, convertidores y grúas, matriculados en la República Mexicana, licencia federal de conductor, calcomanía de verificación físico-mecánica, listado de series asignadas por tipo de vehículo, servicio y entidad federativa o dependencia de gobierno, especificaciones y método de prueba. Publicado en el Diario Oficial de la Federación el 24 de junio de 2016.

6.4. Caracterización del parque de vehículos pesados

Como vehículos pesados se consideran las categorías de autobuses urbanos y foráneos, carga ligera (camionetas de doble rodada), carga mediana (torton) y carga pesada (tracto-camiones).

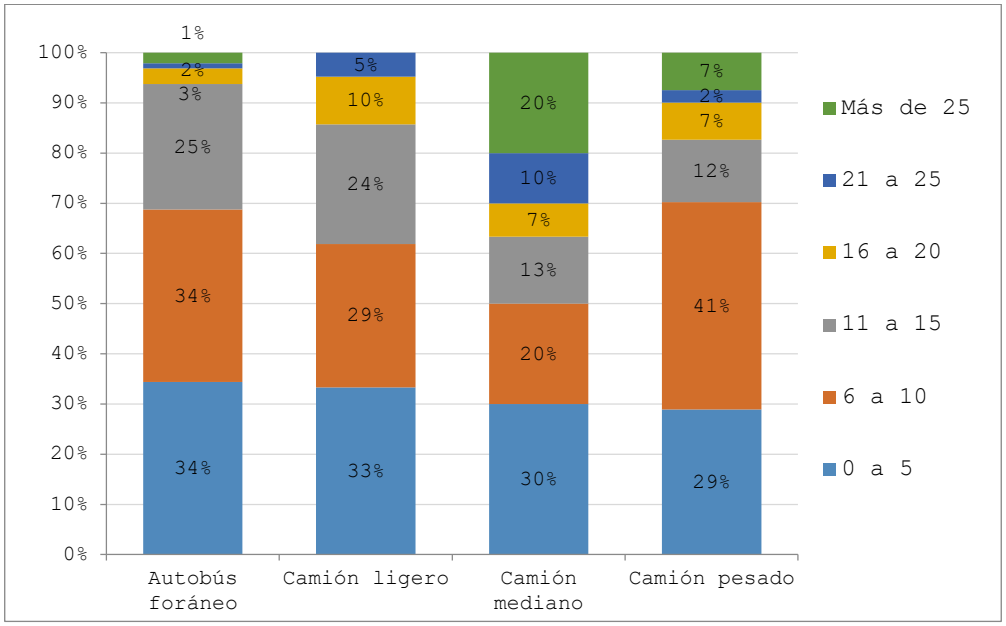
De las 590 placas que se identificaron en la base de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), el 34% corresponden a vehículos de hasta 5 años de antigüedad, el 33% a vehículos de 6 a 10 años de edad, y el resto (33%) tienen más de 11 años de edad, entre estos últimos se encuentran 9 vehículos que tienen entre 41 y 48 años de edad.

Figura 7. Composición por estrato de edad de la flota de vehículos pesados que circuló en el 2021 por las plazas de acceso al Valle de México.



Fuente: INECC-CGCSA, 2021.

Figura 8. Composición por estrato de edad de la flota de vehículos pesados que circuló en 2021 por las casetas de acceso al Valle de México.



Fuente: INECC-CGCSA, 2021.

Como se puede observar en la Figura 8, considerando el tipo de vehículo, los autobuses de turismo o foráneos son las unidades de año modelo más reciente, ya que el 70% tiene de 0 a 10 años, y los camiones medianos de carga son los que tiene mayor cantidad de vehículos con una antigüedad de más de 25 años.

6.5. Resultados de emisión

6.4.1. Análisis por estrato tecnológico

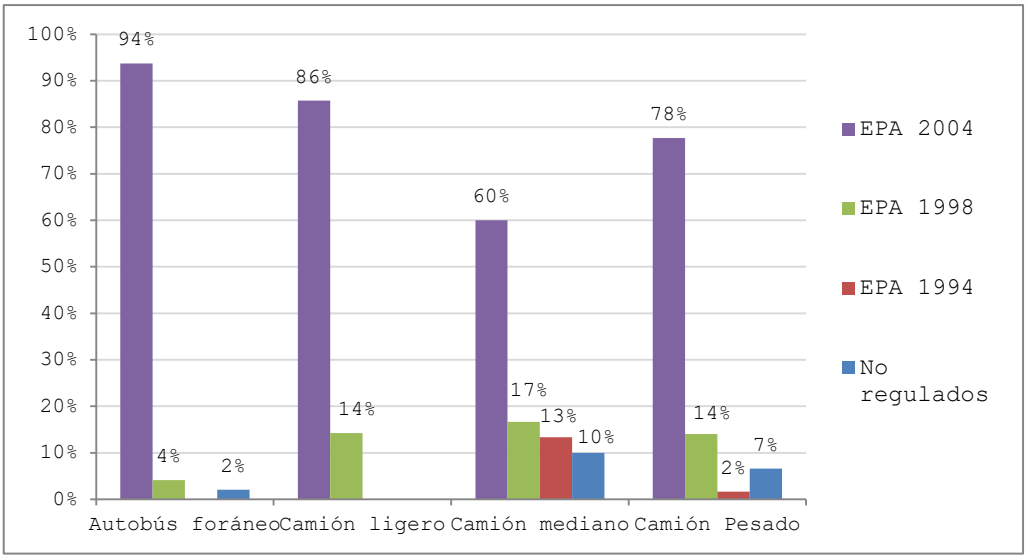
El análisis de emisiones considera una comparación de las emisiones de los vehículos pesados agrupados en cuatro estratos de año-modelo que corresponden a cambios tecnológicos en los vehículos, de acuerdo con los requerimientos de la normatividad mexicana para automotores pesados nuevos (NOM-

044-SEMARNAT y sus diferentes actualizaciones). Los estratos son los siguientes:

1) 2008 y posteriores, EPA-2004
2) 1998 a 2007, EPA-1998
3) 1994 a 1997, EPA-1994
4) 1993 y anteriores, tecnología no regulada, es decir, vehículos que entraron al país cuando aún no había legislación en México que regulara su tecnología.

Como se puede observar en la Figura 9, en todas las clases de vehículos predominan los automotores EPA-2004 o EURO IV, principalmente en los autobuses foráneos donde representan el 94% de la flota. En los camiones medianos hay la mayor proporción de vehículos no regulados, lo cual era de esperarse ya que tienen los vehículos más viejos de la flota de camiones de carga.

Figura 9. Composición tecnológica de la flota de vehículos pesados que circuló en las plazas de acceso al Valle de México en el 2021.



Fuente: INECC-CGCSA, 2021.

En cuanto a la emisión de contaminantes a la atmósfera, para cada estrato de edad se calculó el tamaño de muestra, el promedio, la desviación estándar y la mediana; se realizó una comparación de las emisiones de CO, CO_2, HC, NO y factor de humo, como a continuación se describe.

Para los estratos de vehículos 1994-1997 y 1993 y anteriores se tiene un tamaño de muestra de 6 y 12 observaciones, respectivamente, lo cual gráficamente muestra cajas de bigote compactas, es decir, sin mucha variabilidad entre los datos. Cabe mencionar que la flota de este estrato de vehículos, 1994 y anteriores, cada vez se reduce más por su antigüedad, por lo que se espera que la muestra sea menor en comparación con los estratos vehiculares más recientes. Los resultados de emisiones de estos estratos vehiculares se tomarán como indicativos en este informe, esperando tener análisis más robustos con la recopilación de una mayor cantidad de datos durante la campaña de octubre-diciembre de 2021 y en los años posteriores.

Monóxido de carbono (CO)

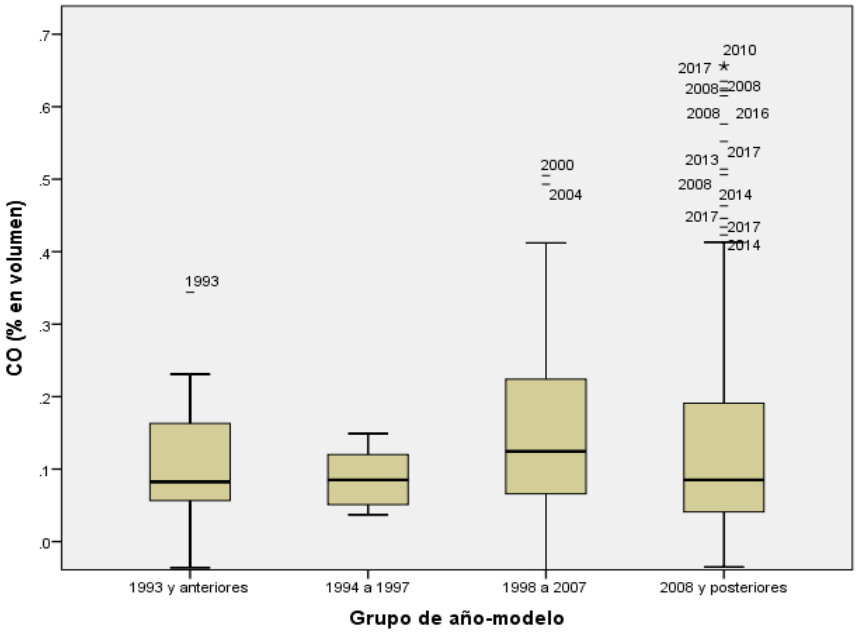
Para comparar las emisiones entre las diferentes categorías de año-modelo se construyeron gráficos de caja. Los resultados para el monóxido de carbono (CO), muestran que el 75% de los vehículos año-modelo 2008 y posteriores emiten menos de 0.2% en volumen, lo mismo sucede con los automotores de año modelo anterior a 1998. En los vehículos más nuevos se observan valores extremos que corresponden a año-modelo 2016 y 2017, lo que indica que estos automotores no están recibiendo un mantenimiento adecuado.

Cuadro 2. Estadísticas descriptivas de CO (% en volumen) por estrato de edad para vehículos pesados que ingresan al Valle de México.

Estrato vehicular	Tamaño de muestra	Promedio	Desviación estándar	Percentil 50 (Mediana)
Todos los vehículos	249	0.16	0.22	0.09
2008 y posteriores	205	0.16	0.23	0.09
1998 a 2007	26	0.20	0.27	0.12
1994 a 1997	6	0.09	0.04	0.09
1993 y anteriores	12	0.11	0.10	0.08

Fuente: INECC-CGCSA, 2021.

Figura 10. Distribución de las concentraciones de CO (% en volumen) por estratos para vehículos pesados que ingresan al Valle de México.



Hidrocarburos (HC)

En cuanto a los hidrocarburos (HC), calculados como hexano, los resultados de la campaña 2021 muestran que la mediana de los vehículos de año-modelo más reciente es de 79 ppm, mientras que para los más antigüos es de 142 ppm.

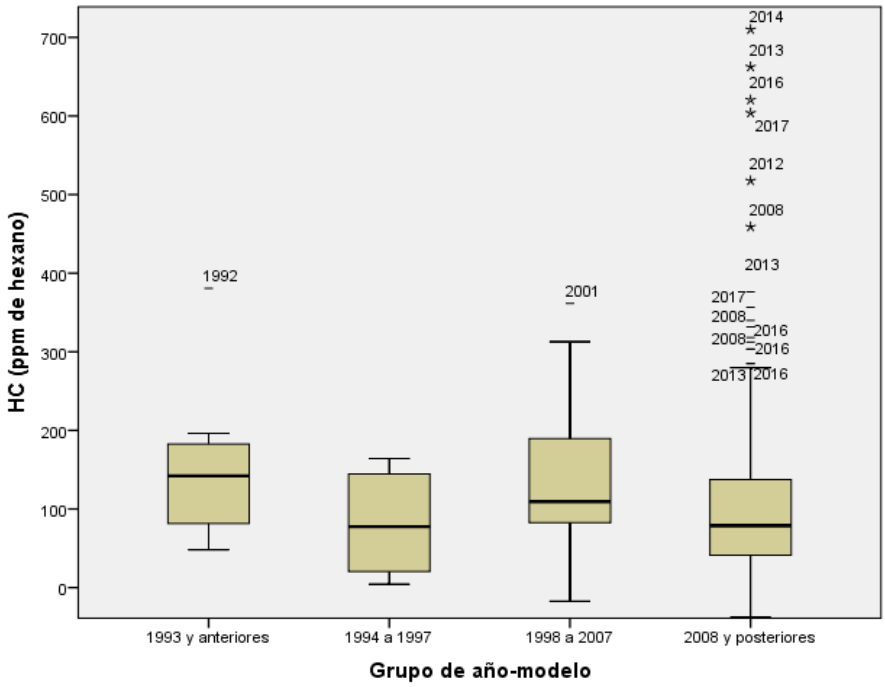
En la Figura 11 se observa que hay automotores modelo 2013, 2014 y 2016 con emisiones superiores a las 600 ppm, lo cual está realacionado, muy probablemente, con una falta de mantenimiento de la unidad, o uso de combustible de mala calidad.

Cuadro 3. Estadísticas descriptivas de HC (ppm de hexano) por estrato de edad para vehículos pesados que ingresan a la Zona Metropolitana del Valle de México.

Estrato vehicular	Tamaño de muestra	Promedio	Desviación estándar	Percentil 50 (Mediana)
Todos los vehículos	249	120	127	86
2008 y posteriores	205	117	134	79
1998 a 2007	26	137	95	109
1994 a 1997	6	81	65	78
1993 y anteriores	12	147	89	142

Fuente: INECC-CGCSA, 2021.

Figura 11. Distribución de las concentraciones de HC (ppm hexano) por estratos para vehículos pesados que ingresan al Valle de México.



Óxido nítrico (NO)

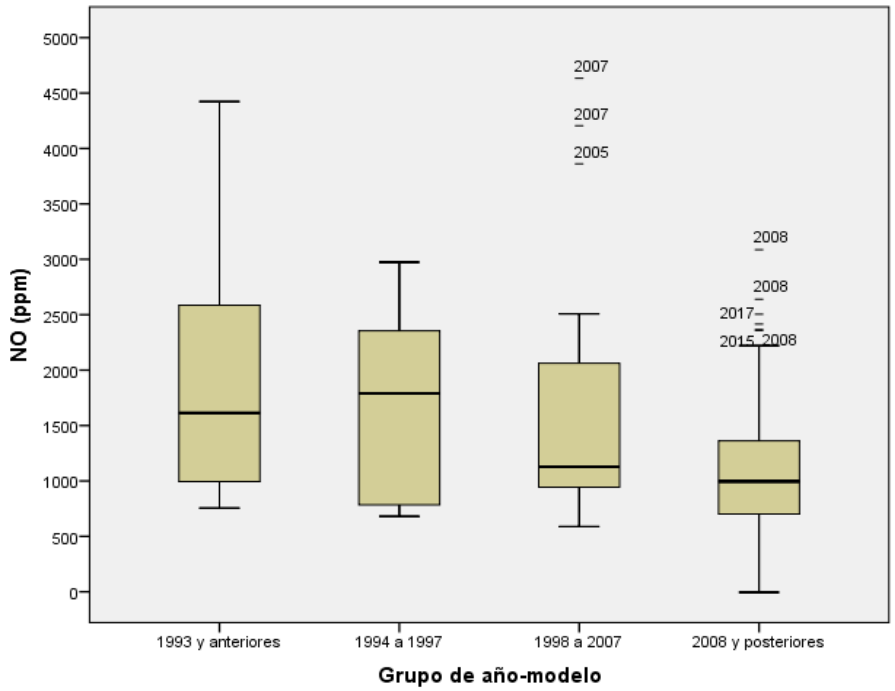
Para el caso de óxido nítrico (NO), la Figura 12 muestra que conforme la flota envejece las emisiones aumentan, mientras que el percentil 75 de los automotores 2008 y posteriores es de 1300 ppm, para los vehículos más vejos es de 2500 ppm. Hay unidades 2008 cuya emisión de óxido nítrico es igual a uno de año modelo 1993.

Cuadro 4. Estadísticas descriptivas de NO (ppm) por estrato de edad para vehículos pesados que ingresan al Valle de México.

Estrato vehicular	Tamaño de muestra	Promedio	Desviación estándar	Percentil 50 (Mediana)
Todos los vehículos	249	1178	692	1025
2008 y posteriores	205	1069	523	996
1998 a 2007	26	1591	1106	1128
1994 a 1997	6	1729	917	1790
1993 y anteriores	12	1857	1134	1613

Fuente: INECC-CGCSA, 2021.

Figura 12. Distribución de las concentraciones de NO (ppm) por estratos para vehículos pesados que ingresan al Valle de México.



Factor de humo (gramos de carbono/100 gramos de combustible)

En cuanto al factor de humo, los resultados de la campaña del primer semestre de 2021 muestra que los vehículos más nuevos, año modelo 2008 y posteriores, emiten la menor cantidad de partículas de diésel, siendo el percentil 75 cercano a 0.2 gramos de partículas por cada 100 gramos de combustible, mientras que el 75% de los vehículos no regulados emiten 0.3 gramos.

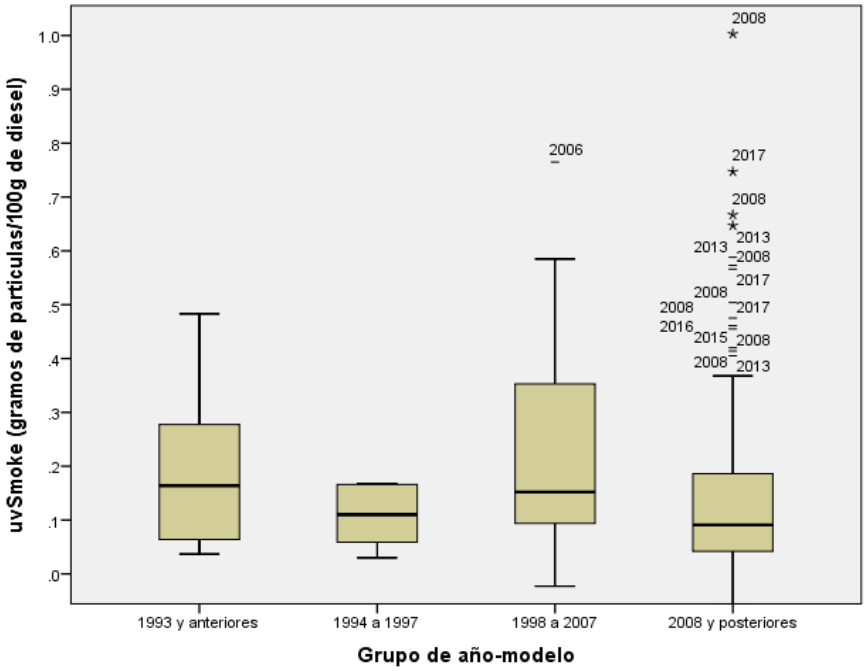
Al igual que los contaminantes antes mencionados, hay vehículos de año-modelo reciente con emisiones tan altas como uno 1993 y anterior, lo cual es consistente con los resultados obtenidos en campañas previas.

Cuadro 5. Estadísticas descriptivas de Factor de humo (gramos de partículas/100 gramos de combustible) por estrato de edad para vehículos pesados que ingresan al Valle de México.

Estrato vehicular	Tamaño de muestra	Promedio	Desviación estándar	Percentil 50 (Mediana)
Todos los vehículos	249	0.17	0.24	0.10
2008 y posteriores	205	0.16	0.21	0.09
1998 a 2007	26	0.30	0.40	0.15
1994 a 1997	6	0.11	0.06	0.11
1993 y anteriores	12	0.18	0.14	0.16

Fuente: INECC-CGCSA, 2021.

Figura 13. Distribución de las concentraciones de factor de humo por estratos para vehículos pesados que ingresan al Valle de México.



6.4.2. Análisis por tipo de vehículo

Como parte del análisis de emisiones de los vehículos automotores que se midieron en los accesos de entrada al Valle de México, se muestran los resultados para vehículos pesados que incluyen a los autobuses urbano y foráneos, así como a los camiones de carga ligera, mediana y pesada.

Monóxido de carbono (CO)

Los resultados muestran que los camiones ligeros de carga son los que emiten mayor cantidad de monóxido de carbono, mientras que los tracto-camiones son los que emiten menos. El percentil 75 de los camiones ligeros es cercano a 0.5% en volumen mientras que para los tracto-camiones es de 0.2% en volumen.

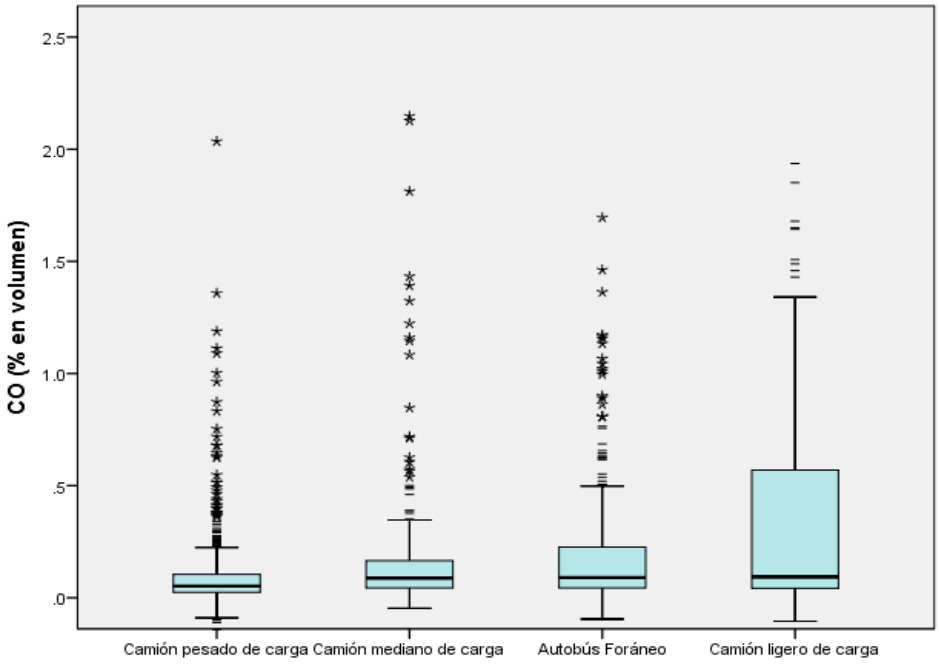
En todos los tipos de vehículos hay valores extremos, algunos corresponden a emisiones de hasta 2.5% en volumen de CO.

Cuadro 6. Estadísticas descriptivas de monóxido de carbono (% volumen) por tipo de vehículo pesado que ingresa al Valle de México.

Estrato vehicular	Tamaño de muestra	Promedio	Desviación estándar	Percentil 50 (Mediana)
Todos los vehículos	6022	0.26	0.78	0.05
Autobús foráneo	341	0.19	0.26	0.09
Camión ligero de carga	181	0.60	1.37	0.09
Camión mediano de carga	296	0.17	0.29	0.09
Camión pesado de carga	596	0.10	0.18	0.05

Fuente: INECC-CGCSA, 2021.

Figura 14. Distribución de las concentraciones de CO (% volumen) por tipo de vehículo pesado que ingresa al Valle de México.



Hidrocarburos (HC)

En cuanto a los hidrocarburos (HC), el percentil 75 de todos los tipos de vehículos no rebasa las 200 ppm de hexano.

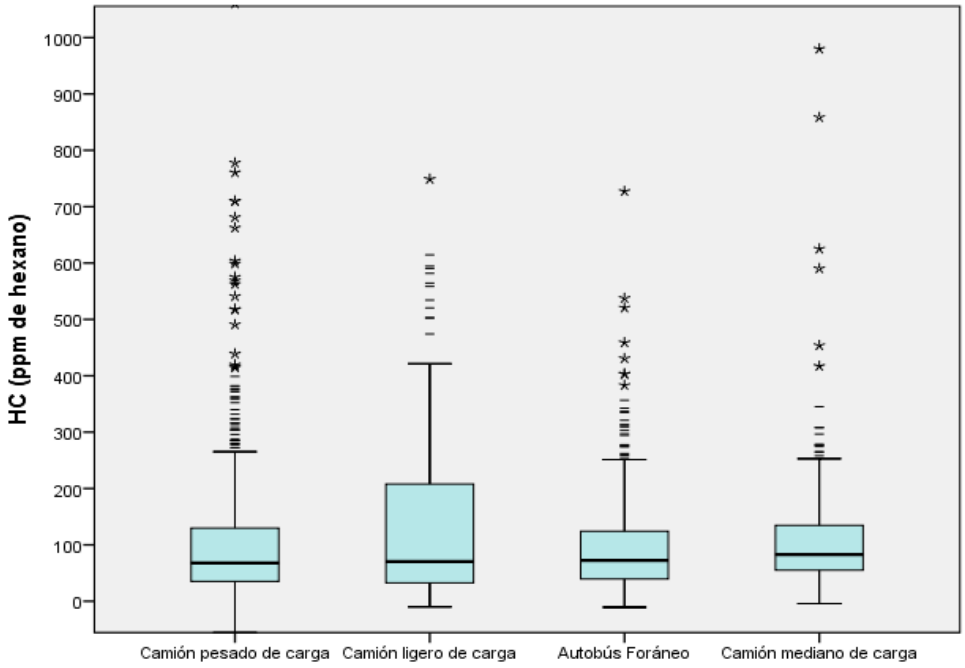
La mediana es muy similar en todas las categorías, en los vehículos más limpios, que son los camiones pesados de carga, este valor es de 68 ppm y en los más contaminantes (autobús foráneo) es de 72 ppm.

Cuadro 7. Estadísticas descriptivas de hidrocarburos (ppm de hexano) por tipo de vehículo pesado que ingresa al Valle de México.

Estrato vehicular	Tamaño de muestra	Promedio	Desviación estándar	Percentil 50 (Mediana)
Todos los vehículos	6022	100	423	35
Autobús foráneo	341	101	94	72
Camión ligero de carga	181	275	888	70
Camión mediano de carga	296	115	128	83
Camión pesado de carga	596	125	290	68

Fuente: INECC-CGCSA, 2021.

Figura 15. Distribución de las concentraciones de HC (ppm de hexano) por tipo de vehículo pesado que ingresa al Valle de México.



Óxido nítrico (NO)

Para el caso del óxido nítrico, los vehículos más contaminantes son los camiones pesados de carga y los más limpios son los ligeros de carga, la mediana de los autobuses foráneos, los medianos y pesados de carga está alrededor de 1100 ppm, mientras que para los ligeros es de 839 ppm.

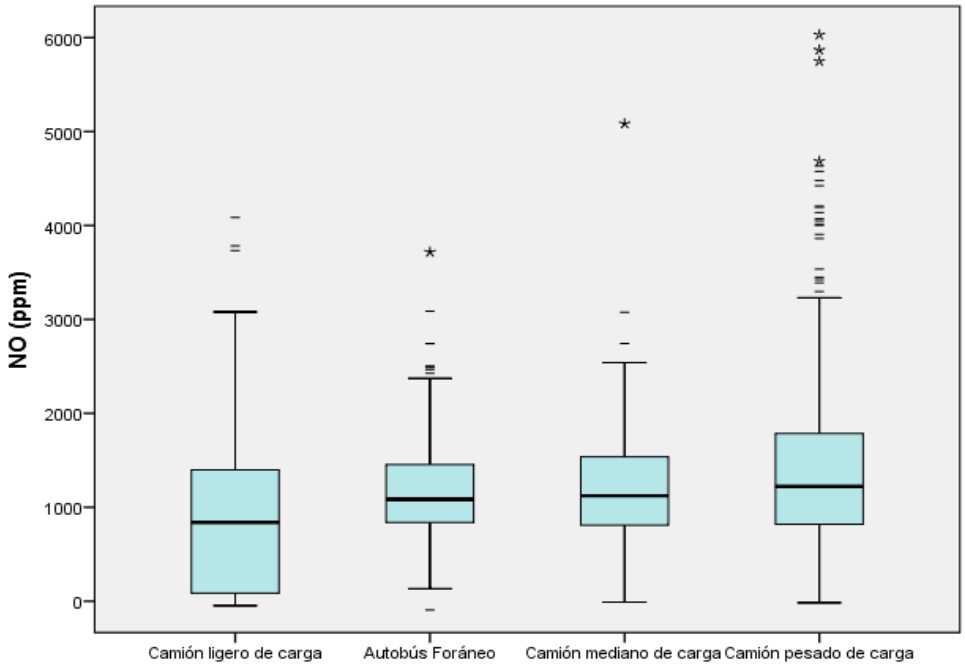
Al igual que los contaminantes anteriores, hay valores extremos en todas los tipos de vehículos, algunos llegan a tener emisiones de 6000 ppm de NO.

Cuadro 8. Estadísticas descriptivas de óxido nítrico (ppm) por tipo de vehículo pesado que ingresa al Valle de México.

Estrato vehicular	Tamaño de muestra	Promedio	Desviación estándar	Percentil 50 (Mediana)
Todos los vehículos	6,022	509	796	76
Autobús foráneo	341	1171	524	1085
Camión ligero de carga	181	913	842	839
Camión mediano de carga	296	1180	575	1122
Camión pesado de carga	596	1399	918	1221

Fuente: INECC-CGCSA, 2021.

Figura 16. Distribución de las concentraciones de NO (ppm) por tipo de vehículo pesado que ingresa al Valle de México.



Factor de humo (gramos de carbono/100 gramos de combustible)

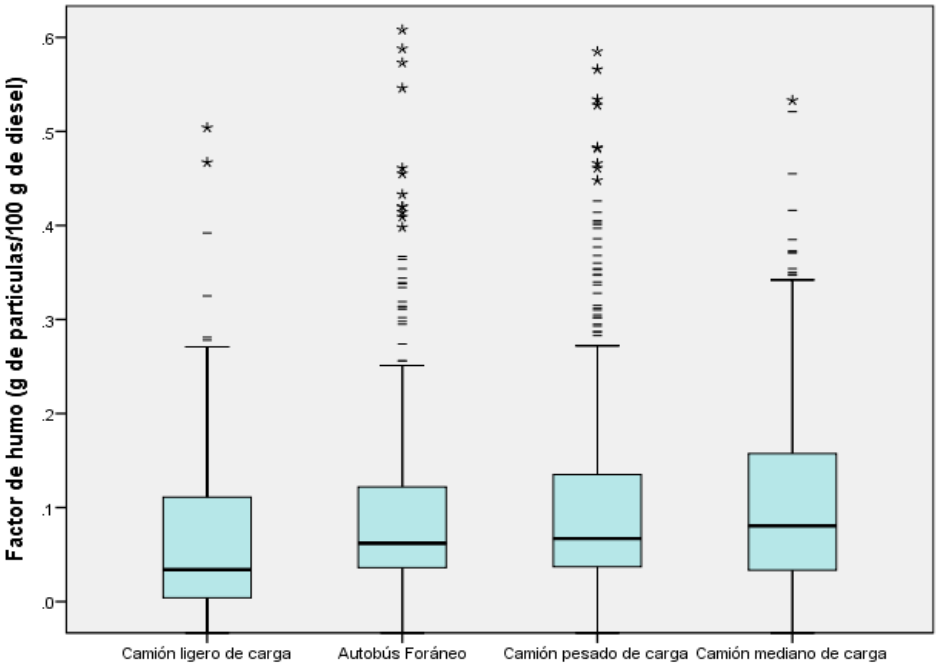
Los resultados indican que los camiones medianos son los que presentan la mayor emisión de partículas de diésel, y los vehículos ligeros son los más limpios. Considerando la mediana, los autobuses foráneos emiten el doble de partículas respecto de los ligeros, y los camiones medianos 2.5 veces más que los ligeros, lo cual podría estar relacionado con que los vehículos ligeros puede ser una flota de año modelo más reciente y mejor tecnología de control de emisiones.

Cuadro 9. Estadísticas descriptivas de factor de humo (gramos de partículas/100 g de diésel) por tipo de vehículo pesado que ingresa al Valle de México.

Estrato vehicular	Tamaño de muestra	Promedio	Desviación estándar	Percentil 50 (Mediana)
Todos los vehículos	6,022	0.05	0.13	0.01
Autobús foráneo	341	0.11	0.15	0.06
Camión ligero de carga	181	0.06	0.09	0.03
Camión mediano de carga	296	0.14	0.23	0.08
Camión pesado de carga	596	0.12	0.20	0.07

Fuente: INECC-CGCSA, 2021.

Figura 17. Distribución de las concentraciones de Factor de Humo (gramos de partículas/100 gramos de combustible) por tipo de vehículo pesado que ingresa al Valle de México.



6.6. Cumplimiento de la NOM-167-SEMARNAT-2017

En la siguiente sección se muestra un análisis del cumplimiento de la normatividad de emisiones para los vehículos pesados en circulación con motor diésel. El análisis se concentra en la emisión de óxidos de nitrógeno (NOx) y factor humo (emisiones de partículas) de acuerdo con los estándares de emisión establecidos en la NOM-167-SEMARNAT-2017, los cuales son de observancia para las entidades que integran la Megalópolis (Ciudad de México, Estado de México, Hidalgo, Morelos, Puebla y Tlaxcala).

Cuadro 10. Límites de emisión para vehículos de cualquier año-modelo evaluados mediante el equipo de detección remota.

Combustible	CO (% en volumen)	HC (ppm de hexano)	NO (ppm)	Factor de humo (g de partículas/100 g de combustible)
Gasolina	4.5	600	2,500	NA
Diésel	NA	NA	3,000	0.5

NA: no aplica

Fuente: NOM-167-SEMARNAT-2017, publicada en el DOF el 15 de febrero de 2018.

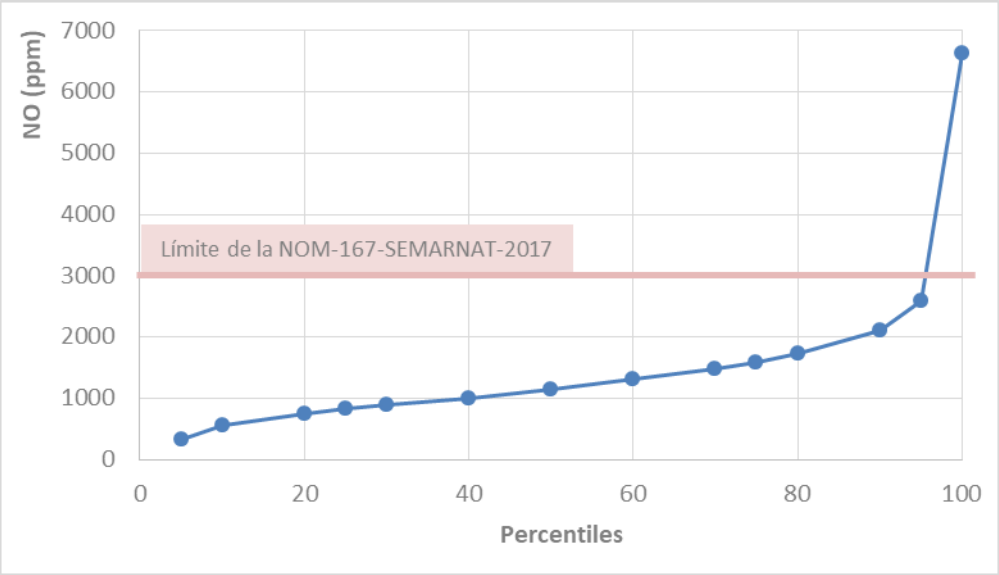
Los resultados indican que el 3% de los vehículos pesados a diésel que circularon por las casetas de cobro rebasan el límite de óxido nítrico (NO) y el 4% rebasa el límite de factor de humo. Como se aprecia en las Figuras 9 y 10, a partir del percentil 80 hay un cambio importante en la pendiente de la curva, lo cual indica que un 20% de los vehículos son altamente contaminantes, tanto en óxido nítrico (NO) como en partículas.

Cuadro 11. Resultados del cumplimiento de la NOM-167-SEMARNAT-2017 por vehículos pesados a diésel que ingresan a la Zona Metropolitana del Valle de México.

Tamaño de muestra	% fuera de norma	
	Óxido nítrico (NO)	Factor humo
1,233	3%	4%

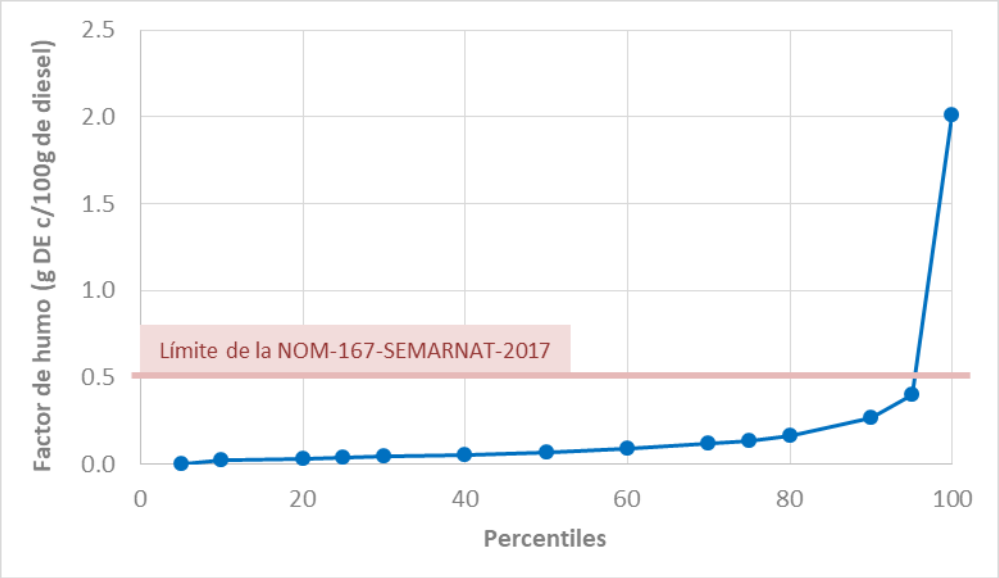
Fuente: INECC-CGCSA, 2021.

Figura 18. Cumplimiento del límite de óxido nítrico de la NOM-167-SEMARNAT-2017 por vehículos pesados a diésel que ingresan al Valle de México.



Fuente: INECC-CGCSA, 2019.

Figura 19. Cumplimiento del límite de factor de humo de la NOM-167-SEMARNAT-2017 por vehículos pesados a diésel que ingresan al Valle de México.



6.7. Desempeño ambiental por procedencia del parque vehicular

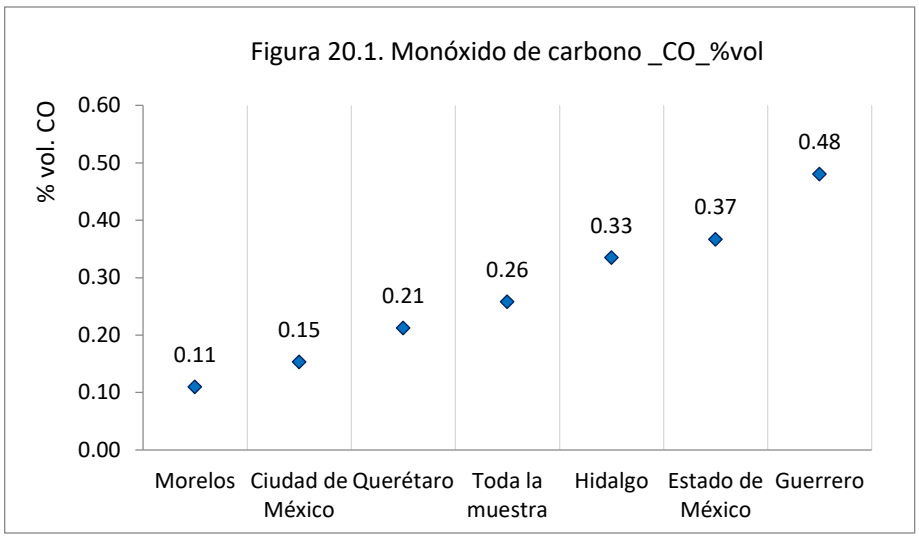
A partir de la identificación de la procedencia de los vehículos captados con sensor remoto en los accesos carreteros al Valle de México, se realizó un análisis para comparar las emisiones promedio para vehículos ligeros a gasolina (autos compactos, subcompactos, SUV, VAN y pick up), de acuerdo a la entidad federativa donde fueron registrados.

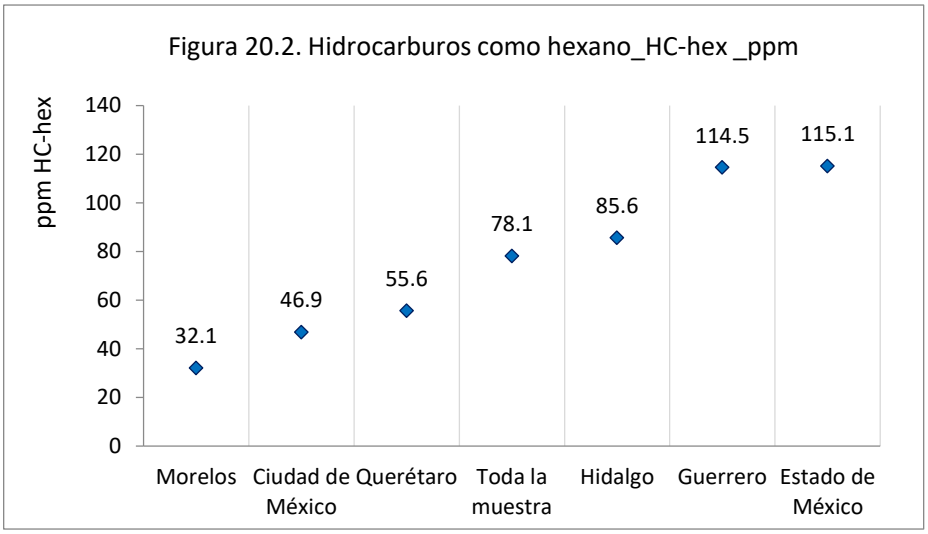
El análisis de emisiones partió de una muestra de 4,649 dato válidos para vehículos ligeros a gasolina, de los cuales, el 46% porta matrícula del Estado de México, 21% de la Ciudad de México, 18% de Morelos, 4% de Hidalgo, 2% de Guerrero, el 2% de Querétaro y el restante 8% del otras entidades.

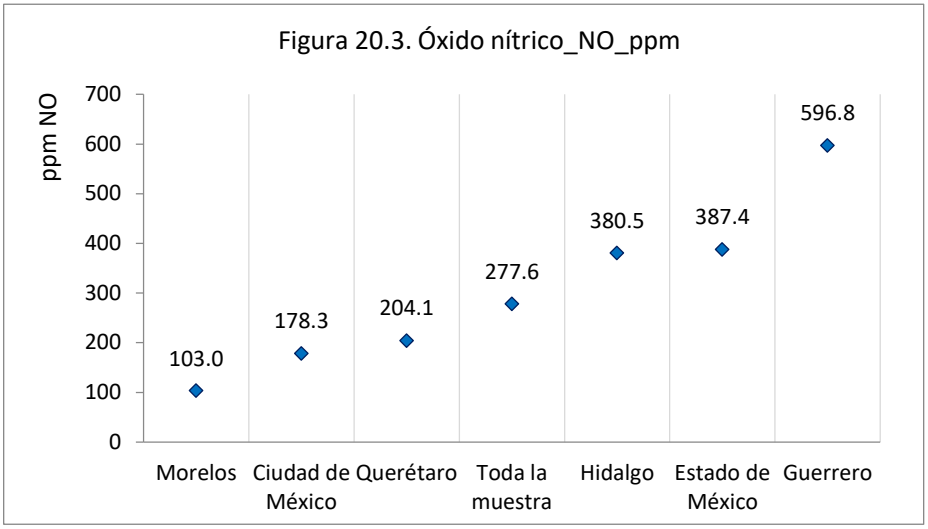
Como se observa en la Figura 20, los resultados de emisión por procedencia de la flota de vehículos ligeros que ingresa al Valle de México muestra que en promedio, los automotores matriculados en el estado de Morelos son los que emiten menos cantidad de los contaminantes analizados, es decir, monóxido de carbono (CO), óxido nítrico (NO), hidrocarburos reportados como hexano (HC-hex) y factor de humo. El comportamiento de este desempeño se puede explicar por el hecho de que vehículos que tienen su domicilio habitual en la Ciudad de México, Estado de México y tal vez otras entidades de la CAMe, obtienen la matrícula del Estado de Morelos para evitar el pago de la tenencia. Normalmente estos vehículos son de un mayor valor comercial que el promedio, por lo que sus sistemas de control de emisiones son de mejor calidad.

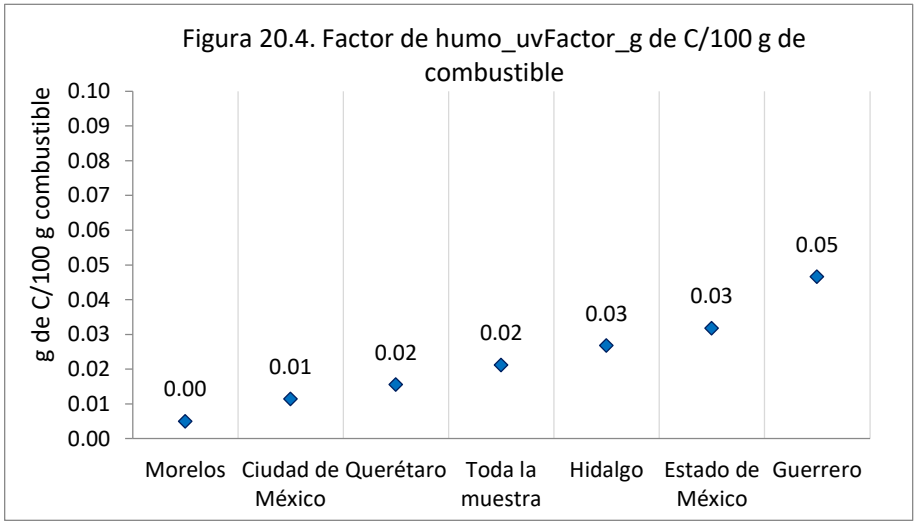
En segundo lugar con menos emisiones se ubica la flota de la Ciudad de México, seguida por Querétaro, Hidalgo Estado de México y al final vehículos con matrícula del estado de Guerrero. A medida que avance este proyecto y se recopile una mayor muestra de registros de emisiones para vehículos, se fortalecerá este análisis y otros por antigüedad del parque vehicular.

Figura 20. Emisiones por procedencia del parque vehicular que ingresa al Valle de México.









La mayor cantidad de información que se recopiló para vehículos ligeros en los accesos carreteros al Valle de México durante abril y junio de este año se concentra en las flotas del Estado de México (44.5%), Ciudad de México (21.5%) y Morelos (21.3%), habiendo una diferencia significativa con la muestra recopilada para otras entidades como Hidalgo con el 5%, Guerrero 2% y las demás con menos del 2%.

Por lo anterior, los resultados de este informe serán robustecidos y complementados, por ejemplo con análisis por antigüedad de la flota de vehículos ligeros, con la recopilación de un mayor tamaño de muestra durante la campaña de medición a realizarse durante el periodo de octubre a diciembre de 2021.

VII. CONCLUSIONES

Se concluyeron los trabajos de medición de emisiones vehiculares programados para el primer semestre de 2021 en el marco de la campaña Pro Vehículos Limpios, y que forman parte de las "Campañas de identificación de automotores altos emisores, vía sensor remoto, en accesos de entrada a la Megalópolis 2020 – 2024", realizado por el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático a solicitud de la Comisión Ambiental de la Megalópolis.

La campaña de medición de emisiones vehiculares realizada durante el primer semestre del 2021 dio inicio el 13 de mayo, debido a la emergencia sanitaria por COVID-19, y finalizó el 30 de junio, al inicio de la época de lluvias. La medición se realizó en cuatro plazas de cobro que dan acceso al Valle de México: Ojo de Agua (México-Pachuca), Tepotzotlán (México-Querétaro) y Tlalpan (México-Cuernavaca), durante un total de 7 días, logrando la recopilación de 11,562 registros de emisiones vehiculares, de los cuales se utilizaron 6,022 datos válidos para el análisis por tipo de vehículo pesado, 280 datos válidos para el análisis por antigüedad de los vehículos pesados, así como 4,649 dato válidos para el análisis por procedencia de vehículos ligeros a gasolina.

Mediante el análisis de la información de emisiones de escape recopilada, se identificaron los vehículos automotores que circulan con altas emisiones en accesos de entrada a la Megalópolis, se evaluó el cumplimiento de los límites establecidos en la NOM-167-SEMARNAT-2017 y se analizaron las emisiones promedio por entidad de procedencia de los vehículos los ligeros.

Debido a que la emergencia sanitaria por COVID-19 no permitió realizar la recopilación de información durante el número de días considerado originalmente en el proyecto, el tamaño de la muestra no fue el deseado, por lo que los resultados que aquí se presentan, principalmente de emisiones, deben considerarse solo como indicativos. Los resultados de este informe serán robustecidos con la medición y recopilación de una muestra mayor de datos durante la campaña de medición a realizarse en el periodo de octubre a diciembre de 2021.

VIII. Bibliografía

Bishop,G. A and Stedman D. H. 2006. *On-Road Remote Sensing of Automobile Emissions in west Los Angeles: Year 4*, Department of Chemistry and Biochemistry, University of Denver.

ESP, 2004.*Remote Sensing Milestones, "US Experience"*. Niranjan Vescio, ESPH, Environmental Systems Products, 2002 N. Forbes Tucson, Arizona . 85745-1446 USA.

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

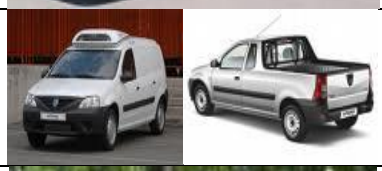
NORMA Oficial Mexicana NOM-001-SCT-2-2016, Placas metálicas, calcomanías de identificación y tarjetas de circulación empleadas en automóviles, tracto-camiones, autobuses, camiones, motocicletas, remolques, semirremolques, convertidores y grúas, matriculados en la República Mexicana, licencia federal de conductor, calcomanía de verificación físico-mecánica, listado de series asignadas por tipo de vehículo, servicio y entidad federativa o dependencia de gobierno, especificaciones y método de prueba. Publicado en el Diario Oficial de la Federación el 24 de junio de 2016.

Norma Oficial Mexicana NOM-167-SEMARNAT-2017, Que establece los límites máximos permisibles de emisión de contaminantes para los vehículos automotores que circulan en las entidades federativas Ciudad de México, Hidalgo, Estado de México, Morelos, Puebla y Tlaxcala; los métodos de prueba para la evaluación de dichos límites y las especificaciones de tecnologías de información y hologramas. Publicado en el Diario Oficial de la Federación el 5 de septiembre de 2017.

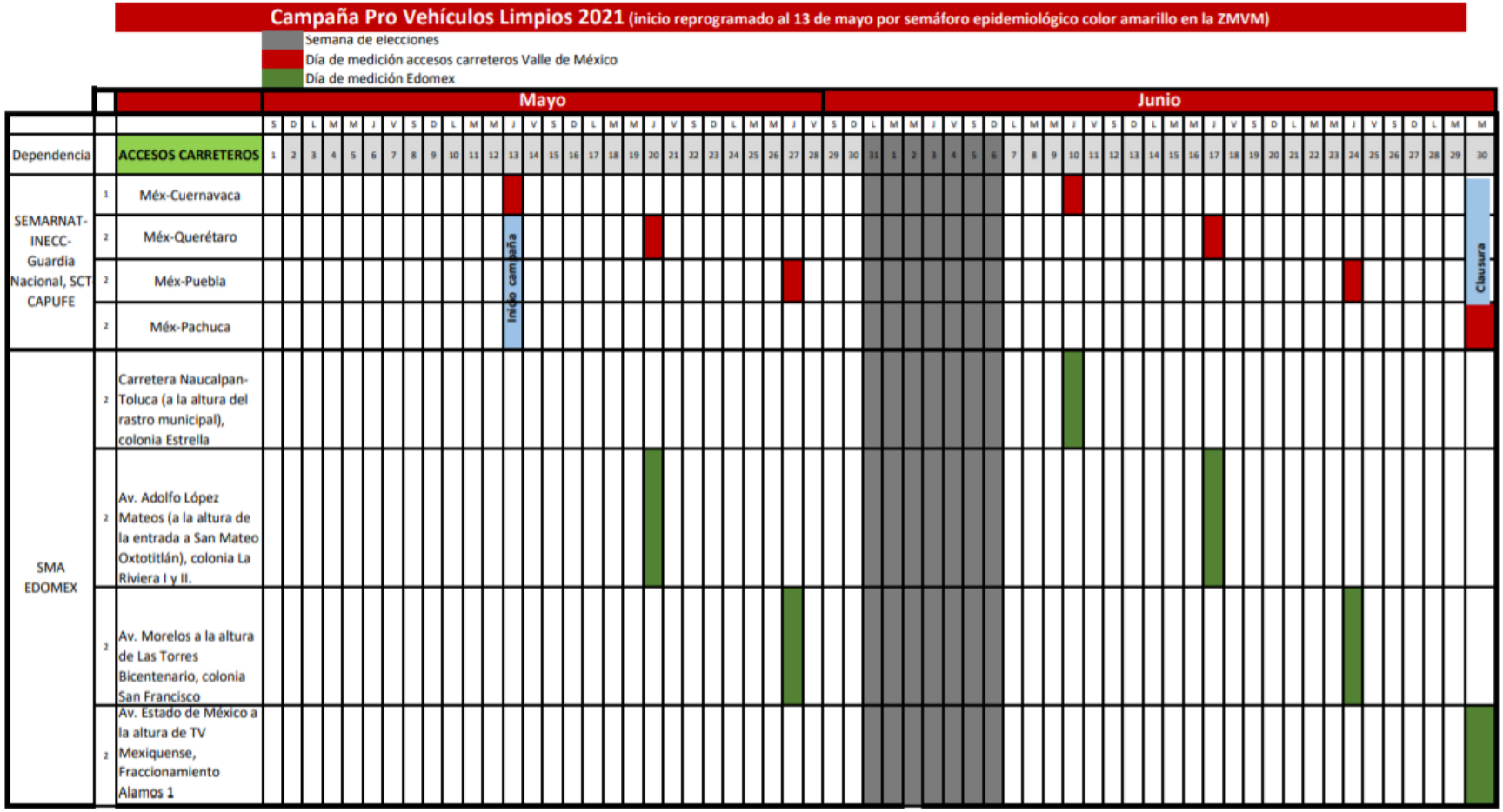
RSD, 2005. *Correlation and Remote Sensing Device Application Results. A Summary of the Milestones Reached*. RSD-ER0001, Rev. D., ESP-Environmental Systems Products 2002 N. Forbes Tucson, Arizona 85745-1446 USA.

SEMARNAT, 2018. *Inventario Nacional de Emisiones de México, 2016*.

Anexo 1. Catálogo de clasificación vehicular

Clave	Tipo de vehículo	Ejemplo
A1	AUTO DE PASAJEROS (De uso particular)	
A2	SUV (Vehículo utilitario de uso particular)	
A3	PICK UP (Usos varios)	
A4	TAXI (Varios tipos de vehículo)	
A5	VAN (Particular carga)	
A6	VAN (Colectivo)	
B1	MICROBÚS (Servicio de pasajeros)	

Clave	Tipo de vehículo	Ejemplo
B2	AUTOBÚS URBANO (Servicio de pasajeros local)	
B3	AUTOBÚS DE TURISMO (Foráneo)	
C1	CAMIÓN LIGERO (Doble rodada)	
C2	CAMIÓN MEDIANO (Torton)	
C3	CAMIÓN PESADO (Tractocamión)	
D1	MOTOCICLETAS (Dos ruedas)	
D2	MOTOS (Tres o cuatro ruedas)	

Fuente: INECC, 2009. Elaboración propia.

Anexo 2. Calendario de medición Mayo – Junio del 2021