PROGRAMA TRANSPORTE SUSTENTABLE

MONITOREO DE EMISIONES VEHICULARES DEL TRANSPORTE DE CARGA A TRAVÉS DE SENSOR REMOTO EN VIALIDADES DEL ESTADO DE JALISCO.

Reporte campaña de medición de emisiones vehiculares 2022.

PROGRAMA TRANSPORTE SUSTENTABLE

centro mario molina

Medio Ambiente y Desarrollo Territorial

Jalisco
GOBIERNO DEL ESTADO

cooperación alemana
DEUTSCHE ZUSAMMENARBEIT

giz Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Esta publicación fue financiada en el marco del proyecto de cooperación bilateral "Programa Transporte Sustentable" (PTS) entre el Gobierno Federal Mexicano y el Gobierno de Alemania, a través de la Cooperación Alemana al Desarrollo Sustentable (GIZ), que trabaja por encargo del Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo (BMZ) de Alemania, y la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT).

Primera edición 2022

Elaborado en México.

Publicada por:
Deutsche Gesellschaft fur Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH
Dag-Hammarskjöld-Weg 1 - 5
65760 Eschborn/Alemania
T +49 61 96 79-0
F +49 61 96 79-11 15
E info@giz.de
I www.giz.de

Agencia de la GIZ en México
Torre Hemicor, PH, Av. Insurgentes Sur 826, Col. del Valle, Juárez, 03100, Ciudad de México México.
T +52 55 55 36 23 44
F +52 55 55 36 23 44
E giz-mexiko@giz.de
I https://www.giz.de/en/worldwide/33041.html

Programa
Programa Transporte Sustentable

D.R. ©2021 Deutsche Gesellschaft fur Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Coordinación institucional
Cooperación Alemana al Desarrollo Sustentable (GIZ) en México

Stephanie Hartmann
Directora
Programa Transporte Sustentable (PTS)

Karen Martínez López
Asesora técnica
Programa Transporte Sustentable (PTS)

Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial del Gobierno del Estado de Jalisco

Abraham Torres Andrade
Director General de Calidad del Aire
Natalia Ortiz Espinosa
Directora de Regulación de Emisiones Vehiculares

Centro Mario Molina para Estudios Estratégicos sobre Energía y Medio Ambiente
Dr. Eduardo Bárzana García
Director Ejecutivo
Ing. Carlos Mena Brito
Asociado Fundador

Mtra. Josefina Granados Maldonado
Coordinadora Administrativa
Salvador Montero Aguilar
Líder de proyecto
Carolina González Martínez
Daniel León Cervantes
David Uscanga Miranda
Luis Gerardo Monsalvo Sánchez
Martin Suastegui Nolasco

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático
Dr. Agustín Ávila Romero
Director General de Políticas para el Cambio Climático y Encargado del Despacho de la Dirección 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

Fotografías:
José Martin Suastegui Nolasco

Derechos de autor
Se permite la reproducción, total o parcial, por razones educacionales o sin ánimo de lucro de esta publicación, sin la autorización especial del portador de los derechos de autor, siempre y cuando la fuente sea citada.

Forma de citar
GIZ-SEMADET-CMM (2022). Monitoreo de emisiones vehiculares del transporte de carga a través de Sensor Remoto en vialidades del estado de Jalisco.

Por encargo de
Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo (BMZ) de Alemania

Los hallazgos, interpretaciones y conclusiones expresadas en este documento están basados en la metodología y recopilación de insumos facilitados por la GIZ México y sus consultores. No obstante, GIZ México no puede ser responsable del contenido de este documento, ni garantiza la precisión o integridad de la información por errores, omisiones o pérdidas que surjan de su uso.

ÍNDICE

I. ..... Antecedentes 6

II. ..... Justificación 10

III. ..... Objetivos 12

III.1 ..... Objetivo general 12

III.2 ..... Objetivos particulares 12

IV. ..... Descripción del proyecto 13

IV.1 ..... Introducción 13

IV.2 ..... Características de la técnica de medición 13

IV.3 ..... Criterios de selección de los sitios de muestreo 15

IV.4 ..... Captura y depuración de la información 15

IV.5 ..... Control de calidad de la captura de información 16

IV.6 ..... Análisis de resultados 19

V. ..... Resultados 20

V.1 ..... Recopilación de información 20

V.2 ..... Análisis de datos 23

V.3 ..... Caracterización del parque vehicular general 24

V.3.1. ..... Año modelo flota 24

V.3.2. ..... Tipo de vehículo 26

V.3.3. ..... Año modelo 27

V.4. ..... Análisis del parque de vehículos de carga 29

V.4.1. ..... Caracterización del parque de vehículos de carga 29

V.4.2. ..... Emisiones del parque de vehículos de carga

32
V.4.1. ..... Cumplimiento de la normatividad ambiental
42
V.5 ..... Caracterización del parque de vehículos ligeros
44
V.5.1. ..... Emisiones del parque de vehículos ligeros
44
V.5.2. ..... Análisis de altos emisores
50
VI. ..... Conclusiones
52
VII. ..... Acrónimos
54
VIII. ..... Bibliografía
55
IX. ..... Anexo I Sitios de monitoreo Zona Metropolitana de Guadalajara
56

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Elementos del equipo de detección remota para medir la emisión de gases provenientes de escapes altos y bajos. 14

Figura 2 Proceso de validación y análisis de los datos generados por medición remota de contaminantes. 18

Figura 3. . Sitios evaluados con sensor remoto en el Área Metropolitana de Guadalajara, 2022. .. 21

Figura 4. (SICT) Federal las características técnicas de los automotores, como es su edad, tipo de servicio, combustible utilizado, tamaño de motor, entre otras. 22

Figura 5. Distribución de placas por entidad 24

Figura 6. Distribución de la flota por año modelo 25

Figura 7. Distribución de la flota a gasolina por año modelo 26

Figura 8. Distribución de la flota a diésel por año modelo 26

Figura 9. Distribución de la flota por tipo de vehículo en el área metropolitana de Guadalajara, 2022. 27

Figura 10 Distribución por edad de la flota que circula en el área metropolitana de Guadalajara. .. 28

Figura 11. Distribución por edad y tipo de vehículo de la flota que circula en el Área Metropolitana de Guadalajara. 29

Figura 12. Antigüedad de la flota general de vehículos de carga en la zona metropolitana de Guadalajara. 30

Figura 13. Antigüedad de la flota por tipo de vehículos de carga en la zona metropolitana de Guadalajara. 30

Figura 14. Tipo de combustible de la flota de vehículos de carga en la zona metropolitana de Guadalajara. 31

Figura 15. Gráfico de caja de las emisiones de CO (% vol.) por estrato de edad. 33

Figura 16. Gráfico de caja de las emisiones de HC (ppm como hexano) por estrato de edad. 34

Figura 17. Gráfico de caja de las emisiones de NO (ppm) por estrato de edad. 35

Figura 18. Gráfico de caja de las emisiones de factor de humo (g de partículas/100 g de combustible) por estrato de edad. 37

Figura 19. Gráfico de caja de las emisiones de CO (% vol.) por tipo de vehículo. 38

Figura 20. Gráfico de caja de las emisiones de HC (ppm) por tipo de vehículo. 39

Figura 21. Gráfico de caja de las emisiones de NO (ppm) por tipo de vehículo. 40

Figura 22. Gráfico de caja de las emisiones de factor de humo (g de partículas/100 g de combustible) por tipo de vehículo. 41

Figura 23. Cumplimiento del límite de óxido nítrico de la NOM-167-SEMARNAT-2017 por vehículos pesados a diésel que en la zona metropolitana de Guadalajara. 43

Figura 24. Cumplimiento del límite de factor de humo de la NOM-167-SEMARNAT-2017 por vehículos pesados a diésel que en la zona metropolitana de Guadalajara. 43

Figura 25. Gráfico de caja de las emisiones de CO (% vol.) por estrato de edad para vehículos ligeros. 45

Figura 26.Gráfico de caja de las emisiones de CO_2 (% vol.) por estrato de edad para vehículos ligeros. 46
Figura 27. Gráfico de caja de las emisiones de HC (ppm) por estrato de edad para vehículos ligeros. 48
Figura 28. Gráfico de caja de las emisiones de óxido nítrico (ppm) por grupo de año modelo para vehículos ligeros. 49
Figura 29..Contribución de altos emisores a la emisión de monóxido de carbono. 50
Figura 30..Contribución de altos emisores a la emisión de hidrocarburos por porcentaje de la flota.51
Figura 31. Contribución de altos emisores a la emisión de óxido nítrico. 51

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Número de vehículos medidos en el Área Metropolitana de Guadalajara, 2022 20
Tabla 2. Municipios y coordenadas de sitios evaluaos en el Área Metropolitana de Guadalajara, 2022. 21
Tabla 3. Distribución por combustible de la flota 23
Tabla 4. Estadística descriptiva de monóxido de carbono (% vol.) por estrato de edad. 32
Tabla 5. Estadística descriptiva de hidrocarburos (ppm como hexano) por estrato de edad. 34
Tabla 6. Estadística descriptiva de óxido nítrico (ppm) por estrato de edad. 35
Tabla 7. Estadística descriptiva de óxido nítrico (ppm) por estrato de edad. 36
Tabla 8. Estadística descriptiva de monóxido de carbono (%vol.) por tipo de vehículo. 38
Tabla 9. Estadística descriptiva de hidrocarburos (ppm como hexano) por tipo de vehículo. 39
Tabla 10. Estadística descriptiva de óxido nítrico (ppm) por tipo de vehículo. 40
Tabla 11. Estadística descriptiva de óxido nítrico (ppm) por tipo de vehículo. 42
Tabla 12. Estadística descriptiva de monóxido de carbono (CO) por estrato de edad para vehículos ligeros. 44
Tabla 13. Estadística descriptiva de bióxido de carbono (CO_2) por estrato de edad para vehículos ligeros. 46
Tabla 14. Estadística descriptiva de hidrocarburos (HC) por estrato de edad para vehículos ligeros. 47
Tabla 15. Estadística descriptiva de óxido nítrico (NO) por estrato de edad para vehículos ligeros. 49
Tabla 16. Sitios de monitoreo Zona Metropolitana de Guadalajara 56
Tabla 17. ID 1, La magdalena 57
Tabla 18. ID 2, Inspección de ganado 58
Tabla 19. ID 2, Inspección de ganado 59
Tabla 20. ID 3, CEDIS Walmart 60
Tabla 21. ID 3, CEDIS Walmart 61
Tabla 22. ID 4, CEDIS Oxxo 62
Tabla 23. ID 5, Periférico Sur, Hewlett Packard 63
Tabla 24. ID 6, Proyectos metálicos 64
Tabla 25. ID 7, CEDIS Walmart 65
Tabla 26. ID 7, CEDIS Walmart 66
Tabla 27. ID 8, Álamo Industrial 67
Tabla 28. ID 8, Álamo Industrial 68
Tabla 29. ID 9, Vesta Park Guadalajara 69
Tabla 30. ID 9, Vesta Park Guadalajara 70
Tabla 31. ID 10, Periférico Norte 71

Agradecimientos

Agradecemos especialmente a la Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial del Gobierno del Estado de Jalisco (SEMADET) por su excelente colaboración durante el proyecto. Así como también al Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), y al Centro Mario Molina para Estudios Estratégicos sobre Energía y Medio Ambiente (CMM), por el trabajo realizado en campo para la recopilación de la información de emisiones vehiculares mediante la técnica de detección remota. Gracias a todo por el apoyo brindado en el desarrollo de este valioso trabajo el sector de transporte carga y la movilidad de mercancías en el Estado de Jalisco.

Resumen ejecutivo

Créditos de la fotografía: José Martín Suastegui Nolasco

Resumen ejecutivo

Del 24 de enero al 4 de febrero del 2021 se realizó en diez sitios del Área Metropolitana de Guadalajara la campaña de medición de emisiones vehiculares mediante la técnica de detección remota, de la cual se obtuvo una recopilación de 47 353 registros de emisiones vehiculares, de los cuales 31 309 son válidos para el análisis de emisión por tipo de vehículo y 17 825 para el análisis por año-modelo.

Los principales resultados son los siguientes:

1. Tipo de vehículo: el 38 % corresponde a vehículos ligeros (autos compactos y subcompactos); 21 % a *pick-up*; 16 % camionetas SUV; 6 % autobuses de transporte público; 5 % camión ligero de carga; 5 % camión mediano de carga y 4 % a camión pesado o tractocamión.

2. Antigüedad: 38 % de la flota tiene una edad de hasta 5 años; el 24 %, una antigüedad de 6 a 10 años; y, el 38 % tiene 11 y más años de edad. Las camionetas tipo VAN o furgonetas de carga son las que tienen la mayor cantidad de vehículos nuevos, es decir, de 0 y 1 año de antigüedad, y los taxis tienen la mayor cantidad de vehículos de entre 2 y 5 años de edad. En general la flota más antigua es la de camionetas *pick-up*.

3. Procedencia: 87 % tiene matrícula de Jalisco; 4.3 %, placa de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT); 2.1 %, matrícula del Estado de México; 1.2 %, de la Ciudad de México; 0.7 % de Michoacán; Nuevo León y Guerrero, 5 % cada una; y 3 %, de otras entidades.

4. Análisis del transporte de carga:

    - Análisis de emisiones:

        - Por estrato de edad: Existe una clara diferencia en emisiones entre los vehículos de carga de menos de 10 años respecto a los de más edad. Por ejemplo, para el monóxido de carbono (CO) en el estrato de 5 a 9 años respecto al de 10 a 14 años la diferencia es de tres veces, para los hidrocarburos el doble, y los óxidos de nitrógeno hasta cuatro veces más. La diferencia incrementa con los estratos de mayor edad.

        - Por tipo de vehículo: En general, las camionetas tipo VAN o furgonetas son las de menores emisiones en todos los contaminantes evaluados; los de mayores emisiones son las *pick-up* para monóxido de carbono, los camiones ligeros en hidrocarburos y los camiones pesados en óxidos de nitrógeno.

- Cumplimiento de la NOM-167-SEMARNAT-2017:

    - Vehículos de carga a diésel: El 3 % rebasa el límite de óxido nítrico (NO) y el 7 % el de factor de humo.

    - Vehículos de carga a gasolina: El 8 % está fuera de norma por hidrocarburos; el 5.5 %, por óxido nítrico; y el 3.6 % rebasa el límite de monóxido de carbono.

El análisis de vehículos altos emisores (fracción de vehículos que contribuyen con la mitad de las emisiones totales de escape de cierta flota) muestra que el 7 % de la flota contribuye con el 54 % de la emisión de monóxido de carbono; 8 % del parque vehicular con el 56 % de las emisiones de hidrocarburos; y el 18 % de la flota, con el 53 % del óxido nítrico.

1 · Antecedentes

Créditos de la fotografía: José Martin Suastegui Nolasco

1 · Antecedentes

El Gobierno Federal Mexicano y el Gobierno de Alemania, a través de la Cooperación Alemana al Desarrollo (GIZ) y la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) tienen la encomienda de ejecutar el programa de cooperación bilateral denominado Programa Transporte Sustentable (PTS), mismo que es financiado por el Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo (BMZ) de Alemania, y comprende una duración de tres años (2019-2022).

El objetivo del programa es apoyar a actores públicos y no gubernamentales en la implementación de instrumentos y programas para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y contaminantes locales del sector de transporte a través de tres ejes temáticos:

1. Marco regulatorio y diálogo político

Metas:

- Programa de renovación de flotas
- Norma de eficiencia de combustible para vehículos pesados
- Fomento de sistemas para medir, reportar y verificar (MRV)

2. Capacitación e información

Metas:

- Establecer una plataforma de capacitación
- Información estadística del sector transporte
- Empresas reportan un 10 % de reducción en su consumo de combustible

3. Proyectos piloto a nivel subnacional

A través de la consultoría se busca un apoyo técnico para los siguientes temas:

Dentro del eje temático 3) Proyectos piloto a nivel subnacional, se tiene contemplado trabajar con el estado de Jalisco para diseñar e implementar medidas para la mitigación de gases efecto invernadero y contaminantes atmosféricos locales, a través del fortalecimiento del Programa de Verificación Vehicular, que actualmente opera la Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial de Jalisco (SEMADET).

La alta tasa de motorización y la mala calidad del aire en Jalisco representa una problemática ambiental y de salud pública para la población. En 2020 se tenían registrados 4.39 millones de vehículos, donde las *pick-up*, las SUV y camiones ligeros eran las categorías con más unidades en circulación, además de los vehículos ligeros y motocicletas.

Asimismo, el crecimiento de la flota vehicular estatal ha incrementado casi tres veces en los últimos 20 años, lo que, a su vez, se refleja en un aumento de las emisiones de CO, NOx, material particulado, SO_2 y CO_2, de lo cual, el 25 % corresponde a transporte de carga. Esto provoca que la calidad del aire sea mala y causa riesgo a la salud de los jaliscienses.

En este sentido, atendiendo la problemática y la necesidad de programas e iniciativas de prevención y mitigación de emisiones contaminantes del sector de transporte, el Programa Transporte Sustentable de GIZ, en colaboración con la SEMADET, apoyará el desarrollo de un proyecto piloto de medición de emisiones del parque vehicular que circula en el estado en puntos carreteros importantes, con la finalidad de diagnosticar las características de la flota en circulación. El objetivo de este proyecto es elaborar recomendaciones de medidas para instrumentar y fortalecer el Programa de Verificación Vehicular orientado a los vehículos de carga y estimar los impactos ambientales de los vehículos de carga. Para el desarrollo de esta actividad, así como para garantizar su correcta implementación y lograr el objetivo de esta iniciativa, es indispensable establecer la colaboración interinstitucional con el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), la SEMARNAT y la Comisión Ambiental de la Megalópolis (CAMe).

Una de las zonas más importantes del país en cuanto a su número de habitantes es el Área Metropolitana de Guadalajara (AMG), que está integrada por diez municipios: Acatlán de Juárez, Guadalajara, Ixtlahuacán de los Membrillos, Juanacatlán, El Salto, Tlajomulco de Zúñiga, San Pedro Tlaquepaque, Tonalá, Zapopan y Zapotlanejo. En conjunto, estos municipios concentraban en el año 2020 a 5 268 642 habitantes, lo cual representó el 63 % de la población total del estado de Jalisco (INEGI, 2021a).

La alta concentración poblacional del AMG ha demando el incremento de los servicios, como es el caso del transporte, y, en consecuencia, un aumento en el consumo energético y la generación de contaminantes. Información del INEGI muestra que en el año 2020 había registrados en el Estado de Jalisco 4 036 774 vehículos automotores, de los cuales 2 582 266, el 64 %, se localizaba en el AMG (INEGI, 2021b).

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 es necesario realizar la medición en condiciones reales de operación para conocer de manera más certera su contribución.

Una de las técnicas de verificación de las emisiones de escape para vehículos en circulación es la detección remota, entre cuyas principales características está la capacidad de medir una gran cantidad de vehículos en poco tiempo y bajo condiciones reales de manejo. Es así que, en 2009, el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) realizó un estudio de emisiones vehiculares durante diez días de medición en diferentes municipios del

Área Metropolitana de Guadalajara (AMG), con lo cual logró la recopilación de prácticamente 50 registros de emisiones vehiculares (INECC, 2009).

Los principales resultados del estudio de 2009 muestran que el 61 % de la flota vehicular que circulaba en el AMG tenía menos de 10 años, y que los vehículos con más de 10 años de antigüedad emitían, en promedio, hasta 4 veces más monóxido de carbono (CO), 22 % más hidrocarburos (HC) y 36 % más óxidos de nitrógeno (NO) respecto a los automotores con menos de 10 años.

Este proyecto propone la realización de una campaña de medición de emisiones vehiculares en el Área Metropolitana de Guadalajara mediante la técnica de detección remota con la finalidad de realizar un diagnóstico del estado ambiental en que circula la flota vehicular de dicha zona. Los resultados de esta campaña servirán para elaborar la línea base de emisiones que permita realizar evaluaciones futuras de la eficiencia de programas como la verificación vehicular, así como análisis específicos de emisiones sobre flotas de vehículos de interés, como es el caso del transporte de carga, que permitan diseñar políticas públicas orientadas a reducir la emisión de contaminantes atmosféricos generados por este sector.

2 · Justificación

Créditos de la fotografía: José Martin Suastegui Nolasco

2 · Justificación

Información del Inventario Nacional de Emisiones de México 2016 (INEM, 2018) muestra 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 emisión de gases contaminantes a la atmósfera generados por los vehículos automotores, así como por otras fuentes antropogénicas (industria, comercios y servicios) y naturales (tolvaneras, erosión del suelo, resuspensión de partículas) han ocasionado que en el Área Metropolitana de Guadalajara haya días con mala calidad del aire.

Por ejemplo, datos del Informe Nacional de Calidad del Aire, 2019 (INECC, 2020) muestran que, en dicho año, el número de días con concentraciones superiores a al menos uno de los límites normados para cualquier contaminante, a nivel de toda el Área Metropolitana de Guadalajara, fue de 267, lo que equivale al 73 % de los días del año. En 222 días se rebasó el límite normado de un solo contaminante (principalmente ozono con el 32 % de estos días); en 40 días, el límite de dos contaminantes (fundamentalmente PM_{10} y ozono), y en 5 días, el de tres contaminantes (ozono, PM_{10} y $PM_{2.5}$). Esto significa que sólo en poco menos del 30 % de los días del año se registraron niveles de contaminación por debajo de los límites recomendados para la protección de la salud de la población de acuerdo con la normatividad mexicana vigente en la materia. En general, el número de días con concentraciones que superan al menos uno de los límites normados para cualquier contaminante en 2019 fue 6 % superior al registrado en 2018.

Ante esta situación, es necesario generar información técnica que permita diseñar políticas públicas orientadas a eliminar o reducir la emisión de contaminantes atmosféricos provenientes de las principales fuentes de emisión, como es el caso de los vehículos automotores en circulación. Esto permitirá mejorar la calidad del aire en el AMG y reducir la exposición de la población a altas concentraciones de contaminación del aire, así como optimizar la salud y calidad de vida de los habitantes de esta región del país.

3 · Objetivos

Créditos de la fotografía: José Martin Suastegui Nolasco

3 · Objetivos

3.1 Objetivo general

Realizar un proyecto piloto de monitoreo de emisiones vehiculares a través de sensor remoto en vialidades del estado de Jalisco.

3.2 Objetivos particulares

- Diagnóstico de las emisiones vehiculares, incluidos los vehículos de carga ligera y pesada que circulan en Jalisco.
- Diseño de campaña de medición de emisiones vehiculares, incluidos los vehículos de carga ligera y pesada que circulan en Jalisco, a través de sensores remotos.
- Elaborar recomendaciones para la SEMADET y el Programa de Verificación Vehicular.

4 · Descripción del proyecto

Créditos de la fotografía: José Martin Suastegui Nolasco

4 · Descripción del proyecto

4.1 Introducción

El proyecto en general consiste en la recopilación de información de las concentraciones de gases provenientes del escape de los vehículos automotores que circulan en los municipios que integran el Área Metropolitana de Guadalajara, Jalisco. Para este propósito, se hará uso de la técnica de detección remota, la cual permite medir las emisiones de los vehículos automotores en tiempo real. Los contaminantes que se miden son el monóxido de carbono (CO) en % vol., bióxido de carbono (CO_2) en % vol., hidrocarburos (HC) en ppm, óxido nítrico (NO) en ppm, y factor de humo (gramos de carbono por cada 100 gramos de combustible).

El periodo de medición será de diez días durante el mes de enero de 2022, y el objetivo es recopilar información de emisiones para una muestra representativa del parque vehicular que circula en el AMG, para lo cual se seleccionarán sitios de muestreo en diferentes puntos. Cada día se realizará la medición en un sitio diferente en un horario de 9:00 a 16:00 horas.

A continuación se describen los detalles específicos del método de medición y tratamiento de datos.

4.2 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, la versión más actual de este tipo de instrumentos. Éstos se transportan en dos distintos tipos de automotores, uno de los cuales está 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.

Estos instrumentos pueden obtener la medición de los siguientes contaminantes:

- monóxido de carbono (CO
- bióxido de carbono (CO_2)
- hidrocarburos (HC)
- óxido nítrico (NO)
- 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 y a la altura del tubo de escape de gases de los vehículos, hacia una serie de detectores en donde se miden 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 mediante 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.

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

Fuente: INECC, 2019

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 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 para obtener cada matrícula y, posteriormente, los datos técnicos del vehículo, lo que posibilita relacionarlos son sus emisiones.

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 detectar 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.

4.3 Criterios de selección de los sitios de muestreo

a. Flujo vehicular que se ubique entre 800 y 1100 vehículos por hora para asegurar suficiencia de información para la realización del análisis estadístico.

b. Suelo seco, sin la presencia de piedras o materiales que puedan dañar los equipos.

c. 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.

d. 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.

e. 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.

f. 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.

4.4 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 de acuerdo con 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.

4.5 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:

Se lleva a cabo un muestreo aleatorio estratificado de los registros capturados de acuerdo con el número de registros en cada día (asignación proporcional), los tamaños de muestra se obtienen mediante la siguiente ecuación:

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

Donde:

n = tamaño de la muestra.

$Z_{1-\frac{a}{2}}$ = 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 = variación 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

a = 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), basado 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).

1. Una vez determinado el tamaño de muestra para cada día, se seleccionan aleatoriamente los registros a revisar a partir de su número consecutivo en la base de datos.

2. 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 la placa capturada no coincide con 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.

Los resultados de emisiones se validarán con base en 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):

a. 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.

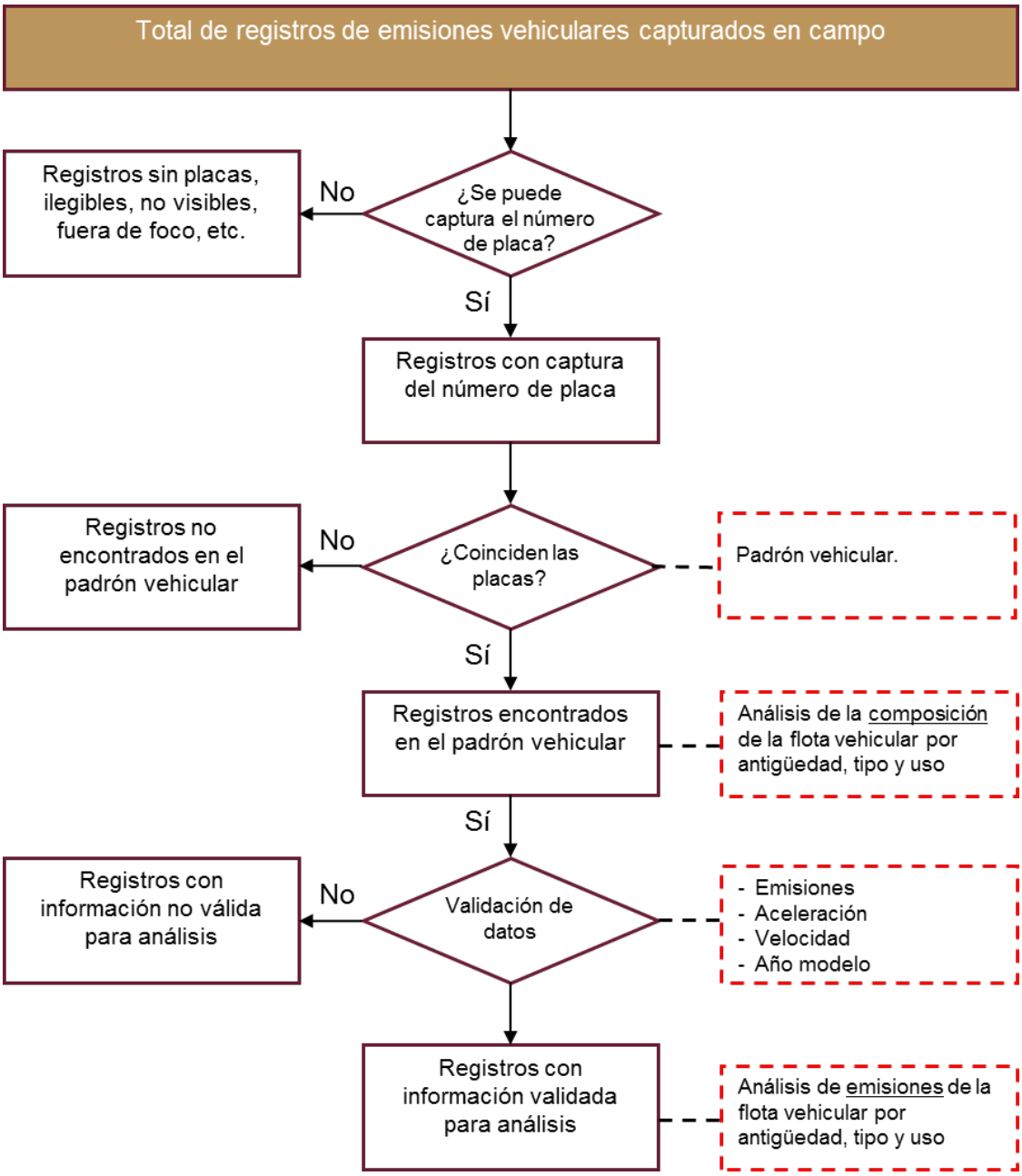
b. Si la concentración medida de HC resulta menor a -1000 ppm o mayor a 40 000 ppm, entonces las lecturas de todos los gases se consideran no válidas.

c. 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 válidos 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 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, antigüedad y del tipo de servicio, en tanto que la segunda permite realizar supuestos sobre la población que se está examinando, soportados en pruebas probabilísticas que rigen la certidumbre de los resultados presentados (por ejemplo, los intervalos de confianza).

4.6 Análisis de resultados

El análisis de los resultados se llevará a cabo en primer lugar para caracterizar el parque vehicular que se capture en campo. Se hará uso 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 obtener los datos técnicos del vehículo, como marca, submarca, 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 que se obtengan para el estado de Jalisco.

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.

5 · Resultados

5.1 Recopilación de información

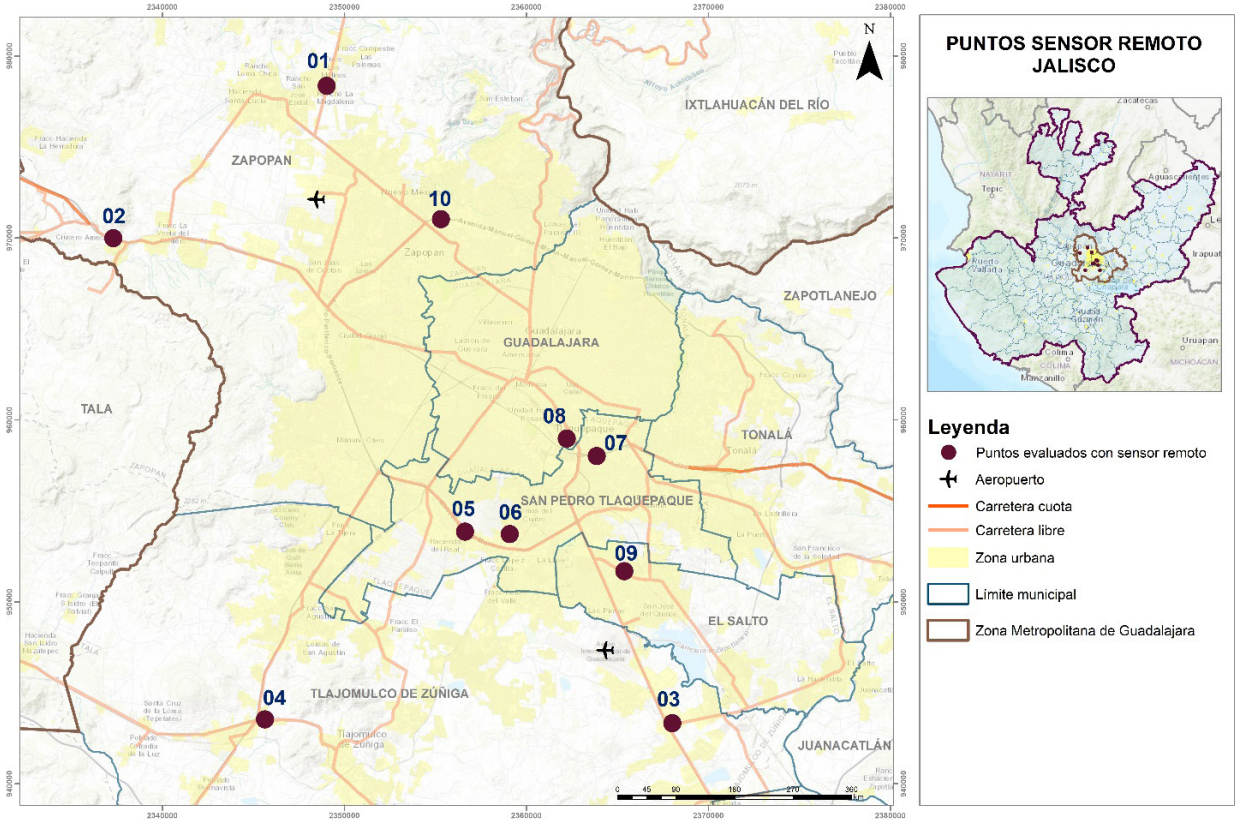
La recopilación de la información de emisiones vehiculares se realizó del 24 de enero al 4 de febrero del 2021 en diez sitios de medición. Durante el periodo de medición, se logró la recopilación de 47 353 registros de emisiones vehiculares, que se resumen por plaza de cobro en la Tabla 1.

Tabla 1. Número de vehículos medidos en el Área Metropolitana de Guadalajara, 2022

ID	Fecha	Municipio	Vialidad	Cantidad de registros
01	1/24/2022	Zapopan	Carretera a Colotlán	4,899
02	1/25/2022	Zapopan	Carretera Guadalajara - Tepic	3,005
03	1/26/2022	Tlajomulco de Zúñiga	Carretera Guadalajara - El Salto	4,813
04	1/27/2022	Tlajomulco de Zúñiga	Circuito Metropolitano Sur	6,561
05	1/28/2022	San Pedro Tlaquepaque	Lateral Anillo Periférico Sur Manuel Gómez Morín	6,801
06	1/31/2022	San Pedro Tlaquepaque	Prolongación Gobernador Curiel	4,286
07	2/1/2022	Tlajomulco de Zúñiga	Carretera Guadalajara - El Salto	2,293
08	2/2/2022	Guadalajara	Avenida Dr. Roberto Michel	2,873
09	2/3/2022	El Salto	Carretera Guadalajara - El Salto	7,169
10	2/4/2022	Zapopan	Lateral Anillo Periférico Norte, Av. Industria Metalúrgica	4,653
TOTAL				47,353

Fuente: INECC-CGCSA, 2022

Figura 3. Sitios evaluados con sensor remoto en el Área Metropolitana de Guadalajara, 2022



Fuente: Centro Mario Molina 2022

Tabla 2. Municipios y coordenadas de sitios evaluados en el Área Metropolitana de Guadalajara, 2022

ID	Municipio	Latitud	Longitud
1	Zapopan	20.815441	-103.454190
2	Zapopan	20.729331	-103.568779
3	Tlajomulco de Zúñiga	20.490477	-103.270287
4	Tlajomulco de Zúñiga	20.490388	-103.485734
5	San Pedro Tlaquepaque	20.585204	-103.381384
6	San Pedro Tlaquepaque	20.585608	-103.353043
7	San Pedro Tlaquepaque	20.623237	-103.311592
8	Guadalajara	20.6317628	-103.3275242
9	El Salto	20.567071	-103.299257
10	Zapopan	20.749017	-103.415799

Fuente: Centro Mario Molina 2022

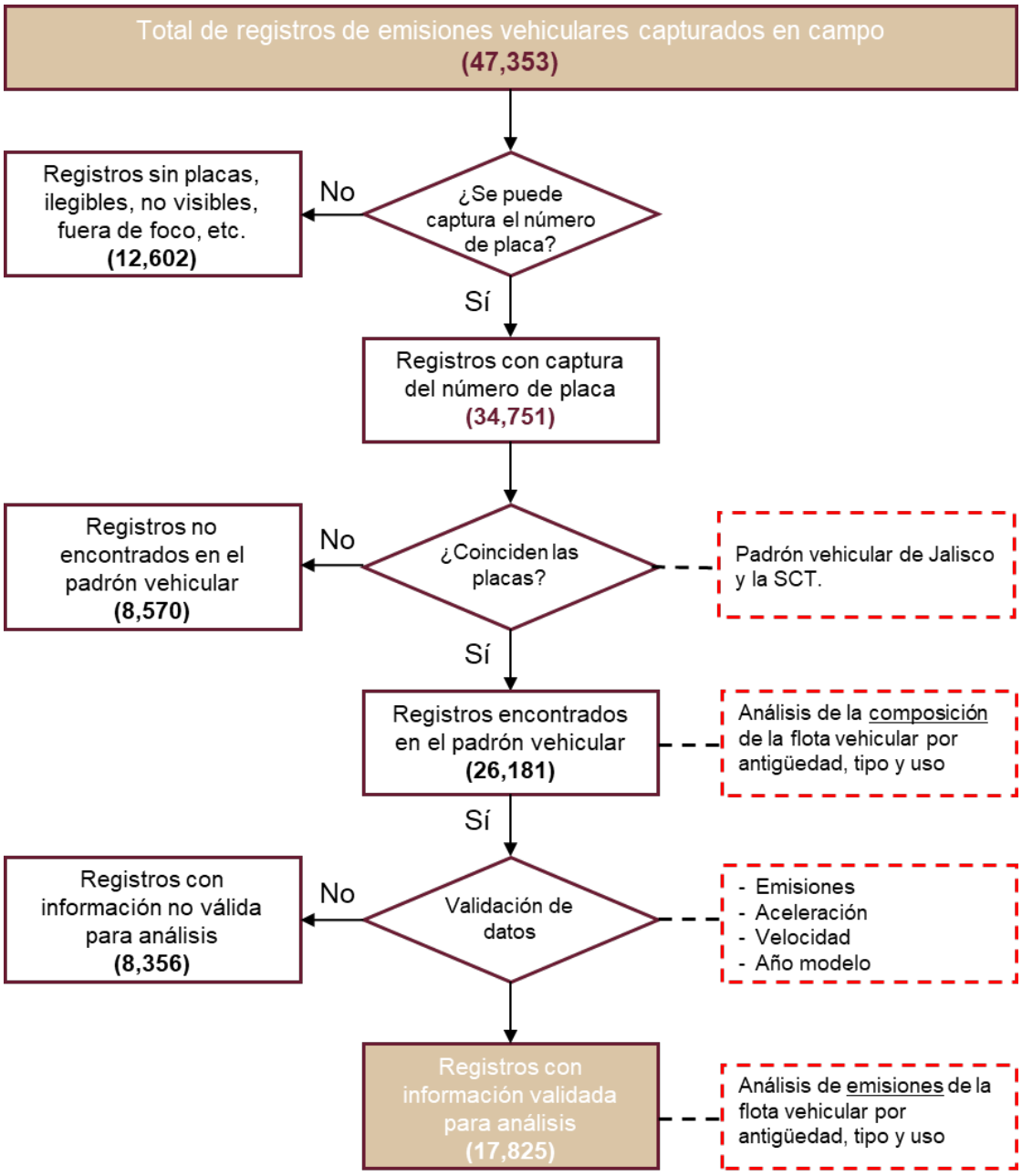
Después de realizar la recopilación de la información de emisiones vehiculares en campo, se capturó el tipo de vehículo y el número de matrícula para obtener, a través de las bases de datos

5 · Resultados

Créditos de la fotografía: José Martin Suastegui Nolasco

del padrón vehicular del estado de Jalisco y de la Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes Federal (SICT), las características técnicas de los automotores, como edad, tipo de servicio, combustible utilizado, tamaño de motor, entre otras.

Figura 4.



5.2 Análisis de datos

A continuación se presenta el análisis de la base de datos generada durante la campaña de sensor remoto realizada en diversos municipios de la zona metropolitana del estado de Jalisco. Terminado el proceso de captura de matrículas y tipo de vehículo, se consolidó una base de datos para su análisis y se validó la información generada. Inicialmente, se realizó el cruce de las placas encontradas en la campaña con diversas bases de datos, complementando los registros con información como marca, submarca, año-modelo, combustible, servicio y tipo de vehículo.

La distribución de combustible de los vehículos registrados es la descrita en la Tabla 3

Tabla 3. Distribución por combustible de la flota

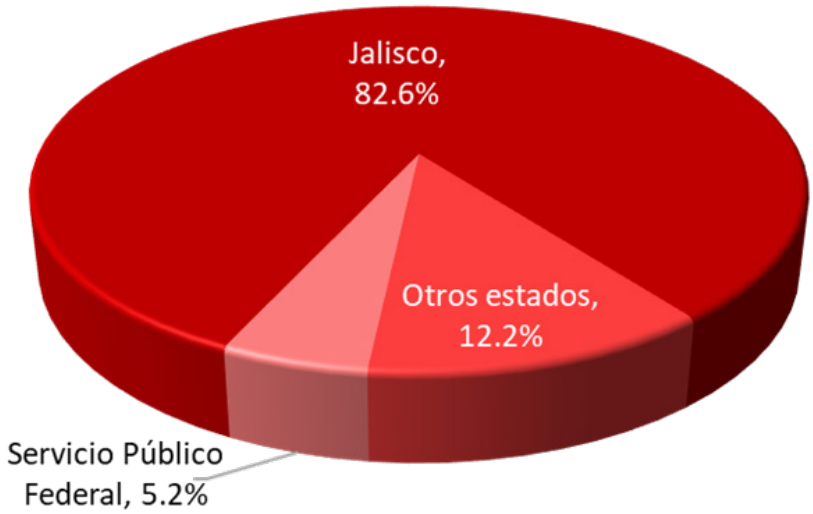
Combustible	Número de vehículos	%
Gasolina	22 877	88.4 %
Diésel	2781	10.8 %
Gas	130	0.5 %
Hibrido	48	0.2 %
No Usa	16	0.1 %
Gas LP	14	0.1 %
Otros	1	0.0 %

Fuente: Centro Mario Molina 2022

Se desarrolló un algoritmo para la identificación de todas las placas conforme a las series asignadas para cada estado de la república en la NOM-001-SCT-2-2016, publicada el 20 de junio de 2016, y las series previamente asignadas en el Acuerdo Secretarial publicado el 25 de septiembre de 2000 para conocer la entidad y confirmar el servicio de acuerdo con la placa.

La distribución resultante se presenta en la Figura 5, donde el 82.6 % de las placas pertenecen al Estado de Jalisco; el 12.2 % son placas de otros estados y el 5.2 % pertenecen a placas de Servicio Público Federal.

Figura 5. Distribución de placas por entidad



Fuente: Centro Mario Molina 2022

Se realizaron consultas de las placas capturadas en las siguientes bases de datos:

- Secretaria de la Hacienda Pública del Estado
- Secretaría de Comunicaciones y Transportes

Derivado de lo anterior, se pudo obtener la información que nos permite conocer la distribución de la flota vehicular por tipo de combustible, tipo de vehículo, año-modelo y tipo de servicio.

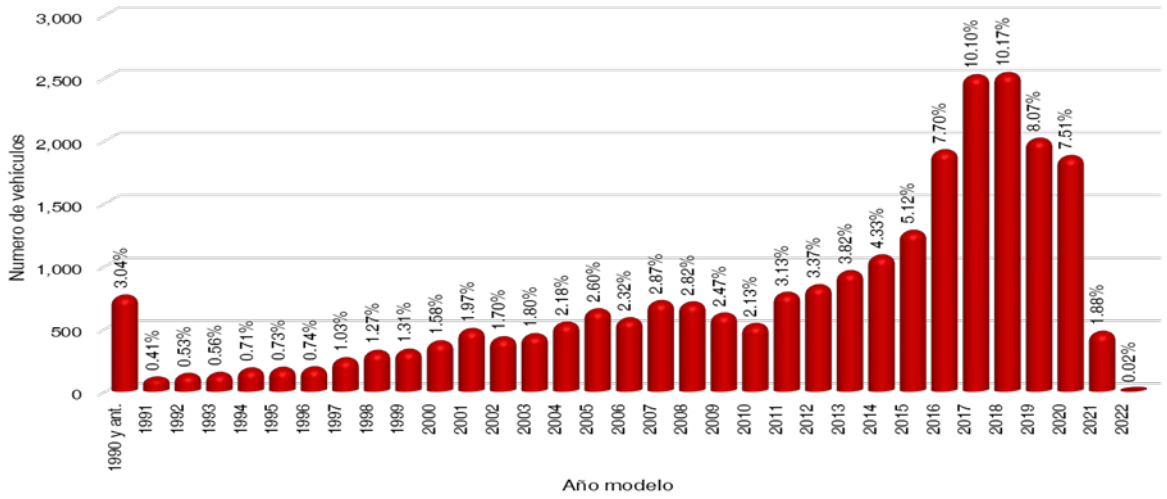
El cruce con las bases de datos también permitió conocer el tipo de vehículo de la flota detectada con el sensor remoto.

5. 3 Caracterización del parque vehicular general

5.3.1 Año-modelo flota

Al realizar la distribución por año-modelo de la Figura 6, se encontró que la flota vehicular tiene una edad promedio de diez años. Lo anterior es razonable debido a que los vehículos de diez años de antigüedad o menos representan más del 62 %. Sin embargo, aún hay vehículos cuya antigüedad es significativa; 5.5 % son vehículos de 25 a 30 años y 3.4 % de la flota tiene más de 30 años.

Figura 6. Distribución de la flota por año-modelo

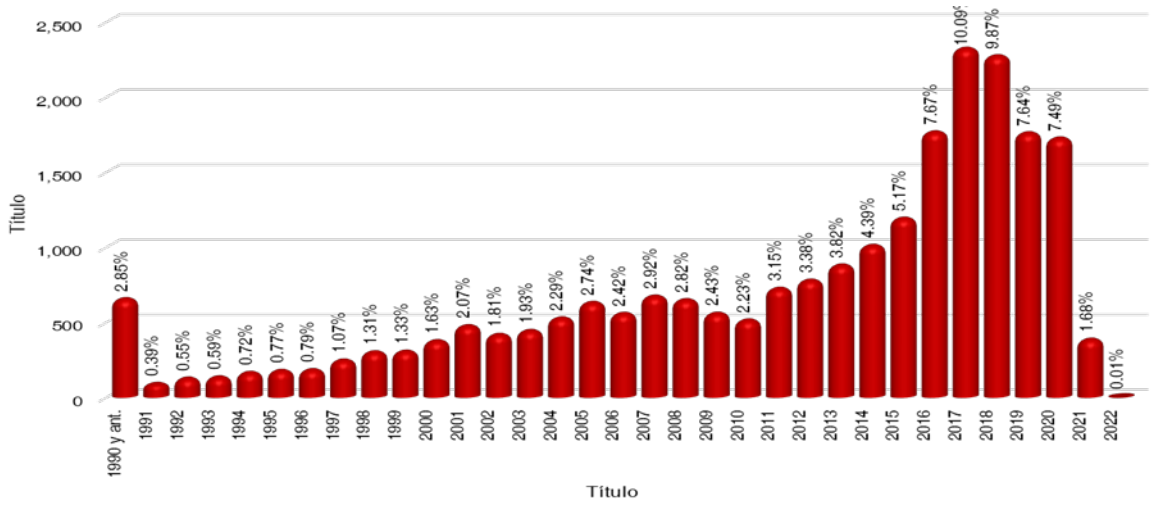


Fuente: Centro Mario Molina 2022

La Figura 6 representa la flota a gasolina donde podemos observar que los vehículos de diez años de antigüedad o menos representan más del 61.2 %. Sin embargo, aún hay vehículos cuya antigüedad es significativa; 4.5 % son vehículos de 25 a 30 años y 3.2 % de la flota tiene más de 30 años.

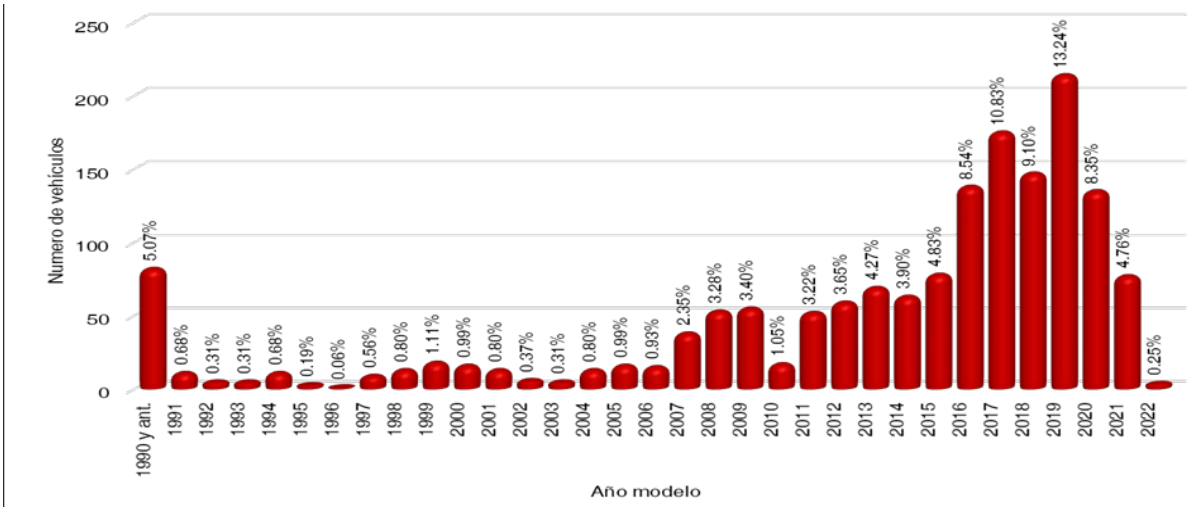
La Figura 7 representa la flota a diésel, donde podemos observar que los vehículos de diez años de antigüedad o menos representan más del 71.7 %. Sin embargo, aún hay vehículos cuya antigüedad es poco significativa; 2.1 % son vehículos de 25 a 30 años y el 5.7 % de la flota tiene más de 30 años.

Figura 7. Distribución de la flota a gasolina por año-modelo



Fuente: Centro Mario Molina 2022

Figura 8. Distribución de la flota a diésel por año-modelo

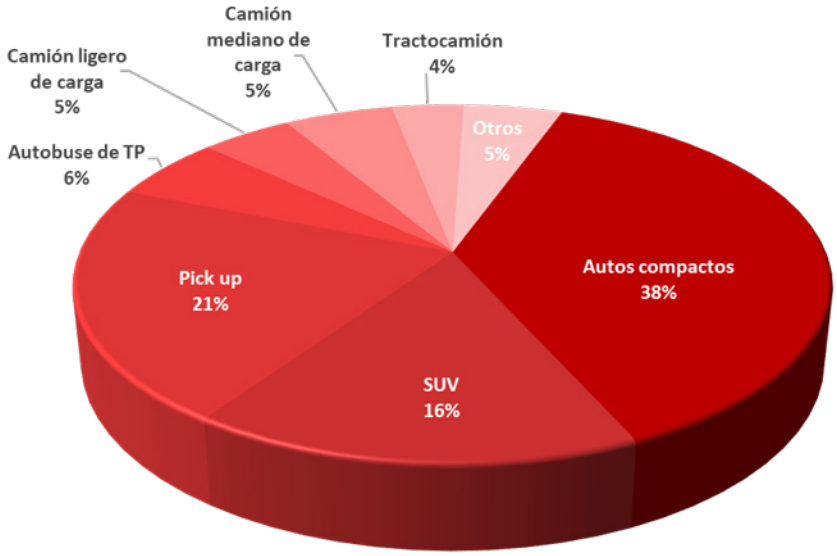


Fuente: INECC-CGCSA, 2022

5.3.2 Tipo de vehículo

Después de realizar la validación de las mediciones se obtuvieron 31 309 vehículos con clasificación de tipo de vehículo, de éstos, el 38 % son vehículos compactos y subcompactos, el 16 % son camionetas particulares tipo SUV, el 21 % son camionetas *pick-up* y el resto (25 %) son autobuses de transporte público, autobuses de turismo, camiones de carga y motocicletas, como se observa en la Figura 9.

Figura 9. Distribución de la flota por tipo de vehículo en el área metropolitana de Guadalajara, 2022

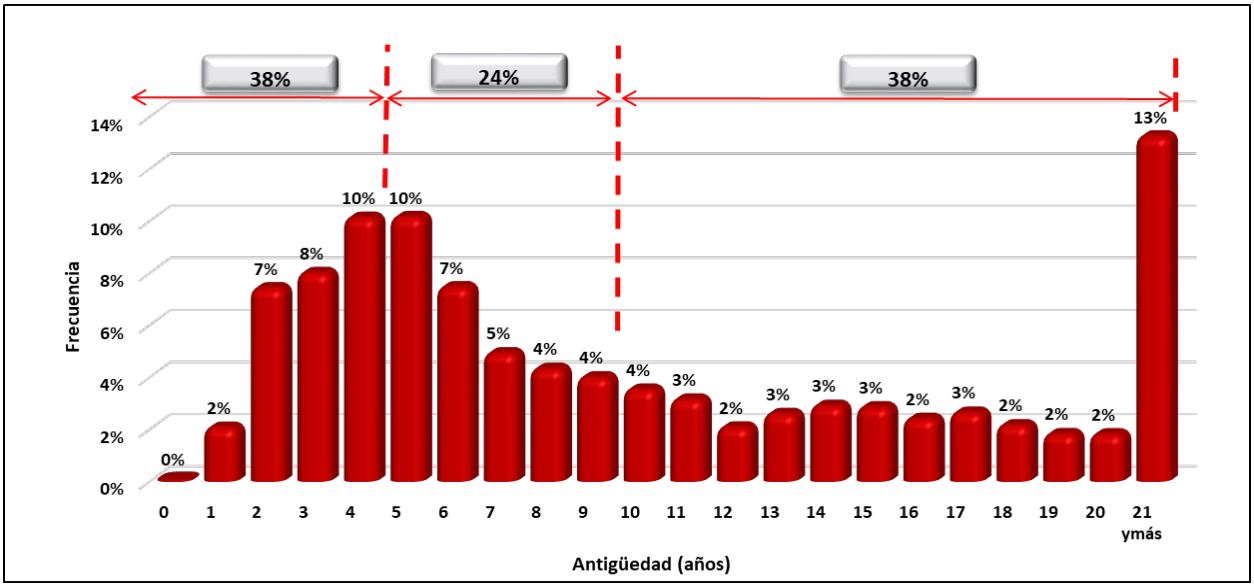


Fuente: INECC-CGCSA, 2022

5.3.3 Año-modelo

Para el análisis de la antigüedad del parque vehicular, se obtuvo una muestra de 17 825 vehículos, de éstos, el 38 % tienen una edad de hasta 5 años, el 24 %, de 6 a 10 años, y el resto tiene 11 y más años de edad, como se puede observar en la Figura 10.

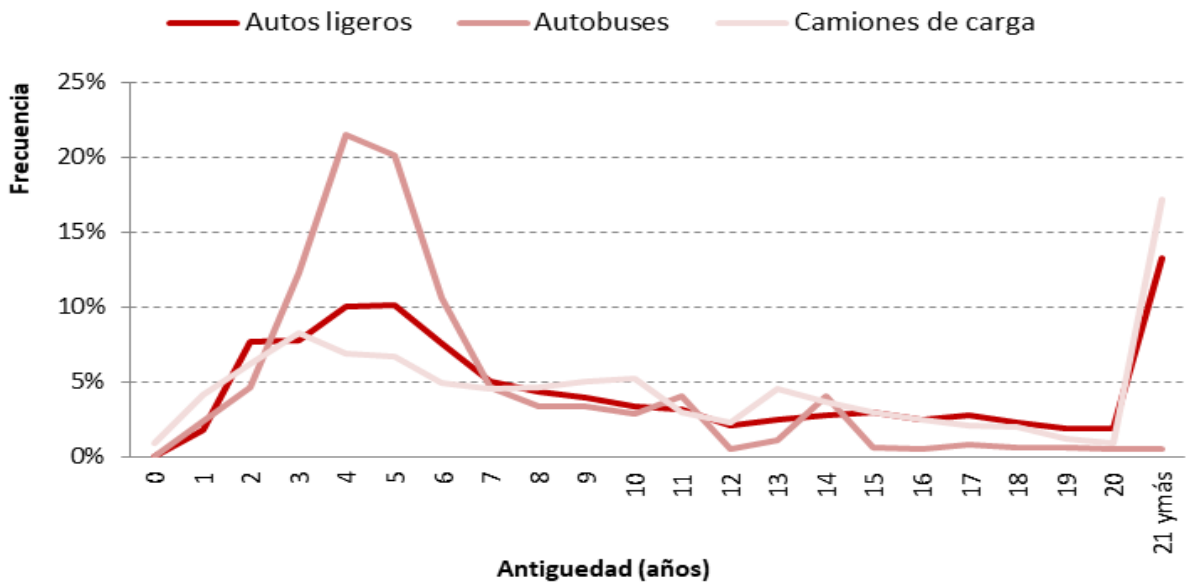
Figura 10. Distribución por edad de la flota que circula en el área metropolitana de Guadalajara



Fuente: INECC-CGCSA, 2022

Considerando el tipo de vehículo, las camionetas tipo VAN de carga son las que tienen la mayor cantidad de vehículos nuevos, es decir, de 0 y 1 año de antigüedad, y los taxis tienen la mayor cantidad de vehículos de entre 2 y 5 años de edad. En general la flota más vieja son las camionetas *pick-up*.

Figura 11. Distribución por edad y tipo de vehículo de la flota que circula en el Área Metropolitana de Guadalajara



Fuente: INECC-CGCSA, 2022

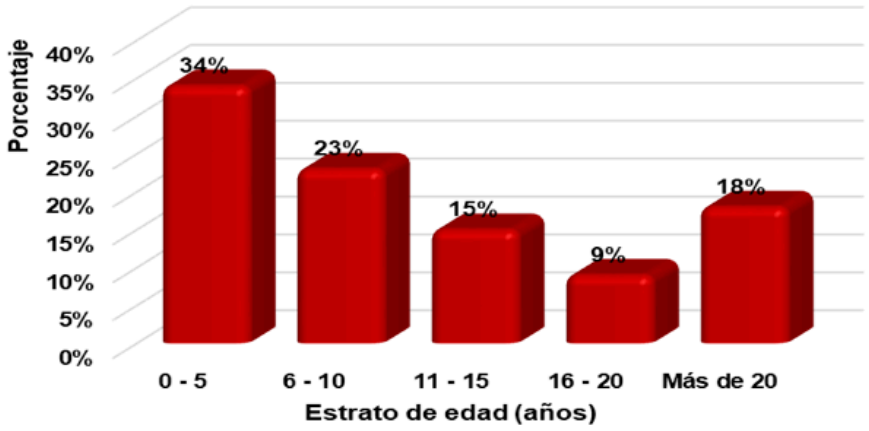
5.4 Análisis del parque de vehículos de carga

5.4.1 Caracterización del parque de vehículos de carga

El parque de vehículos de carga considera las categorías de *pick-up*, VAN de carga, carga ligera (camionetas de doble rodada), carga mediana (torton) y carga pesada (tractocamiones). Para el análisis de caracterización se obtuvo una muestra de 6 209 registros, de los cuales,

el 34 % corresponde a vehículos de hasta 5 años de antigüedad, el 23 % a vehículos de 6 a 10 años de edad, el 15 % a unidades de 11 a 15 años y el 27 % tienen más de 16 años de edad.

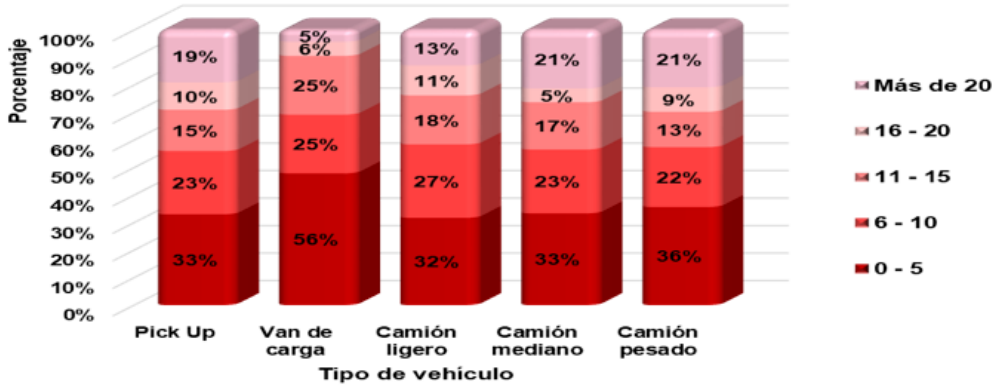
Figura 12. Antigüedad de la flota general de vehículos de carga en la zona metropolitana de Guadalajara



Fuente: INECC-CGCSA, 2022

Por tipo de vehículo, las VAN de carga tiene el mayor porcentaje de vehículos entre 0 y 5 años de edad, con el 56 %, seguido por los camiones pesados con el 36 %. Sin embargo, los tipos de vehículo con unidades de 16 o más años de edad son los camiones pesados con el 30 % de su flota, las *pick-up* con el 29 %y os camiones medianos con el 26 %.

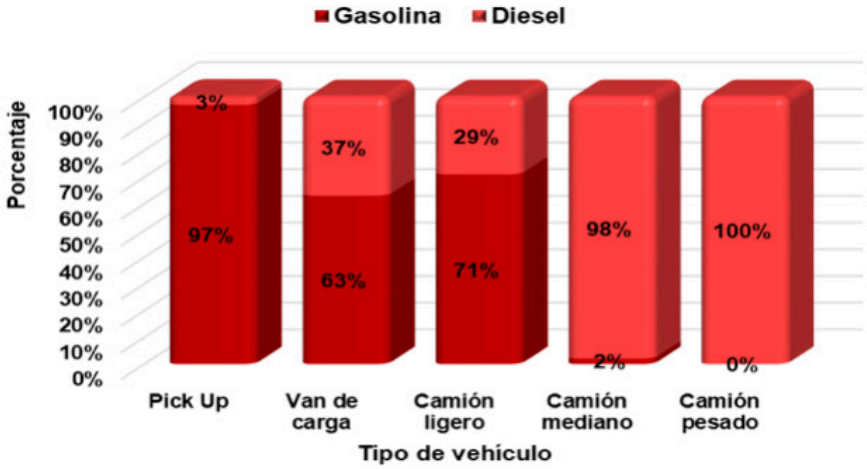
Figura 13. Antigüedad de la flota por tipo de vehículos de carga en la zona metropolitana de Guadalajara



Fuente: INECC-CGCSA, 2022

La composición por tipo de combustible de la flota de vehículos de carga que circula en la zona metropolitana de Guadalajara está integrada en forma general por un 79 % de vehículos a gasolina y un 21 % por vehículos a diésel. Aunque se reportan otro tipo de combustibles como el gas natural, gas L.P., o híbridos gas-gasolina, su participación no es significativa.

Figura 14. Tipo de combustible de la flota de vehículos de carga en la zona metropolitana de Guadalajara



Fuente: INECC-CGCSA, 2022

Por tipo de vehículo se observa que las *pick-up*, las VAN de carga y los camiones ligeros en un mayor porcentaje utilizan gasolina, así como que los camiones medianos y pesados dominan en el uso de diésel.

5.4.2 Emisiones del parque de vehículos de carga

5.4.2.1. Análisis por estrato de edad

El análisis de emisiones para vehículos de carga (*pick-up*, VAN de carga y camiones ligeros, medianos y pesados) considera una muestra de 5909 registros, los cuales se dividen en cinco estratos de edad: 0-4, 5-9, 10-14, 15-19 y 20 y más. Para cada estrato de edad se calculó el tamaño de muestra, el promedio, la desviación estándar y la mediana; y se realizó una comparación de las emisiones de monóxido de carbono (CO), hidrocarburos (HC), óxido nítrico (NO) y factor de humo, como a continuación se describe.

Emisiones de monóxido de carbono (CO, % vol.)

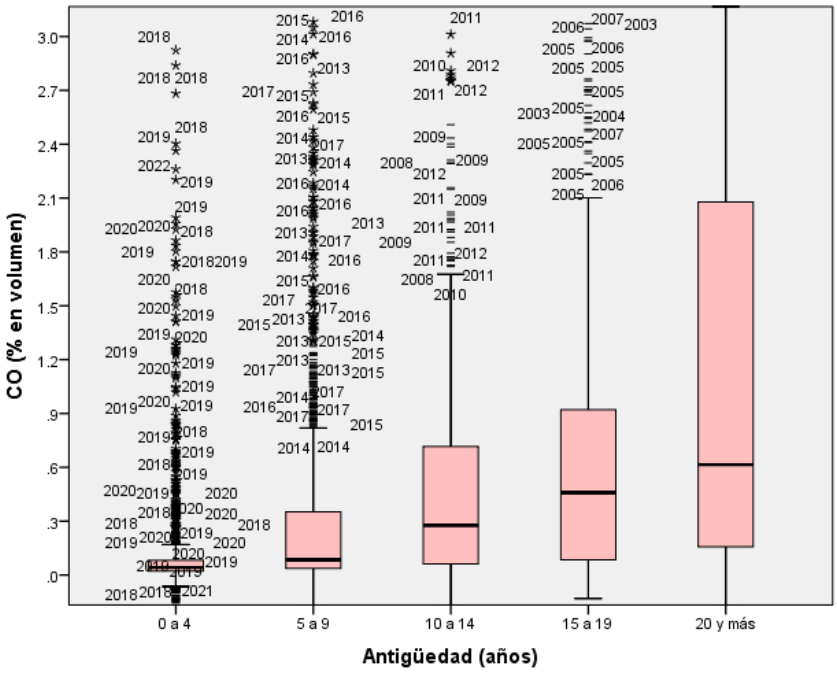
Los resultados de emisión para el monóxido de carbono (CO) muestran que la mediana de los vehículos de 0 a 4 años son los de menores emisiones promedio, ya que emiten 0.04 % en volumen, mientras que los vehículos de mayor edad, es decir, 20 y más años, tienen la mayor emisión promedio, con 0.61 % en volumen, lo que representa 14 veces más con respecto al promedio de los vehículos de 0 a 4 años.

Tabla 4. Estadística descriptiva de monóxido de carbono (% vol.) por estrato de edad

Tipo de vehículo	N	Mínimo	Media	Desviación	Mediana	Máximo
0 a 4	1644	-0.16	0.12	0.37	0.04	4.63
5 a 9	1571	-0.21	0.39	1.00	0.09	14.40
10 a 14	926	-0.23	0.66	1.29	0.28	16.90
15 a 19	632	-0.13	0.92	1.59	0.46	14.10
20 y más	1136	-0.19	1.82	2.72	0.61	15.27

Fuente: INECC-CGCSA, 2022.

Figura 15. Gráfico de caja de las emisiones de CO (% vol.) por estrato de edad



Fuente: INECC-CGCSA, 2022

Como se observa, en todos los estratos de edad se observan valores extremos de emisión, incluso en el estrato de vehículos nuevos, de 0 a 4 años, lo que indica que estos automotores no están recibiendo un mantenimiento adecuado.

Emisiones de hidrocarburos (HC, ppm como hexano)

En cuanto a los hidrocarburos (HC como hexano), los resultados muestran que la mediana de los vehículos de año-modelo más reciente (0 a 4 años) es de 24 ppm, mientras que para los más antiguos (20 y más años) es de 296 ppm en promedio. Es decir, más de 12 veces la diferencia de emisión entre el estrato de vehículos más nuevos y los más antiguos.

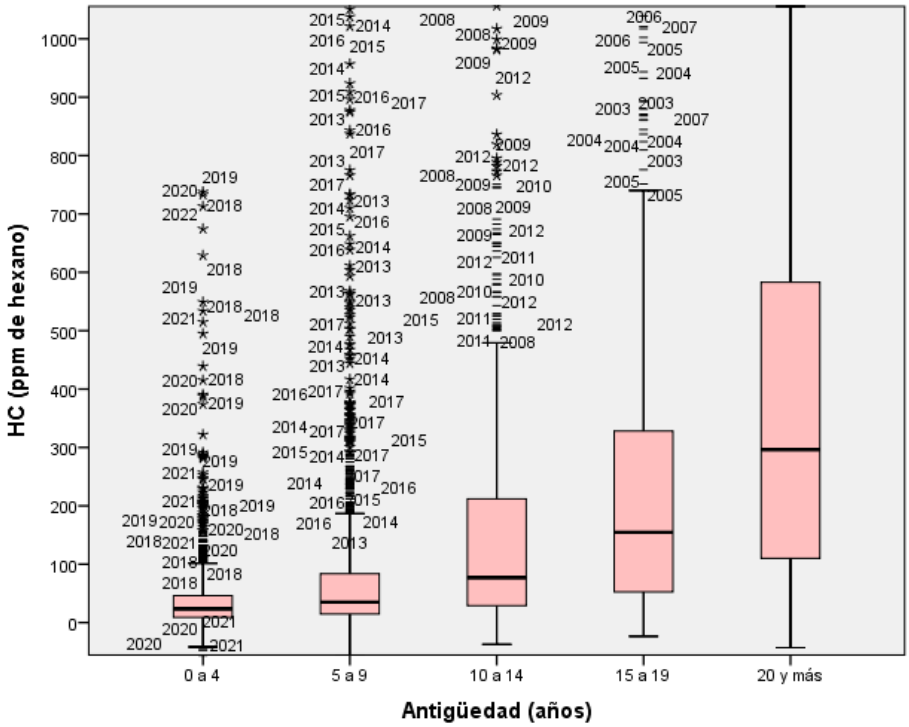
Tabla 5. Estadística descriptiva de hidrocarburos (ppm como hexano) por estrato de edad

Tipo de vehículo	N	Mínimo	Media	Desviación	Mediana	Máximo
0 a 4	1644	-66	42	108	24	2689
5 a 9	1571	-59	113	396	35	7916
10 a 14	926	-37	231	894	77	21 267
15 a 19	632	-24	361	974	155	17 532
20 y más	1136	-43	560	1,006	296	12 574

Fuente: INECC-CGCSA, 2022

Como se observa, hay automotores modelo 2021, 2020, 2019 y 2018 con emisiones superiores a las 400 ppm, lo cual está relacionado, muy probablemente, con una falta de mantenimiento de la unidad o uso de combustible de mala calidad.

Figura 16. Gráfico de caja de las emisiones de HC (ppm como hexano) por estrato de edad



Fuente: INECC-CGCSA, 2022

Emisiones de óxido nítrico (NO, ppm)

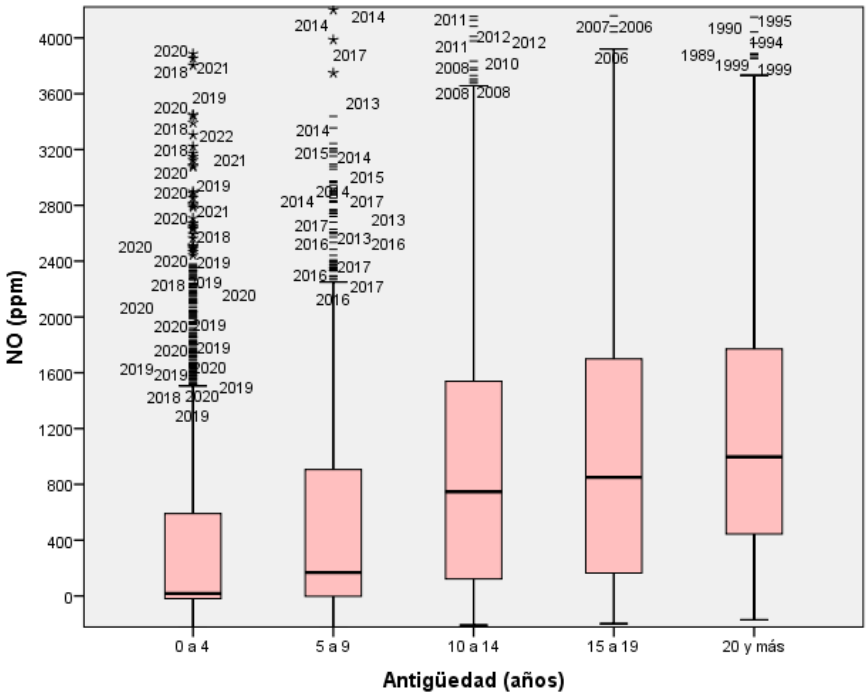
Para el caso de óxido nítrico (NO), conforme la flota envejece las emisiones aumentan, y mientras que la mediana de los automotores de entre 0 a 4 años es de 18 ppm, para los vehículos más antiguos, de 20 y más años, es de 996 ppm, lo cual representa una diferencia de más de 5 veces.

Tabla 6. Estadística descriptiva de óxido nítrico (ppm) por estrato de edad

Tipo de vehículo	N	Mínimo	Media	Desviación	Mediana	Máximo
0 a 4	1644	-250	388	716	18	4363
5 a 9	1571	-238	540	772	168	6909
10 a 14	926	-209	989	975	747	4854
15 a 19	632	-198	1,068	1027	850	6029
20 y más	1136	-171	1,205	985	996	5853

Fuente: INECC-CGCSA, 2022

Figura 17. Gráfico de caja de las emisiones de NO (ppm) por estrato de edad



Fuente: INECC-CGCSA, 2022

La diferencia de emisiones entre los estratos de edad de 5 a 9 años respecto a los de 10 y más es superior a 4 veces. Como se observó en los análisis de emisión para el monóxido de carbono y los hidrocarburos, hay unidades de año-modelo de menos de 5 años con emisiones de óxido nítrico arriba de 3500 ppm, lo que indica un mal mantenimiento o deterioro de los sistemas de control de emisiones de las unidades.

Emisiones de factor de humo (g de partículas/100 g de combustible)

El análisis de emisión para factor de humo considera sólo las categorías de vehículos medianos y pesados, debido a que estos utilizan, en su gran mayoría, diésel, que está relacionado directamente con la emisión de partículas.

Como se puede observar, la mediana más baja corresponde a los vehículos de menor edad, con 0.05 gramos de partículas por cada 100 gramos de combustible, mientras que la mayor concentración es para el estrato de edad de 20 y más años, con un valor de 0.21, es decir, 4 veces mayor que la concentración más baja del estrato de 0 a 4 años.

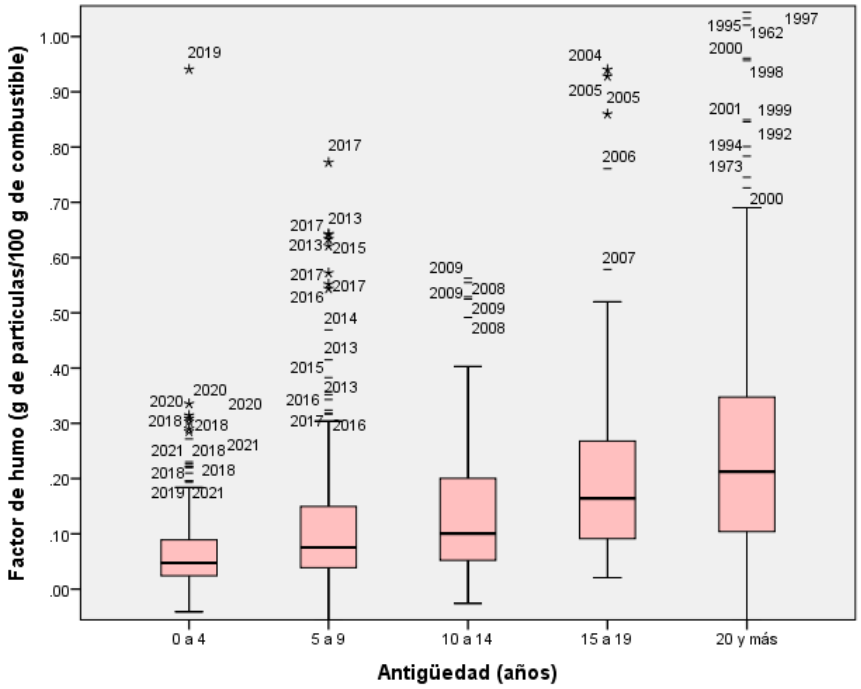
Tabla 7. Estadística descriptiva de óxido nítrico (ppm) por estrato de edad

Tipo de vehículo	N	Mínimo	Media	Desviación	Mediana	Máximo
0 a 4	228	-0.04	0.07	0.09	0.05	0.94
5 a 9	184	-0.10	0.13	0.19	0.08	1.67
10 a 14	126	-0.03	0.16	0.22	0.10	1.63
15 a 19	67	0.02	0.23	0.21	0.16	0.94
20 y más	170	-0.13	0.30	0.32	0.21	1.87

Fuente: INECC-CGCSA, 2022

Como se observa, prácticamente en todos los estratos de edad existen valores extremos de las emisiones, incluso en vehículos de año-modelo reciente, lo cual es un indicador de un deterioro de la unidad, así como de una falta de mantenimiento o probablemente del uso de combustibles de mala calidad.

Figura 18. Gráfico de caja de las emisiones de factor de humo (g de partículas/100 g de combustible) por estrato de edad



Fuente: INECC-CGCSA, 2022

5.4.2.1. Análisis por tipo de vehículo

Como parte del análisis de emisiones de los vehículos de carga, se muestran los resultados para las *pick-up*, VAN de carga, así como para camiones ligeros, medianos y pesados. La muestra para este análisis fue de 11 155 registros de emisiones.

Emisiones de monóxido de carbono (CO, % vol.)

Los resultados muestran que las camionetas VAN de carga son los que emiten la menor concentración de monóxido de carbono, con una mediana de 0.05 % vol., mientras que las *pick-up* son las que más emiten en promedio, con una mediana de 0.19 % vol. Esto representa una diferencia de 4 veces más.

Los camiones pesados y medianos tienen una mediana cercana a las de la VAN de carga, con 0.07 % y 0.09 % en vol., respectivamente.

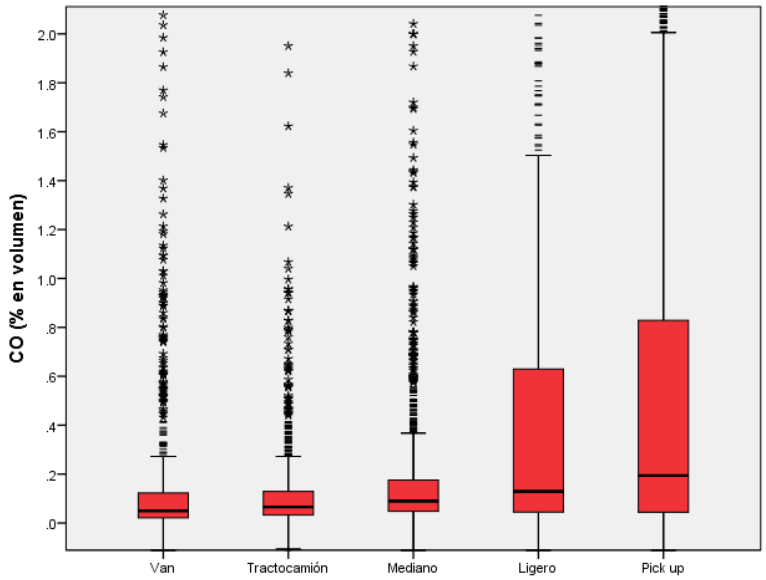
Tabla 8. Estadística descriptiva de monóxido de carbono (%vol.) por tipo de vehículo

Tipo de vehículo	N	Mínimo	Media	Desviación	Mediana	Máximo
Pick-up	6381	-0.21	0.88	1.79	0.19	15.49
VAN de camión	735	-0.27	0.26	0.85	0.05	9.52
Camión ligero	1368	-0.23	0.77	1.71	0.13	16.90
Camión mediano	1607	-0.22	0.24	0.69	0.09	11.27
Camión pesado	1064	-0.19	0.15	0.50	0.07	9.50

Fuente: INECC-CGCSA, 2022

En todos los tipos de vehículos hay valores extremos que indican el mal mantenimiento de las unidades.

Figura 19. Gráfico de caja de las emisiones de CO (% vol.) por tipo de vehículo



Fuente: INECC-CGCSA, 2022

Emisiones de hidrocarburos (HC, ppm como hexano)

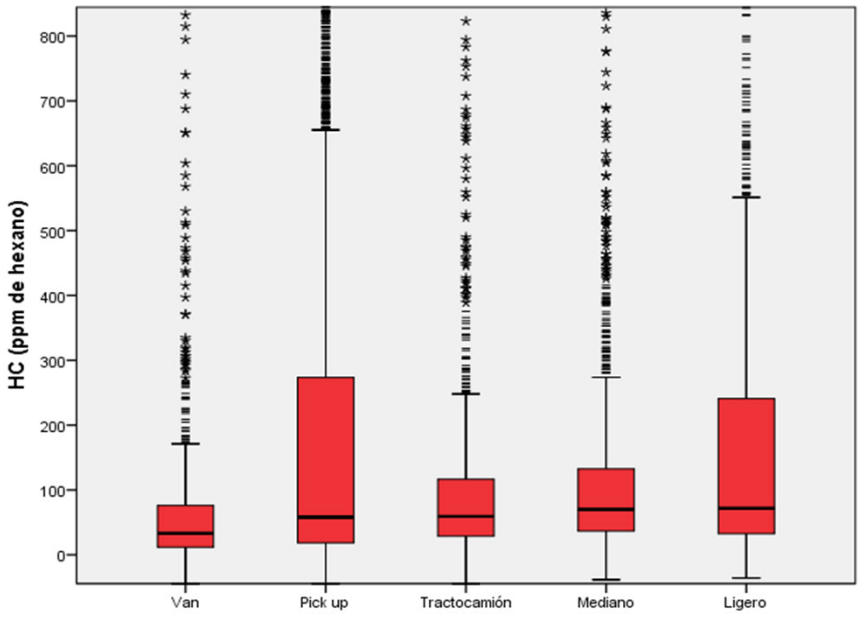
La mediana más baja es de las camionetas VAN de carga, con un valor de 33 ppm, mientras que el valor más alto corresponde a los camiones ligeros, con 73 ppm.

Tabla 9. Estadística descriptiva de hidrocarburos (ppm como hexano) por tipo de vehículo

Tipo de vehículo	N	Mínimo	Media	Desviación	Mediana	Máximo
Pick up	6381	-66	275	768	58	21267
VAN de camión	735	-60	92	248	33	4084
Camión ligero	1368	-47	326	935	73	11 278
Camión mediano	1607	-38	155	473	70	9002
Camión pesado	1064	-107	105	161	59	1767

Fuente: INECC-CGCSA, 2022.

Figura 20. Gráfico de caja de las emisiones de HC (ppm) por tipo de vehículo



Fuente: INECC-CGCSA, 2022

Emisiones de óxido nítrico (ppm)

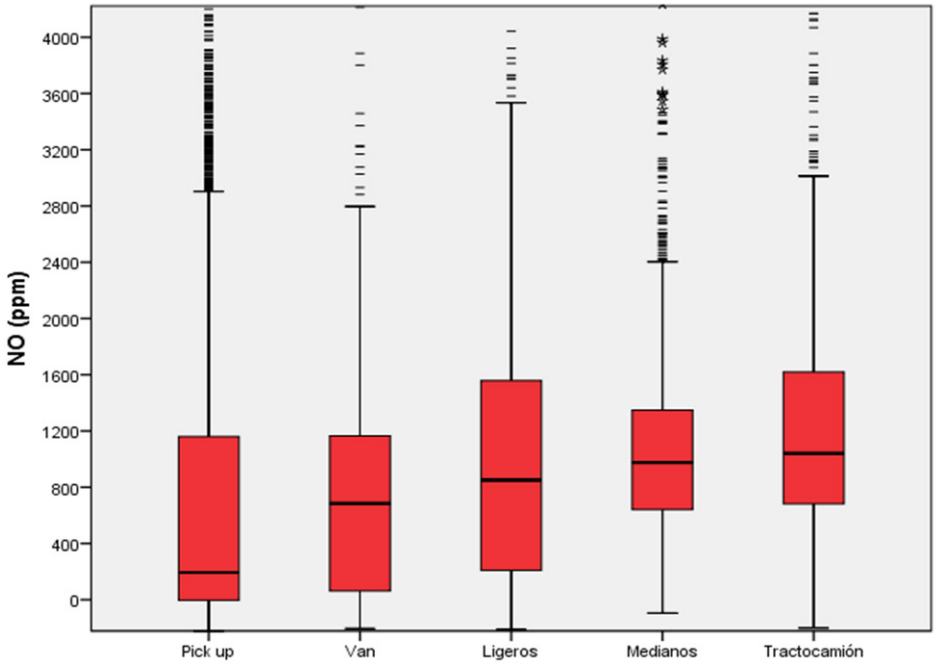
Los vehículos con mayores emisiones de óxido nítrico (NO) son los camiones pesados de carga (1040 ppm) y los más limpios, las *pick-up*, con 198 (ppm). Al igual que los contaminantes anteriores, hay valores extremos en todos los tipos de vehículos, algunos llegan a tener emisiones superiores a las 4000 ppm de NO.

Tabla 10. Estadística descriptiva de óxido nítrico (ppm) por tipo de vehículo

Tipo de vehículo	N	Mínimo	Media	Desviación	Mediana	Máximo
Pick up	6381	-284	691	970	198	6909
VAN de camión	735	-206	764	794	685	4630
Camión ligero	1368	-176	993	908	835	4717
Camión mediano	1607	-95	1,079	690	975	5604
Camión pesado	1064	-200	1234	798	1040	5484

Fuente: INECC-CGCSA, 2022.

Figura 21. Gráfico de caja de las emisiones de NO (ppm) por tipo de vehículo

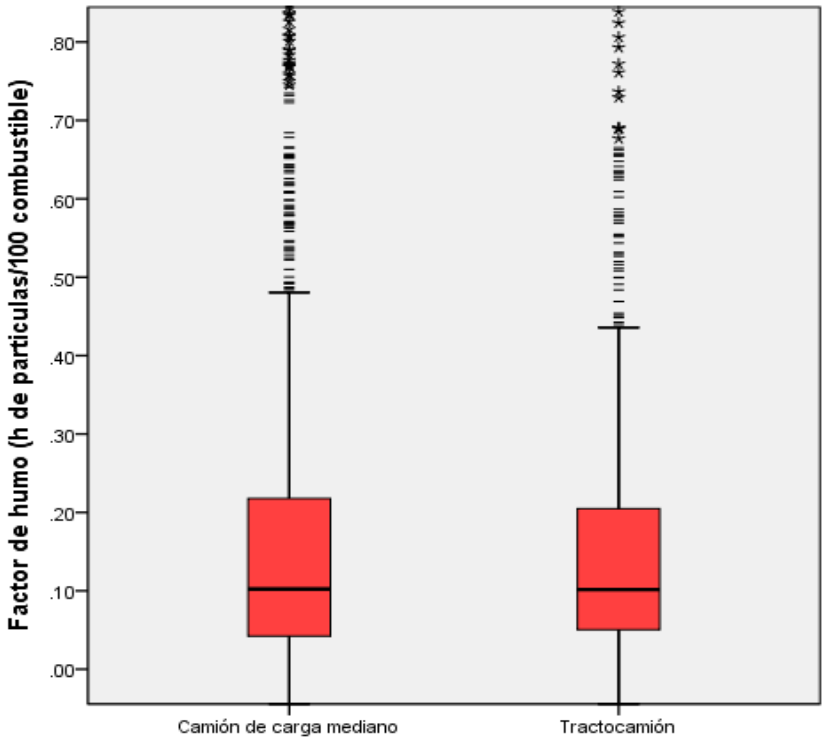


Fuente: INECC-CGCSA, 2022

Emisiones de factor de humo (g de partículas/100 g de combustible)

La emisión de partículas de los vehículos de carga pesados a diésel es muy similar entre los camiones medianos (tipo torton), respecto a los camiones pesados como los tractocamiones. Como se puede observar, las medianas son similares, en inclusive la dispersión de datos extremos.

Figura 22. Gráfico de caja de las emisiones de factor de humo (g de partículas/100 g de combustible) por tipo de vehículo



Fuente: INECC-CGCSA, 2022

5.4.1 Cumplimiento de la normatividad ambiental

En la siguiente sección se muestra un análisis del cumplimiento de la normatividad de emisiones para los vehículos automotores en circulación, que se concentra en la emisión de óxidos de nitrógeno (NOx) y factor humo (emisiones de partículas) de acuerdo con los estándares establecidos en la NOM-167-SEMARNAT-2017. Esta normativa es de observancia para las entidades que integran la Megalópolis (Ciudad de México, Estado de México, Hidalgo, Morelos, Puebla y Tlaxcala); sin embargo, en este caso se toman como referencia para el estudio de la flota que circula en la zona metropolitana de Guadalajara.

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

Tabla 11. Estadística descriptiva de óxido nítrico (ppm) por tipo de vehículo

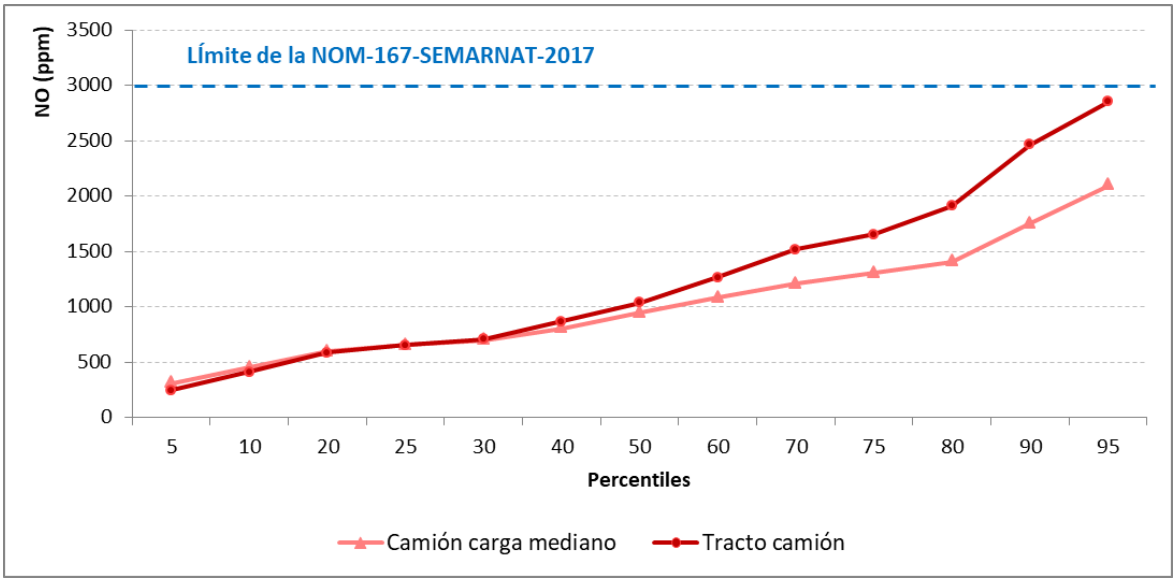
Combustible	CO (% en volumen)	HC (ppm de hexano)	NO (ppm)	Factor de humo (g de partículas/100 g de combustible)
Gasolina	4.5	600	2500	NA
Diésel	NA	NA	3000	0.5

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 circulan en la zona metropolitana de Guadalajara rebasa el límite de óxido nítrico (NO) y el 7 % rebasa el límite de factor de humo. 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.

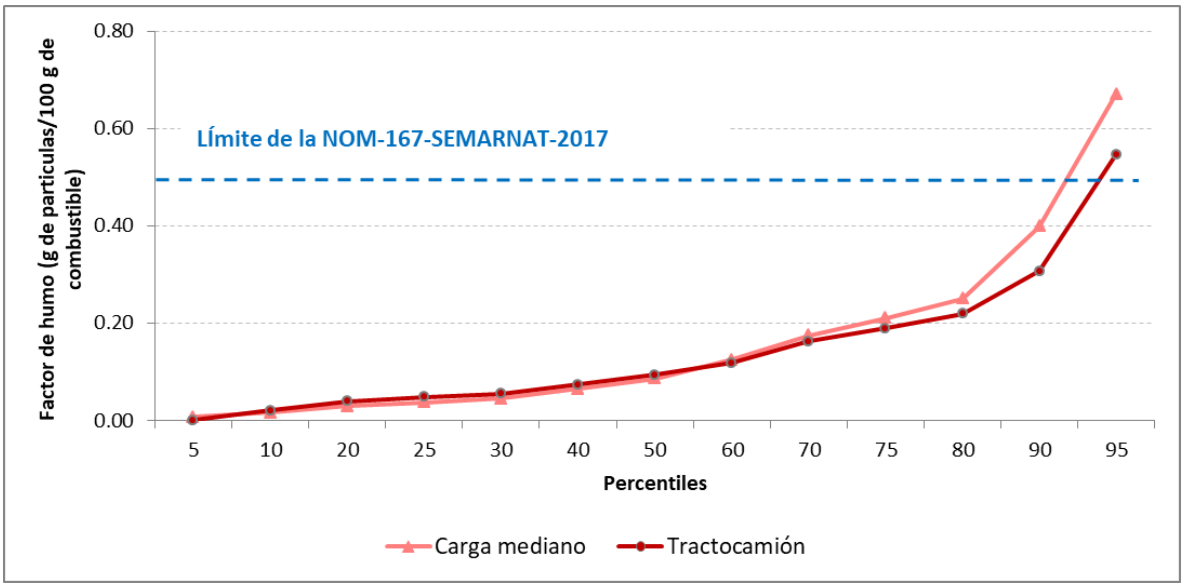
Respecto a los vehículos de carga a gasolina (*pick-up* y VAN de carga), tomando como referencia los límites de la NOM-167-SEMARNAT-2017, se tiene que el 8 % está fuera de norma por hidrocarburos como hexano; 5.5 % por óxido nítrico, y 3.6 % rebasa el límite de monóxido de carbono.

Figura 23. Cumplimiento del límite de óxido nítrico de la NOM-167-SEMARNAT-2017 por vehículos pesados a diésel en la zona metropolitana de Guadalajara



Fuente: INECC-CGCSA, 2022

Figura 24. Cumplimiento del límite de factor de humo de la NOM-167-SEMARNAT-2017 por vehículos pesados a diésel en la zona metropolitana de Guadalajara



Fuente: INECC-CGCSA, 2022

5.5 Caracterización del parque de vehículos ligeros

Para el análisis de emisiones de escape de vehículos ligeros (auto de pasajeros, SUV y taxi), se seleccionaron los vehículos a gasolina con una potencia específica o VSP (*vehicle specific power*) mayor que cero y menor o igual a 21.

5.5.1 Emisiones del parque de vehículos ligeros

5.4.2.1. Análisis por estrato de edad

Emisiones de monóxido de carbono (% vol.)

Como se observa en la Tabla 12 y la Figura 25, las emisiones de monóxido de carbono se reducen de forma considerable conforme la edad de los vehículos es menor. La mediana de los vehículos año-modelo 2012 y posteriores es de 0.059 % en volumen, mientras que para los 2006 a 2011 es de 0.12 %, y para los modelos 1990 y anteriores es de 3.047 % en volumen, que equivale a 52 veces la mediana de los más nuevos.

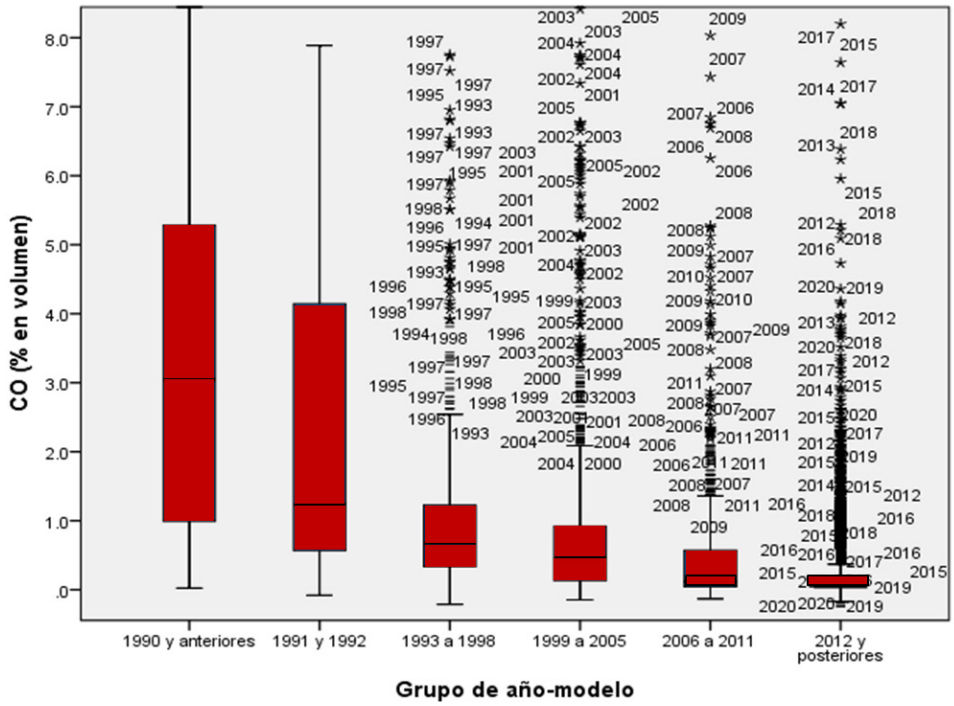
Tabla 12. Estadística descriptiva de monóxido de carbono (CO) por estrato de edad para vehículos ligeros

Año modelo	N	Mínimo	Media	Desviación	Mediana	Máximo
1990 y anteriores	71	0.024	3.612	3.097	3.047	12.193
1991 y 1992	53	-0.081	2.473	2.511	1.234	11.472
1993 a 1998	510	-0.211	1.301	1.953	0.672	12.909
1999 a 2005	1520	-0.145	0.959	1.741	0.460	15.627
2006 a 2011	1606	-0.131	0.481	1.094	0.120	13.438
2012 y posteriores	6435	-0.243	0.208	0.557	0.059	14.629

Fuente: INECC-CGCSA, 2022.

A pesar de que hay vehículos de años-modelo reciente que son muy limpios, también se detectaron vehículos muy contaminantes que son año-modelo 2016 y posteriores, como se observa en la Figura 25. Las emisiones de estos automotores superan el 3 % en volumen de CO.

Figura 25. Gráfico de caja de las emisiones de CO (% vol.) por estrato de edad para vehículos ligeros



Fuente: INECC-CGCSA, 2022

Emisiones de bióxido de carbono (% vol.)

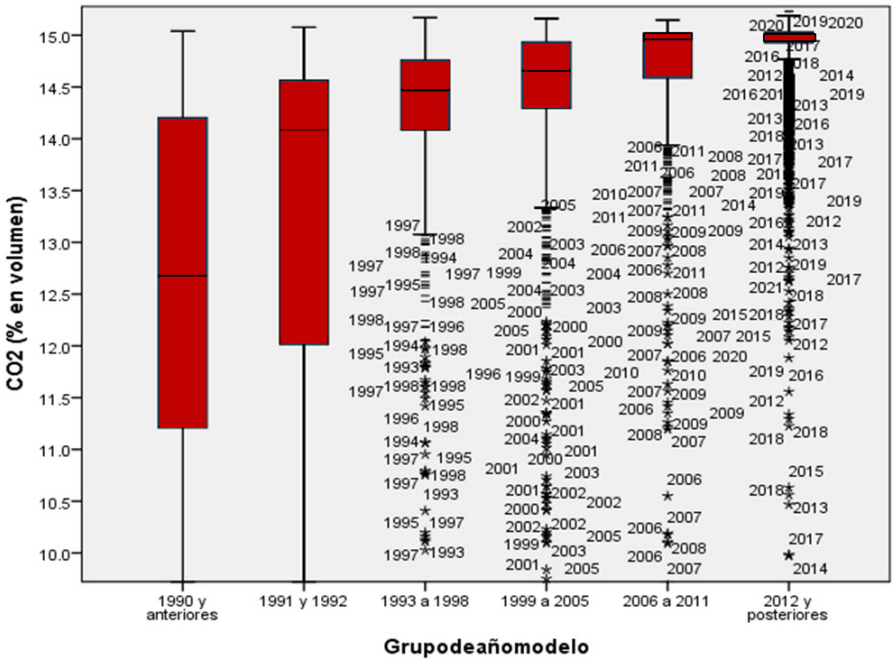
El comportamiento de las emisiones del CO_2 es contrario al de monóxido de carbono (CO) debido a que las emisiones aumentan conforme los vehículos son más nuevos, lo que indica una mayor eficiencia en la combustión. Para los vehículos carburados, la mediana es de 12.67 % en volumen, y para los que cuentan con sistema de diagnóstico a bordo, de 15.01 % en volumen.

Tabla 13. Estadística descriptiva de bióxido de carbono (CO_2) por estrato de edad para vehículos ligeros

Año-modelo	N	Mínimo	Media	Desviación	Mediana	Máximo
1990 y anteriores	71	6.24	12.37	2.22	12.67	15.04
1991 y 1992	53	6.73	13.20	1.81	14.09	15.08
1993 a 1998	510	5.34	14.04	1.41	14.47	15.17
1999 a 2005	1520	3.81	14.31	1.27	14.66	15.16
2006 a 2011	1606	5.05	14.68	0.81	14.96	15.15
2012 y posteriores	6435	4.46	14.90	0.41	15.01	15.23

Fuente: INECC-CGCSA, 2022

Figura 26.**Gráfico** de caja de las emisiones de CO_2 (% vol.) por estrato de edad para vehículos ligeros



Fuente: INECC-CGCSA, 2022

Emisiones de hidrocarburos (ppm como hexano)

Para el caso de los hidrocarburos, comparando las medianas por grupo de año-modelo tenemos que el 50 % de los vehículos 2012 y posteriores emiten 48 ppm de hexano o menos, mientras que los vehículos sin convertidor catalítico y carburados emiten hasta 987 ppm, es decir, 20 veces más que lao 2012 y posteriores.

La mediana se reduce de 172 ppm a 27 ppm al pasar de los años-modelo 1999 a 2005 a los 2006 al 2011, posiblemente se debe a la introducción del sistema de diagnóstico a bordo (OBD).

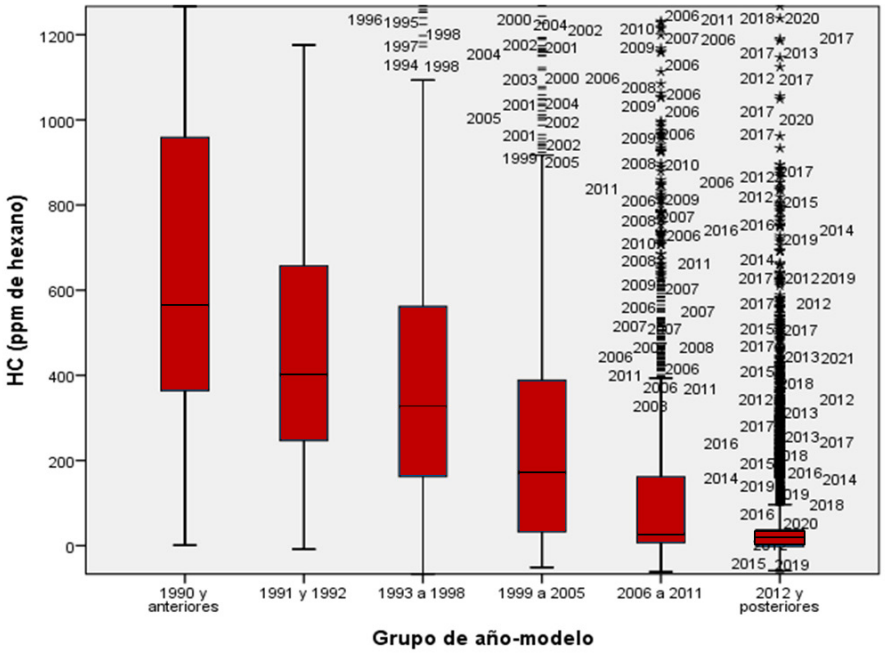
Tabla 14. Estadística descriptiva de hidrocarburos (HC) por estrato de edad para vehículos ligeros

Año-modelo	N	Mínimo	Media	Desviación	Mediana	Máximo
1990 y anteriores	71	1	987	1,538	564	10 161
1991 y 1992	53	-8	671	924	401	5235
1993 a 1998	510	-79	626	1,342	327	17 158
1999 a 2005	1520	-51	371	921	172	14 860
2006 a 2011	1606	-61	165	522	27	12 532
2012 y posteriores	6435	-79	48	173	12	5573

Fuente: INECC-CGCSA, 2022.

En la Figura 27 se observa que el percentil 75 se va reduciendo aproximadamente en 150 ppm al pasar de un estrato a otro. La presencia de valores extremos es evidente en todos los grupos de edad, hay vehículos 2015 y posteriores que emiten igual que uno 1990 y anteriores, lo que indica que estos vehículos no portan un convertidor catalítico o no han recibido un mantenimiento adecuado.

Figura 27. Gráfico de caja de las emisiones de HC (ppm) por estrato de edad para vehículos ligeros



Fuente: INECC-CGCSA, 2022

Emisiones de óxido nítrico (ppm)

El óxido nítrico es un contaminante que se ha reducido de manera importante gracias a la introducción de nuevas tecnologías de control de emisiones, como el convertidor catalítico de tres vías y la válvula EGR, entre otros.

Como se muestra en Tabla 15 y Figura 28, al pasar de los vehículos año-modelo 1993 a 1998 a los 2012 y posteriores la mediana se reduce en un 99 %.

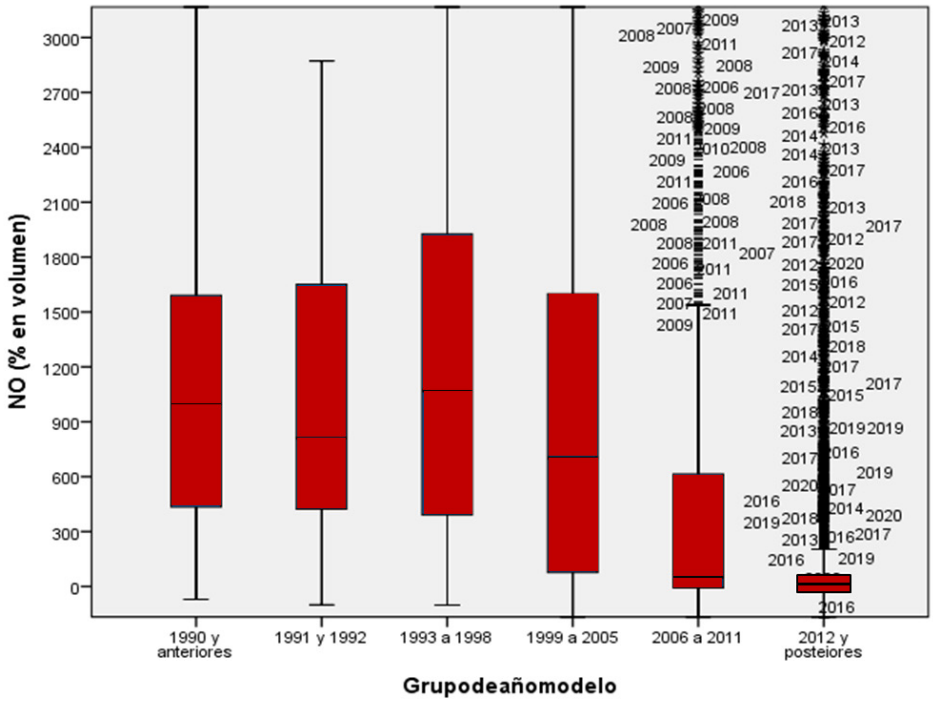
Tabla 15. Estadística descriptiva de óxido nítrico (NO) por estrato de edad para vehículos ligeros

Año-modelo	N	Mínimo	Media	Desviación	Mediana	Máximo
1990 y anteriores	71	-70	1,146	892	998	4030
1991 y 1992	53	-100	1,077	890	810	3852
1993 a 1998	510	-102	1,252	1002	1071	4481
1999 a 2005	1520	-282	972	1000	703	5411
2006 a 2011	1606	-233	469	820	51	4379
2012 y posteriores	6435	-306	141	516	4	5366

Fuente: INECC-CGCSA, 2022

Al igual que para otros contaminantes analizados, se presentan valores extremos (Figura 28) en vehículos de año-modelo reciente, como 2017 y posteriores, lo cual puede estar relacionado con la falta de mantenimiento, ausencia o daño del convertidor catalítico.

Figura 28. Gráfico de caja de las emisiones de óxido nítrico (ppm) por grupo de año-modelo para vehículos ligeros



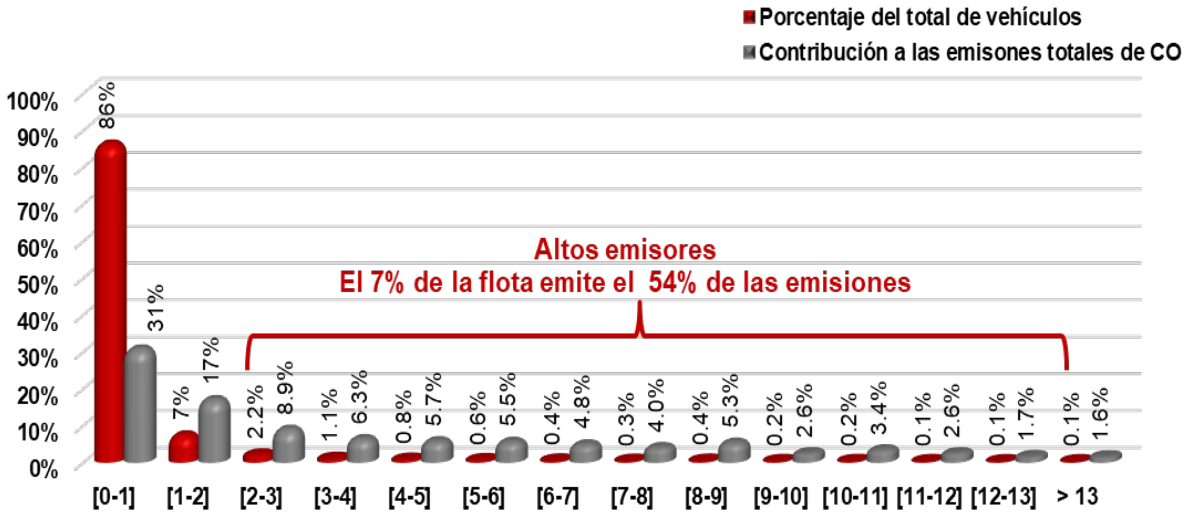
Fuente: INECC-CGCSA, 2022

5.5.2 Análisis de altos emisores

De acuerdo con la literatura internacional, a la fracción de vehículos que contribuyen con la mitad de las emisiones totales de escape de cierta flota se le conoce como “Gross polluters” (o altos emisores) (Zhang *et al*., 1995). Para la flota medida en el Área Metropolitana de Guadalajara se obtuvo el porcentaje de vehículos que caen en cada categoría de concentración de contaminante y su contribución a las emisiones totales.

Los resultados para el monóxido de carbono (CO) indican que un 7 % de vehículos contribuye con 54 % de las emisiones de este contaminante, y estos son los que emiten más de 2 % en volumen.

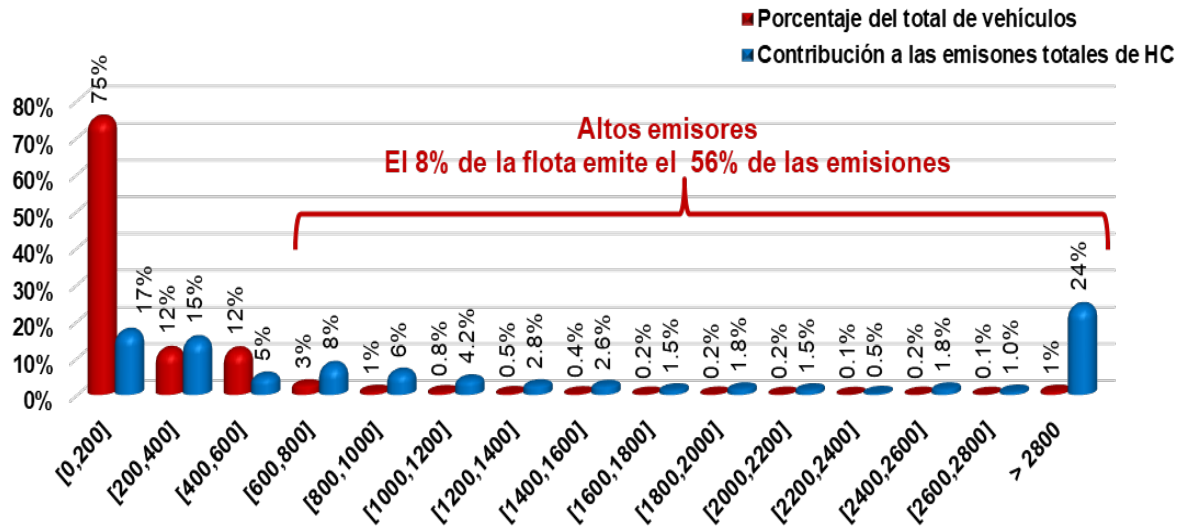
Figura 29. Contribución de altos emisores a la emisión de monóxido de carbono



Fuente: INECC-CGCSA, 2022

Para el caso de los hidrocarburos, el 8 % de los vehículos contribuyen con el 56 % de las emisiones totales, estos vehículos son los que emiten más de 600 ppm de hexano.

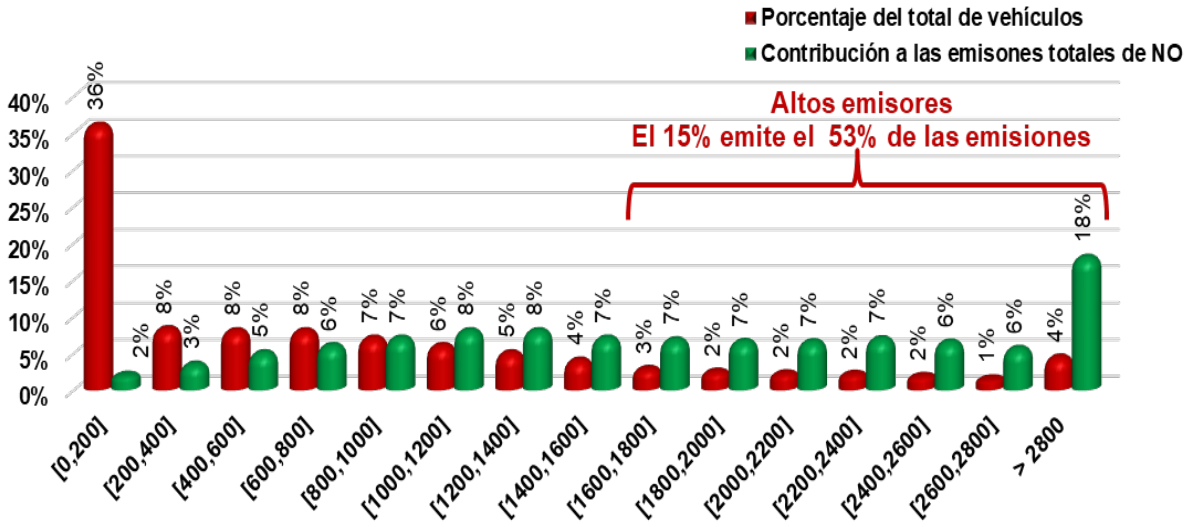
Figura 30. Contribución de altos emisores a la emisión de hidrocarburos por porcentaje de la flota



Fuente: INECC-CGCSA, 2022

En cuanto al óxido nítrico (NO), el 15 % de los automotores medidos contribuye con el 53 % de las emisiones, y estos automotores son los que emiten más de 1800 ppm.

Figura 31. Contribución de altos emisores a la emisión de óxido nítrico



Fuente: INECC-CGCSA, 2022

5.5.3 Recomendaciones

Debido a la complejidad de los programas de verificación vehicular, una valoración de estos programas basada en datos de externos como la detección remota proporciona una evaluación más exacta de su desempeño general.

Los datos de detección remota se pueden utilizar para:

- Evaluar la eficacia de los programas de verificación vehicular de vehículos en general.
- Evaluar flotas enteras en áreas geográficas mediante la comparación de las emisiones de los vehículos de áreas con y sin programas de verificación vehicular.
- Evaluar el impacto que tienen los vehículos registrados en una región sin programas de verificación vehicular (por ejemplo, los viajeros o turistas) sobre la calidad del aire de una región con programas de inspección y mantenimiento.
- Comparar las modelaciones de emisiones con los datos de emisiones del mundo real (es decir, en condiciones reales de manejo).
- Caracterizar de manera rentable las emisiones de flotas enteras de vehículos.
- Proporcionar emisiones por estado e identificar a los viajeros de fuera.
- Identificar modelos y marcas de vehículos específicos que emiten excesivamente debido a dispositivos estropeados o mal diseñados.
- Las mediciones de detección remota pueden ser una herramienta para ayudar a alcanzar el objetivo principal de todos los programas de verificación vehicular, que es conocer la reducción de emisiones en ruta. Las ventajas generales de los datos de detección remota son las siguientes:
- Las pruebas no son programadas y miden las emisiones en ruta.
- Se puede medir una muestra de todos los vehículos que circulan en un área.
- Se puede medir una muestra muy grande de vehículos por una fracción del costo de las pruebas de verificación vehicular.
- Los vehículos pueden medirse en un rango de condiciones de manejo, en lugar de sólo en las especificadas en la prueba de verificación vehicular.
- Vehículos que a menudo no son probados debido a su condición de tamaño o requerimientos especiales de dinamómetro (vehículos pesados, vehículos considerados inseguros para medir, vehículos que requieren dinamómetros en las cuatro ruedas).

- Los datos en ruta pueden evaluar hasta qué punto los propietarios están reparando sus vehículos antes de las pruebas de verificación. Este es un parámetro que no se puede medir mediante datos del programa.

- Los datos de detección remota pueden ser convertidos directamente a emisiones en masa por volumen o masa de combustible consumido y pueden utilizarse para desarrollar inventarios de emisiones independientes de las modelaciones.

En un programa de detección remota bien diseñado, la pendiente del camino y las condiciones ambientales en el lugar de medición, así como la velocidad y la aceleración del vehículo, se medirán y se utilizarán para calcular la carga específica del vehículo para cada medición de emisiones. El análisis puede entonces realizarse en un subconjunto de mediciones con una distribución de cargas similar a la encontrada en la prueba de inspección y mantenimiento por un solo vehículo. Además, al emplear cuidadosos criterios de selección de sitios, la detección remota tiene el potencial de medir las emisiones bajo condiciones de manejo que actualmente no se incorporan en las pruebas de inspección y mantenimiento.

Las emisiones medidas por instrumentos de detección remota en pruebas de ralentí y aceleración simulada se reportan en términos de concentración. Los datos de detección remota se pueden comparar directamente con los resultados de emisiones de los programas de verificación vehicular en estas mismas modalidades.

Los sensores remotos miden eficazmente las emisiones de vehículos en uso y generan grandes conjuntos de datos que se pueden utilizar para una serie de beneficios de valor añadido para los automovilistas y jurisdicciones gubernamentales responsables de los programas de verificación vehicular.

Los datos recolectados a través de sensores remotos pueden utilizarse para recompensar a los automovilistas que mantienen vehículos limpios, poco contaminantes, mediante una exención de su próxima verificación vehicular, lo que les ahorraría tiempo, esfuerzo y el gasto de viajar a un lugar de pruebas fijo.

Los datos de detección remota también se pueden utilizar para encontrar los vehículos altamente contaminantes que contribuyen de manera desproporcionada al inventario de emisiones de los vehículos de una región. Los propietarios de estos pueden ser contactados a través de seguimiento voluntario u obligatorio de la secretaria del medio ambiente e informados sobre el mal funcionamiento que eleva las emisiones, reduce la economía de su combustible y da lugar a futuras reparaciones más complejas y costosas.

Además, los datos recogidos en carretera por los sensores remotos pueden ser utilizados por las agencias estatales responsables de los programas de verificación vehicular para evaluar la eficacia general del programa. De esta manera, puede validar estrategias de control de las emisiones y generar información para las futuras decisiones del programa.

- **Inspección de actividad irregular o fraudulenta en pruebas de emisiones mediante detección remota**

  Los datos recolectados en ruta por los sensores remotos pueden destacar las discrepancias en los niveles de emisiones entre las mediciones aprobadas en centros de verificación y las mediciones reprobadas en ruta con detección remota, estas últimas registradas poco después de la verificación vehicular en el centro. De esta manera, la detección remota puede servir como una auditoría de calidad para los programas de verificación vehicular.

  El uso del sensor remoto permite realizar la correlación de datos que permiten dirigir a los equipos de auditoría y cumplimiento de una autoridad a los centros de verificación vehicular en los que se están realizando pruebas de emisiones potencialmente fraudulentas o incorrectas. Las auditorías de detección remota de los centros de verificación vehicular pueden mejorar en gran medida la eficiencia y eficacia de las actividades de control y vigilancia.

- **Detección de vehículos limpios en pruebas de emisiones mediante detección remota**

  El objetivo original de la detección remota era identificar a los altos emisores. Sin embargo, la medición de las emisiones de vehículos también puede utilizarse para identificar vehículos limpios con una alta probabilidad de pasar su prueba de inspección periódica.

  En general, el programa Detección de vehículos limpios tiene como objetivo hacer que los programas de verificación vehicular sean más rentables al concentrar las inspecciones en los automóviles con más probabilidades de ser altos emisores y con mayor necesidad de reparación. Se espera que, al eximir a estos vehículos de la siguiente verificación vehicular, los programas puedan reducir la carga del sistema y los costos del propietario del vehículo, así como aumentar la conveniencia y la aceptación del programa.

  Con la aplicación del programa Detección de vehículos limpios, los propietarios de tales vehículos pueden recibir aviso de una exención opcional de su próxima visita al centro de verificación vehicular.

  - Al obtener una opción al programa Detección de vehículos limpios, el automovilista puede evitar su próxima visita a un centro de verificación vehicular para una prueba de emisiones tradicional.

  - Los conductores con vehículos aptos reciben un aviso del programa por correo, que simplemente pueden canjear con las cuotas requeridas.

- **Identificación de altos emisores**

  Los sensores remotos pueden identificar los vehículos más contaminantes de la misma manera que se identifican los vehículos más limpios. La identificación de los primeros en condiciones normales de circulación puede proporcionar a la secretaria del medio ambiente opciones adicionales para estimular la reparación de los vehículos que causan la mayoría de los problemas de calidad del aire en su jurisdicción.

  Con base en el monitoreo y detección de altos emisores a través del sensor remoto, la secretaria emitiría avisos de incumplimiento que requieren que los vehículos más contaminantes se sometan a una nueva verificación vehicular en un centro, con el fin de efectuar reparaciones, y así reducir sus emisiones a niveles de cumplimiento. También se podría optar por parar de inmediato a los altos emisores identificados por los sensores remotos con el fin de llevar a cabo la inspección en la vialidad.

  Encontrar a los altos emisores fuera de periodo (es decir, durante sus pruebas regulares de emisiones) con datos de detección remota que puedan ser recolectados como parte de un programa simultáneo al programa Detección de vehículos limpios permite un complemento rentable y conveniente para un programa de verificación vehicular que ofrece beneficios adicionales de calidad del aire.

- **Emisiones evaporativas**

  De acuerdo con modelaciones de emisiones de vehículos de la EPA, las emisiones evaporativas de hidrocarburos causadas por fugas de combustible líquido son similares en tamaño agregado al total de las emisiones de hidrocarburos de escape. Sin embargo, la mayoría de los programas de verificación vehicular sólo ponen a prueba las emisiones del tubo de escape debido al tiempo y a los gastos que suponen las pruebas de emisiones evaporativas.

  Los sensores remotos pueden identificar los altos emisores evaporativos, con lo cual proporcionan una estrategia de reducción de emisiones rentable y conveniente. En términos de reducciones generales de inventario de las emisiones de hidrocarburos, el uso de sensores remotos para identificar las emisiones evaporativas puede servir como una herramienta valiosa añadiendo poco, o ningún costo una vez que un programa Detección de vehículos limpios ya está implementado.

- **Normatividad estatal para equipos de detección remota**

  Se deberá desarrollar la normatividad estatal que permita al Gobierno de Jalisco, mediante el uso de equipos de detección remota, la implementación de los programas de detección de vehículos limpios y vehículos ostensiblemente contaminantes.

El plan propuesto para la implementación de estrategias de control recomendadas derivado de este estudio es:

Estrategias de control	Tiempo de Implementación		
	Semestre 1	Semestre 2	Semestre 3
Adquisición de Equipo de Detección Remota.			
Capacitación del personal de la SEMADET			
Normatividad estatal para equipos de detección remota.			
Identificación de altos emisores			
Inspección de actividad irregular o fraudulenta en pruebas de emisiones mediante detección remota.			
Detección de Vehículos limpios en pruebas de emisiones mediante detección remota.			
Emisiones evaporativas.			

Conclusiones

Durante diez días de los meses de enero y febrero de 2022 se llevó a cabo la campaña de medición de emisiones vehiculares con sensor remoto en el Área Metropolitana de Guadalajara, en donde se recopilaron de 47 353 registros de emisiones vehiculares. Una vez realizada la depuración de los datos, se dispuso de 17 825 registros válidos para el análisis estadístico.

Los resultados muestran lo siguiente para la flota de vehículos de carga *(pick-up*, VAN, camiones ligeros, medianos y pesados), de especial interés para este estudio:

- Edad de la flota: El 34 % corresponden a vehículos de hasta 5 años, el 23 % de 6 a 10 años, el 15 % a unidades de 11 a 15 años y el 27 % tienen más de 16 años.

- Tipo de combustible: Por tipo de vehículo se observa que las *pick-up*, las VAN de carga y los camiones ligeros en un mayor porcentaje utilizan gasolina, así como que los camiones medianos y pesados dominan en el uso de diésel.

- Análisis de emisiones:

    - Por estrato de edad: Existe una clara diferencia en emisiones entre los vehículos de carga de menos de 10 años con respecto a los de más edad. Por ejemplo, para el monóxido de carbono (CO), en el estrato de 5 a 9 años respecto al de 10

a 14, la diferencia es de 3 veces, para los hidrocarburos el doble, y los óxidos de nitrógeno hasta 4 veces más. La diferencia se va incrementando con los estratos de mayor edad.

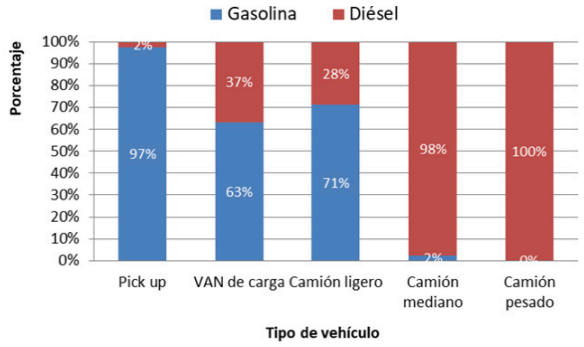
- Por tipo de vehículo: En general, las camionetas tipo VAN son las de menores emisiones en todos los contaminantes evaluados; los de mayores emisiones son las *pick-up* para monóxido de carbono, los camiones ligeros en hidrocarburos y los camiones pesados en óxidos de nitrógeno.

- <u>Cumplimiento de la NOM-167-SEMARNAT-2017:</u>

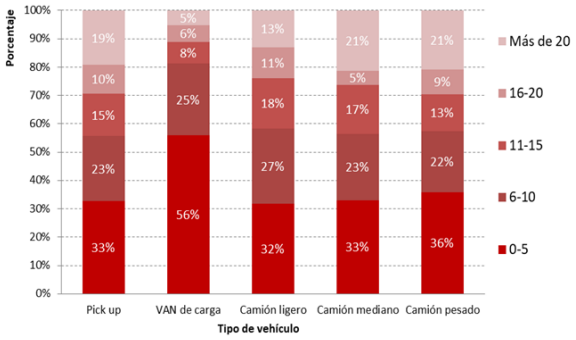
  - Vehículos de carga a diésel: El 3 % rebasa el límite de óxido nítrico (NO) y el 7 % el de factor de humo.

  - Vehículos de carga a gasolina: El 8 % está fuera de norma por hidrocarburos; el 5.5 % por óxido nítrico, y el 3.6 % rebasa el límite de monóxido de carbono.

Tipo de combustible de la flota de vehículos de carga en la zona metropolitana de Guadalajara.



Antigüedad de la flota por tipo de vehículos de carga en la zona metropolitana de Guadalajara.



Los resultados de este estudio permitirán contar con las bases técnicas para la definición de políticas que lleven a regular de forma estratégica la movilidad y las emisiones del transporte de carga que circula en el Área Metropolitana de Guadalajara, así como sentar la línea base para evaluaciones futuras de las condiciones tecnológicas, de movilidad y del programa de verificación vehicular del estado de Jalisco.

7 · Acrónimos

Créditos de la fotografía: José Martin Suastegui Nolasco

7 · Acrónimos

AMG	Área Metropolitana de Guadalajara, Jalisco
CMM	Centro Mario Molina para Estudios Estratégicos sobre Energía y Medio Ambiente
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
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
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
SEMADET	Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial del Gobierno del Estado de Jalisco.
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

8 · Bibliografía

Créditos de la fotografía: José Martin Suastegui Nolasco

8 · Bibliografía

1 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.

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

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

4 INECC, 2011. Estudio de emisiones y actividad vehicular en la zona metropolitana de Guadalajara, Jalisco. México. Ciudad de México: Dirección de Investigación sobre la Contaminación Urbana y Regional, Dirección de Investigación sobre la Calidad del Aire. Ciudad de México. 92 pp.

5 INECC, 2020. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. Informe Nacional de Calidad del Aire 2019, México. Ciudad de México: Coordinación General de Contaminación y Salud Ambiental, Dirección de Investigación de Calidad del Aire y Contaminantes Climáticos. Ciudad de México. 346 pp.

6 INEGI, 2022a. Número de habitantes al año 2020 por municipio del Estado de Jalisco. Información disponible en: http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/jal/poblacion/

7 INEGI, 2022b. Vehículos de motor registrados en circulación. Información disponible en: https://www.inegi.org.mx/sistemas/olap/consulta/general_ver4/MDXQueryDatos.asp?#Regreso&c=

8 INEM, 2018. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Inventario Nacional de Emisiones de Contaminantes Criterio para México, 2016. Información disponible en: https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/inventario-nacional-de-emisiones-de-contaminantes-criterio-inem

9 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.

10 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.

11 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.

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

Anexo I

Sitios de monitoreo Zona Metropolitana de Guadalajara

Créditos de la fotografía: José Martin Suastegui Nolasco

9. Anexo I

Sitios de monitoreo Área Metropolitana de Guadalajara

Tabla 16. Sitios de monitoreo Área Metropolitana de Guadalajara

Punto	Fecha	Nombre de sitio	Municipio	Configuración	Coordenadas	Pendiente
1	24/01/2022	La Magdalena	Zapopan	Escape bajo	20.815441, -103.45419	1.4
2	25/01/2022	Inspección de ganado	Zapopan	Escape bajo	20.729331, -103.568779	0.9
2	25/01/2022	Inspección de ganado	Zapopan	Escape alto	20.729331, -103.568779	0.9
3	26/01/2022	CEDIS Walmart	Tlajomulco de Zúñiga	Escape bajo	20.490477, -103.270287	0.3
3	26/01/2022	CEDIS Walmart	Tlajomulco de Zúñiga	Escape alto	20.490477, -103.270287	0.3
4	27/01/2022	CEDIS Oxxo	Tlajomulco de Zúñiga	Escape bajo	20.49051, 103.487556	0.1
5	28/01/2022	Periférico Sur, Hewlett Packard	San Pedro Tlaquepaque	Escape bajo	20.585204, -103.381384	0.4
6	31/01/2022	Proyectos metálicos	San Pedro Tlaquepaque	Escape bajo	20.585608, -103.353043	1.8
7	01/02/2022	CEDIS Walmart	Tlajomulco de Zúñiga	Escape bajo	20.490477, -103.270287	0.3
7	01/02/2022	CEDIS Walmart	Tlajomulco de Zúñiga	Escape alto	20.490477, -103.270287	0.3
8	02/02/2022	Álamo Industrial	Guadalajara	Escape bajo	20.6317628, -103.3275242	1.4
8	02/02/2022	Álamo Industrial	Guadalajara	Escape alto	20.6317628, -103.3275242	1.4
9	03/02/2022	Vesta Park Guadalajara	El Salto	Escape bajo	20.567071, -103.299257	2.0
9	03/02/2022	Vesta Park Guadalajara	El Salto	Escape alto	20.567071, -103.299257	2.0
10	04/02/2022	Periférico Norte	Zapopan	Escape bajo	20.740797, -103.391773	1.3

Tabla 17. ID 1, La magdalena

Nombre del sitio	La magdalena
Fecha de evaluación	24-01-2022
Domicilio	Carretera a Colotlán, No. 4096, Col. La Magdalena, C.P. 45200, municipio Zapopan
Configuración	Escape bajo
Latitud	20.815441
Longitud	-103.45419
Pendiente	1.4
Hora inicio	11:01:00 AM
Hora fin	4:01:00 PM
Número de registros	4899

Tabla 18. ID 2, Inspección de ganado

Nombre del sitio	Inspección de ganado
Fecha de evaluación	25-01-2022
Domicilio	Carretera Guadalajara - Tepic, Col. La Primavera, C.P. 45030, municipio Zapopan
Configuración	Escape bajo
Latitud	20.729330999
Longitud	-103.5687791
Pendiente	0.9
Hora inicio	11:12:00 AM
Hora fin	2:12:00 PM
Número de registros	2895

Tabla 19. ID 2, Inspección de ganado

Nombre del sitio	Inspección de ganado
Fecha de evaluación	25-01-2022
Domicilio	Carretera Guadalajara - Tepic, Col. La Primavera, C.P. 45030, municipio Zapopan
Configuración	Escape alto
Latitud	20.729330999
Longitud	-103.5687791
Pendiente	0.9
Hora inicio	11:45:00 AM
Hora fin	2:00:00 PM
Número de registros	110

Tabla 20. ID 3, CEDIS Walmart

Nombre del sitio	CEDIS Walmart
Fecha de evaluación	26-01-2022
Domicilio	Carretera Guadalajara - El Salto, Col. La Alameda, C.P. 45679, municipio Tlajomulco de Zúñiga
Configuración	Escape bajo
Latitud	20.49047699
Longitud	-103.270287
Pendiente	0.3
Hora inicio	10:02:00 AM
Hora fin	4:00:00 PM
Número de registros	4385

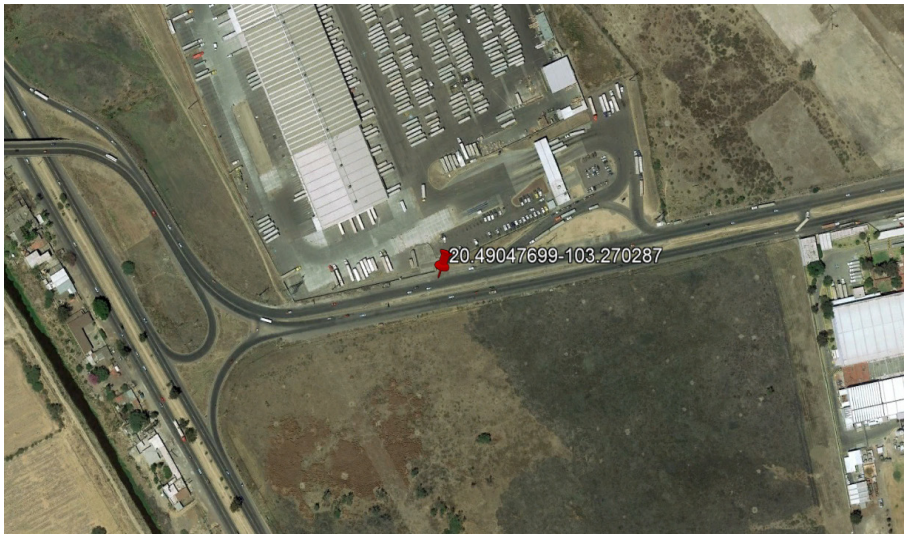


Tabla 21. ID 3, CEDIS Walmart

Nombre del sitio	CEDIS Walmart
Fecha de evaluación	26-01-2022
Domicilio	Carretera Guadalajara - El Salto, Col. La Alameda, C.P. 45679, municipio Tlajomulco de Zúñiga
Configuración	Escape alto
Latitud	20.49047699
Longitud	-103.270287
Pendiente	0.3
Hora inicio	10:05:00 AM
Hora fin	4:02:00 PM
Número de registros	428

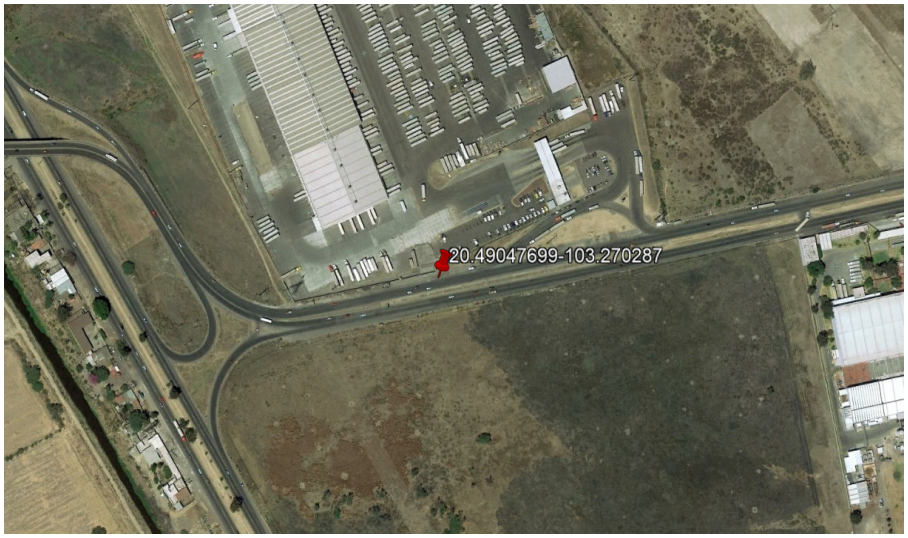


Tabla 22. ID 4, CEDIS Oxxo

Nombre del sitio	CEDIS Oxxo
Fecha de evaluación	27-01-2022
Domicilio	Cto. Metropolitano Sur, Col. Santa Cruz de las Flores, C.P. 45640, municipio Tlajomulco de Zúñiga
Configuración	Escape bajo
Latitud	20.49051
Longitud	-103.487556
Pendiente	0.1
Hora inicio	9:28:00 AM
Hora fin	4:02:00 PM
Número de registros	6561

Tabla 23. ID 5, Periférico Sur, Hewlett Packard

Nombre del sitio	Periférico Sur, Hewlett Packard
Fecha de evaluación	28-01-2022
Domicilio	Lateral Anillo Periférico Sur, Manuel Gómez Morin, No. 6571, Col. Tlaquepaque, C.P. 45610, municipio San Pedro Tlaquepaque
Configuración	Escape bajo
Latitud	20.585204
Longitud	-103.381384
Pendiente	0.4
Hora inicio	9:27:00 AM
Hora fin	4:01:00 PM
Número de registros	6801

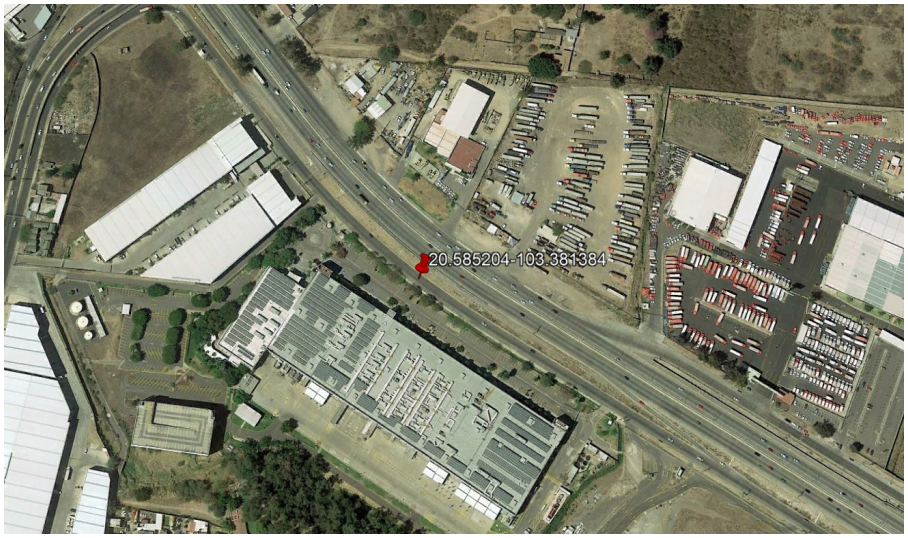


Tabla 24. ID 6, Proyectos metálicos

Nombre del sitio	Proyectos metálicos
Fecha de evaluación	31-01-2022
Domicilio	Prolongación Gobernador Curiel, No. 103, Col. Lomas del Cuatro, C.P. 45599, municipio San Pedro Tlaquepaque
Configuración	Escape bajo
Latitud	20.5856080
Longitud	-103.353043
Pendiente	1.8
Hora inicio	9:27:00 AM
Hora fin	4:01:00 PM
Número de registros	4286

Tabla 25. ID 7, CEDIS Walmart

Nombre del sitio	CEDIS Walmart
Fecha de evaluación	01-02-2022
Domicilio	Carretera Guadalajara - El Salto, Col. La Alameda, C.P. 45679, municipio Tlajomulco de Zúñiga
Configuración	Escape bajo
Latitud	20.49047699
Longitud	-103.270287
Pendiente	0.3
Hora inicio	10:02:00 AM
Hora fin	4:00:00 PM
Número de registros	2152

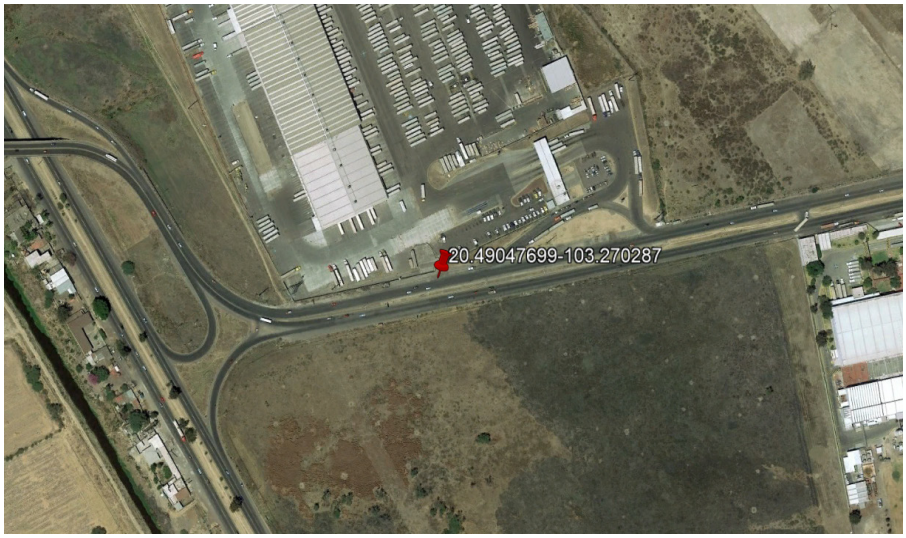


Tabla 26. ID 7, CEDIS Walmart

Nombre del sitio	CEDIS Walmart
Fecha de evaluación	2/1/2022
Domicilio	Carretera Guadalajara - El Salto, Col. La Alameda, C.P. 45679, municipio Tlajomulco de Zúñiga
Configuración	Escape alto
Latitud	20.49047699
Longitud	-103.270287
Pendiente	0.3
Hora inicio	10:05:00 AM
Hora fin	4:02:00 PM
Número de registros	141

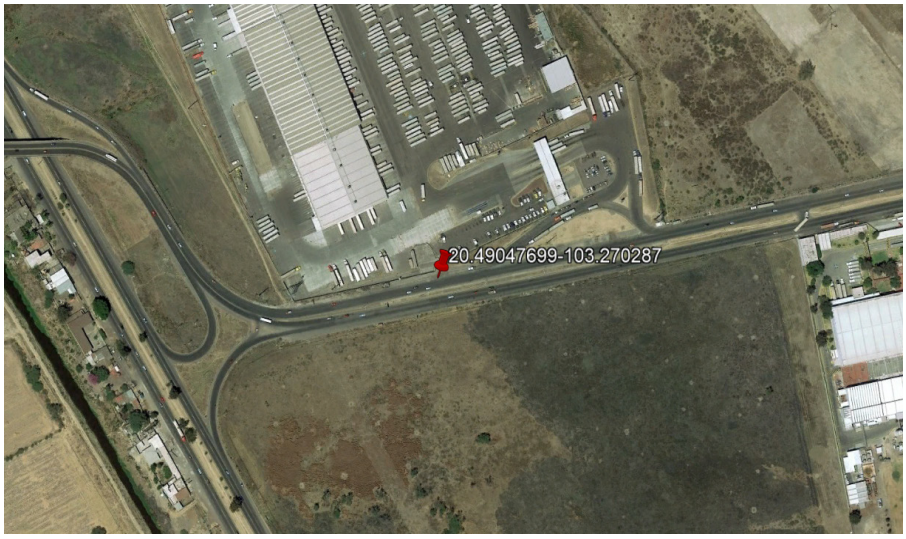


Tabla 27. ID 8, Álamo Industrial

Nombre del sitio	Álamo Industrial
Fecha de evaluación	02/02/2022
Domicilio	Avenida Dr. Roberto Michel, No. 2550, Col. Álamo Industrial, C.P. 44895, municipio Guadalajara
Configuración	Escape bajo
Latitud	20.63176280
Longitud	-103.3275242
Pendiente	1.4
Hora inicio	9:29:00 AM
Hora fin	4:26:00 PM
Número de registros	2649

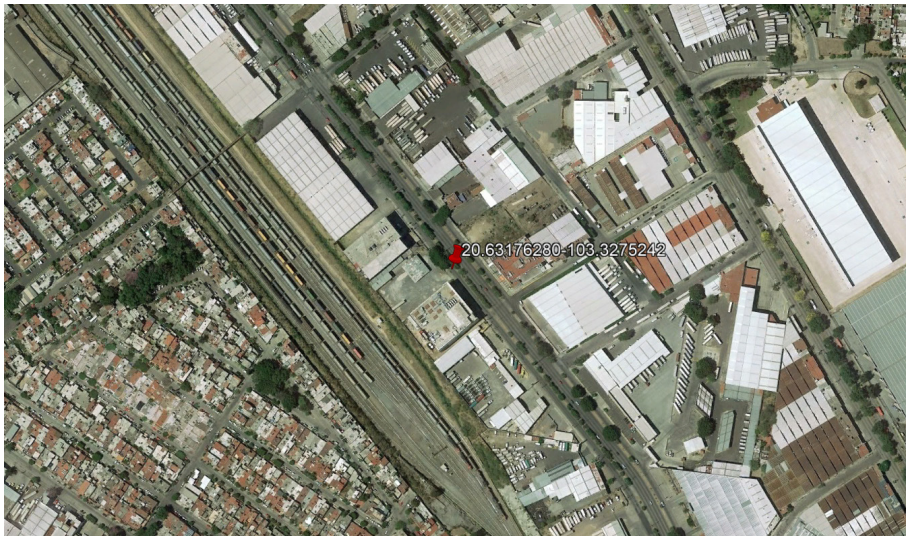


Tabla 28. ID 8, Álamo Industrial

Nombre del sitio	Álamo Industrial
Fecha de evaluación	02/02/2022
Domicilio	Avenida Dr. Roberto Michel, No. 2550, Col. Álamo Industrial, C.P. 44895, municipio Guadalajara
Configuración	Escape alto
Latitud	20.63176280
Longitud	-103.3275242
Pendiente	1.4
Hora inicio	9:45:00 AM
Hora fin	4:37:00 PM
Número de registros	224

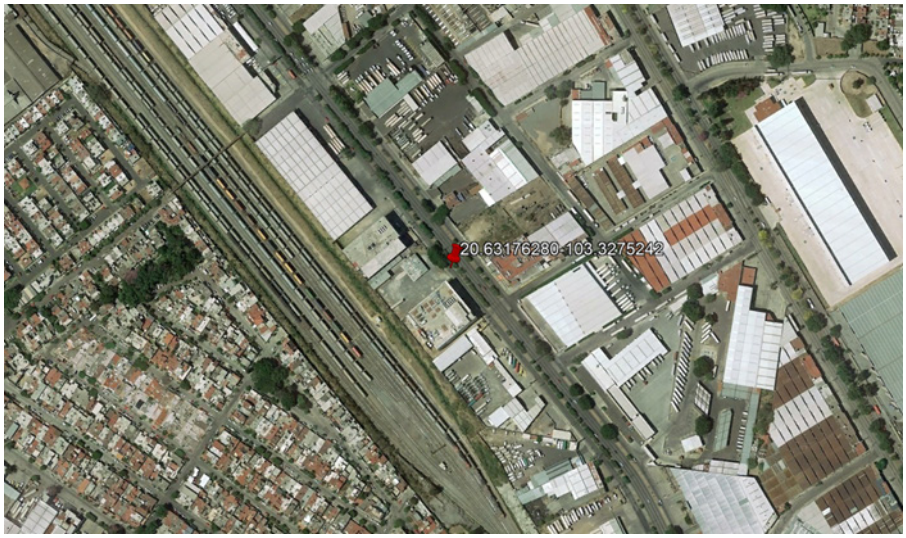


Tabla 29. ID 9, Vesta Park Guadalajara

Nombre del sitio	Vesta Park Guadalajara
Fecha de evaluación	03/02/2022
Domicilio	Carretera Guadalajara - El Salto No. 2004, Col. Minerales del Carmen, C.P. 45693, municipio El Salto
Configuración	Escape bajo
Latitud	20.5670709
Longitud	-103.299257
Pendiente	2.0
Hora inicio	9:56:00 AM
Hora fin	4:39:00 PM
Número de registros	6961

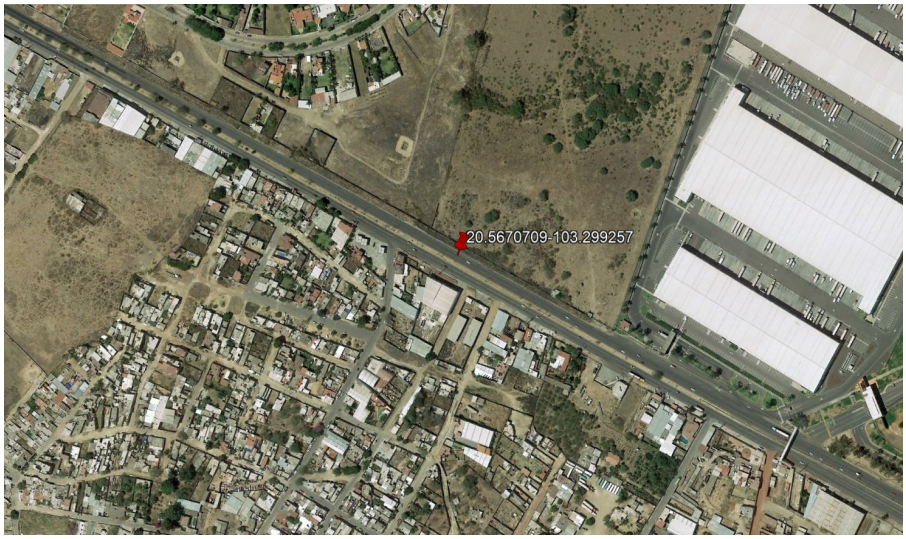


Tabla 30. ID 9, Vesta Park Guadalajara

Nombre del sitio	Vesta Park Guadalajara
Fecha de evaluación	03/02/2022
Domicilio	Carretera Guadalajara - El Salto No. 2004, Col. Minerales del Carmen, C.P. 45693, municipio El Salto
Configuración	Escape alto
Latitud	20.56707099
Longitud	-103.299257
Pendiente	2.0
Hora inicio	10:06:00 AM
Hora fin	4:32:00 PM
Número de registros	208

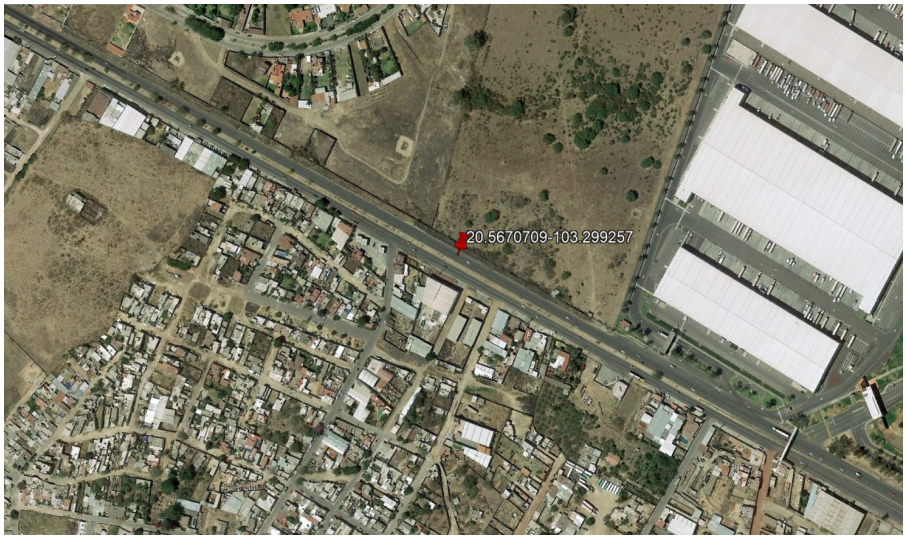


Tabla 31. ID 10, Periférico Norte

Nombre del sitio	Periférico Norte
Fecha de evaluación	04/02/2022
Domicilio	Lateral Anillo Periférico Norte, Industria Metalúrgica, Col. Altagracia, C.P. 45130, municipio Zapopan
Configuración	Escape bajo
Latitud	20.7407970
Longitud	-103.391773
Pendiente	1.3
Hora inicio	10:49:00 AM
Hora fin	4:30:00 PM
Número de registros	4653

centro mario molina

PROGRAMA TRANSPORTE SUSTENTABLE

Medio Ambiente y Desarrollo Territorial

Jalisco
GOBIERNO DEL ESTADO

cooperación alemana
DEUTSCHE ZUSAMMENARBEIT

giz Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH