



Evaluación de las emisiones reales de vehículos de pasajeros y taxis en la Ciudad de México

Autores: Michelle Meyer, Leticia Pineda, Carlos Jiménez, Tim Dallmann

JUNIO 2024



AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer a la Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México (SEDEMA), la Comisión Ambiental de la Megalópolis (CAME) y el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) por su papel en la selección de los sitios de prueba y la adquisición de permisos, y a los gobiernos del Estado de México y Morelos por proporcionar los datos de registro vehicular. Los autores también agradecen a Kaylin Lee y Ana Beatriz Rebouças (ICCT) por sus revisiones y comentarios constructivos. Este estudio fue financiado con el generoso apoyo del FIA Foundation.

FIA Foundation y el ICCT han establecido The Real Urban Emissions (TRUE) Initiative. La Iniciativa TRUE busca suministrar a las ciudades datos sobre las emisiones de sus flotas vehiculares y equiparlas con información técnica que puedan utilizar para la toma de decisiones estratégicas. TRUE utilizará una combinación de técnicas de medición para producir un cuadro detallado de las emisiones en carretera de toda la flota por marca, modelo y año-modelo.

RESUMEN EJECUTIVO

Las emisiones vehiculares son una fuente significativa de la contaminación atmosférica en la Ciudad de México, donde los niveles de ozono y partículas suspendidas frecuentemente superan las normas nacionales y los estándares de la Organización Mundial de la Salud, perjudicando la salud de sus habitantes. La implementación de políticas de gestión de la calidad del aire es crucial, considerando las particularidades geográficas de la ciudad: su elevada altitud, la configuración de la cuenca que restringe la circulación y dispersión de los contaminantes y la intensa radiación solar que conlleva el incremento de ozono.

Los vehículos ligeros (LDV, por sus siglas en inglés), como son los de pasajeros y taxis, representan una fuente importante de emisiones de transporte en la Ciudad de México. A pesar de ello, las normativas sobre emisiones de estos vehículos en México no se han actualizado al ritmo de otros países, con la última modificación en 2005. Aunque se está redactando una nueva norma oficial mexicana (NOM), su implementación no se anticipa hasta 2025. A nivel local, el Programa de Verificación Vehicular Obligatoria (PVVO) evalúa las emisiones de los autos en la Ciudad de México, limitando la circulación de los más contaminantes en días específicos. Adicionalmente, el gobierno de la Ciudad de México ha anunciado iniciativas para disminuir en un 30% los contaminantes criterio provenientes del transporte para 2024.

Este estudio, realizado en el marco de The Real Urban Emissions (TRUE), aporta datos cruciales sobre las emisiones vehiculares reales en la Ciudad de México, con el fin de guiar la implementación y monitoreo de políticas dirigidas a mitigar la contaminación atmosférica. Se centra en el análisis de emisiones en tiempo real recolectadas de vehículos de pasajeros (autos privados), taxis y camionetas ligeras, de los cuales el 98.6% operan con gasolina. Las mediciones, llevadas a cabo entre febrero y abril de 2022, incluyeron pruebas de monóxido de carbono (CO), hidrocarburos (HC), óxidos de nitrógeno (NO_x) y humo ultravioleta (UV), este último como indicador de material particulado. Además, este es el primer estudio de TRUE que también examina emisiones evaporativas (HC emitidos no por el tubo de escape), proporcionando una perspectiva más completa de las emisiones vehiculares en la Ciudad de México. Los principales hallazgos del análisis revelan que:

Restringir la operación de un pequeño pero significativo porcentaje de vehículos de pasajeros antiguos y de altas emisiones, que generan un impacto desproporcionado en las emisiones, podría lograr reducciones considerables en las emisiones. Aunque estos vehículos antiguos son una minoría dentro de la flota analizada, su contribución a las emisiones totales es notable: el 50% de las emisiones de CO, HC, NO_x y humo UV proceden de vehículos de 14 a 17 años o más, que constituyen menos del 20% de la flota. Implementar una zona de bajas emisiones en el centro de la Ciudad de México para 2024 sería una medida eficaz para disminuir las emisiones de estos vehículos y, por ende, mejorar la calidad del aire.

Priorizar incentivos para retirar progresivamente de circulación los taxis con altas emisiones mejoraría notablemente el desempeño promedio de sus emisiones reales. Aunque generalmente más modernos que los vehículos de pasajeros, los taxis emiten entre 2.2 y 3.1 veces más contaminantes. Estos altos promedios de emisiones de NO_x en taxis se debe en gran parte al modelo Nissan Tsuru, que constituyó el 46% de los taxis anteriores al 2016 y presentó emisiones de NO_x hasta 2.6 veces superiores a las de otros taxis y hasta 10 veces más que los vehículos de pasajeros de su mismo año-modelo. Promover el reemplazo de Nissan Tsurus y otros vehículos altamente contaminantes mediante colaboraciones con fabricantes, flotas de taxis y empresas de transporte privado de pasajeros mediante plataforma disminuiría significativamente las emisiones de este sector. Por ejemplo, el programa de bonos actual de la Ciudad de México, que incentiva la sustitución de vehículos contaminantes por opciones con menores o cero emisiones, podría ampliarse para facilitar un cambio más robusto dentro de la flota de taxis de altas emisiones.

Evaluar la administración del PVVO en todos los estados centrales para armonizar los programas de inspección y mantenimiento ayudaría a reducir las diferencias en las emisiones reales de las flotas registradas en diferentes estados. Los vehículos de pasajeros antiguos registrados en el Estado de México, que limita con la Ciudad de México, presentan emisiones más altas que aquellos registrados en la Ciudad de México. Por ejemplo, los vehículos de pasajeros del periodo entre 1994 y 2005 registrados en el Estado de México, aunque solo constituyeron el 7% de la muestra, aportaron entre el 25% y el 42% de las emisiones totales. Dado que la Ciudad de México y el Estado de México comparten los mismos requisitos

de PVVO, estos hallazgos sugieren la necesidad de evaluar la uniformidad en la implementación de los programas de verificación en ambas localidades. Mejorar la transparencia y el acceso a los datos de pruebas vehiculares ayudaría a sincronizar el PVVO a nivel nacional. Establecer mecanismos de colaboración y bases de datos actualizadas y robustas beneficiaría la ejecución de políticas locales en todas las jurisdicciones.

Las regulaciones, incentivos y campañas de sensibilización locales pueden acelerar la transición hacia vehículos nuevos de bajas o nulas emisiones. Además de retirar de circulación los vehículos antiguos y altamente contaminantes, es clave asegurar que los vehículos nuevos cumplan con bajos niveles de emisiones en condiciones reales. Con los estándares nacionales de México rezagados

respecto a mejores prácticas internacionales, actualmente equivalente a las normas Tier 1 de Estados Unidos y Euro 3, resulta esencial que las autoridades locales adopten medidas más rigurosas. La Comisión Ambiental de la Megalópolis (CAME) —ente coordinador entre el Gobierno Federal, la Ciudad de México y seis estados vecinos— podría liderar esfuerzos significativos hacia la implementación de regulaciones más estrictas. Asimismo, la Ciudad de México podría avanzar sustancialmente en la reducción de emisiones vehiculares optando por vehículos de cero emisiones. Para ello, los gobiernos locales podrían establecer incentivos tanto financieros como no financieros, fomentar la planificación e instalación de infraestructura de recarga eléctrica y aumentar la conciencia pública sobre los beneficios de los vehículos de cero emisiones.

TABLA DE CONTENIDOS

- Resumen ejecutivo.....i**
- Introducción 1**
- Antecedentes 1**
 - Calidad del aire 1
 - Normas nacionales de emisiones3
- Políticas y programas actuales 4**
 - Programa de Verificación Vehicular Obligatoria (PVVO)..... 4
 - Tenencia vehicular 6
 - Programa de renovación de taxis..... 6
- Descripción general del estudio con equipo de sensor remoto8**
 - Recopilación de datos 8
 - Procesamiento de datos 9
 - Resumen de la muestra 10
- Análisis de emisiones.....11**
 - Características de la flota11
 - Emisiones por tipo de vehículo12
 - Tendencias de emisiones de vehículos de pasajeros 12
 - Tendencias de emisiones de taxis18
 - Emisiones evaporativas22
- Conclusiones e implicaciones de política pública 25**
- Apéndice A: Emisiones detalladas de vehículos de pasajeros por modelo de vehículo 28**
- Apéndice B: Emisiones detalladas de taxis por modelo de vehículo32**

INTRODUCCIÓN

Diversos estudios han utilizado equipos de sensores remotos para analizar las emisiones reales en la Ciudad de México. En 1997 y 2008, investigaciones se centraron en evaluar cómo los estándares de emisiones para vehículos ligeros afectaban las emisiones reales a lo largo del tiempo.¹ Más recientemente, el uso de equipos de sensores remotos ha permitido examinar las emisiones reales de vehículos según su lugar de registro y medir la efectividad de los programas de inspección y mantenimiento.²

Este informe se apoya en investigaciones previas con equipos de sensores remotos y examina datos de emisiones reales recabados en la Ciudad de México entre febrero y abril de 2022, como parte de la iniciativa The Real Urban Emissions (TRUE), su primera campaña en América Latina. Su objetivo es proporcionar a las ciudades datos precisos sobre las emisiones reales de sus flotas vehiculares y sugerir estrategias de políticas basadas en evidencia para reducir las emisiones de los vehículos de transporte por carretera. Anteriormente, TRUE ha llevado a cabo estudios de detección remota en varias ciudades de Europa, así como en Seúl y Yakarta.

Esta campaña de medición de emisiones proporciona un panorama actual de las emisiones provenientes de vehículos de pasajeros y taxis en la Ciudad de México y sus alrededores. Se examinan en detalle las emisiones de monóxido de carbono (CO), hidrocarburos (HC), óxidos de nitrógeno (NO_x) y humo UV —este último como indicador de material particulado (PM)—, desglosadas por año-modelo, lugar de registro y marca y modelo del vehículo. Este estudio también introduce un análisis de las emisiones evaporativas, un aspecto inédito dentro de la iniciativa TRUE. Finaliza ofreciendo recomendaciones de políticas dirigidas a reducir la contaminación del aire y los efectos negativos en salud derivados de las emisiones vehiculares en la Ciudad de México.

1 Gary Bishop et al., "On-Road Remote Sensing of Vehicle Emissions in Mexico", *Environmental Science & Technology* 31 no. 12 (1997), <https://doi.org/10.1021/es9702475>; I. Schiffer et al., "Trends in Exhaust Emissions from In-Use Mexico City Vehicles, 2000-2006. A Remote Sensing Study", *Environmental Monitoring and Assessment* 137 (2008): 459-70, <https://doi.org/10.1007/s10661-007-9781-4>.

2 Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), "Fase Introductoria de La Campaña de Identificación de Altos Emisores Vía Sensor Remoto (Contaminómetros)", 2018, https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/756662/9_Informe_gral_CAMe_sensor_remoto_contaminometro.pdf; Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México, "Campaña Metropolitana con Sensor Remoto", 2015.

ANTECEDENTES

La Ciudad de México es una de las ciudades más densamente pobladas del mundo. Según la Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México (SEDEMA), en 2020, la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) —que abarca la Ciudad de México y partes de los Estados de México e Hidalgo— tenía una población aproximada de 21.7 millones, siendo así el área metropolitana más grande del país.³

El gobierno estima que, diariamente, se realizan alrededor de 19 millones de viajes entre la Ciudad de México y su área metropolitana.⁴ Las emisiones vehiculares reales en esta región no solo provienen de vehículos registrados en la Ciudad de México, sino también de aquellos matriculados en los estados aledaños. Dentro de la ZMVM, hay cerca de 6.2 millones de vehículos registrados, de los cuales el 76% son automóviles particulares, el 16% motocicletas, el 4% taxis, el 3% vehículos de carga y menos del 1% corresponden al transporte público. La gran mayoría de estos vehículos (97%) opera con gasolina, mientras que el 2% utiliza diésel y el 1% son híbridos.⁵

CALIDAD DEL AIRE

El material particulado fino (PM_{2.5}) y el ozono (O₃) representan serias amenazas para la salud pública en la Ciudad de México. En 2018, el promedio anual de PM_{2.5} alcanzó los 23.2 µg/m³, significativamente superior tanto a la normativa nacional de 12 µg/m³ como a la recomendación de la Organización Mundial de la Salud (OMS) de 5 µg/m³.⁶ Ese mismo año, la concentración media de O₃ durante 8 horas fue de 120 ppb, excediendo el límite nacional de 70 ppb.⁷ La incidencia de la contaminación del aire varía dentro de la ciudad,

3 Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México, "Inventario de Emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México 2020", 2023, <http://www.aire.cdmx.gob.mx/descargas/publicaciones/flippingbook/inventario-emisiones-cdmx-2020/inventario-emisiones-cdmx-2020.pdf>.

4 Secretaría de Movilidad de la Ciudad de México, "Programa Integral de Movilidad de la Ciudad de México 2020-2024: Diagnóstico Técnico", 2020, <https://semovi.cdmx.gob.mx/storage/app/media/diagnostico-tecnico-de-movilidad-pim.pdf>.

5 Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México, "Inventario de Emisiones".

6 Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México, "Informe Anual Calidad del Aire 2018", 2020, <http://www.aire.cdmx.gob.mx/descargas/publicaciones/informe-anual-calidad-del-aire-2018.pdf>; "What Are the WHO Air Quality Guidelines?", consultado el 29 de septiembre de 2023, <https://www.who.int/news-room/feature-stories/detail/what-are-the-who-air-quality-guidelines>.

7 Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México, "Informe Anual Calidad del Aire 2018".

afectando desproporcionadamente a ciertos grupos. Un estudio de 2022 reveló que los trabajadores informales de bajos ingresos sufren impactos más severos en su salud y experimentan mayores pérdidas de ingresos por la contaminación del aire en comparación con trabajadores formales de mayores ingresos.⁸ Además, se observó que las comunidades con mayores niveles de marginación en la Ciudad de México —medido en términos de desventajas en educación, servicios de salud, vivienda y otros aspectos— están más expuestas a niveles elevados de O₃.⁹

El sector transporte es una de las principales fuentes de contaminantes criterio, contribuyendo significativamente a la mala calidad del aire y a los impactos negativos en la salud de los habitantes de la Ciudad de México y la ZMVM. Un estudio del Consejo Internacional de Transporte Limpio (ICCT) estimó que, en 2015, el 34.8% de las muertes prematuras por PM_{2.5} y O₃ en la Ciudad de México se debieron al sector de transporte, la cifra más alta en América Latina y una de las mayores a nivel global.¹⁰ Datos de la SEDEMA indican que, en 2020, el transporte fue responsable del 95% de las emisiones de CO, 84% de NO_x, 42% de PM_{2.5} y 26% de los compuestos orgánicos volátiles (COV) en la ZMVM.¹¹ En ese sector, los vehículos de pasajeros y taxis generaron el 45% del CO, 59% de NO_x, 25% de PM_{2.5}, 50% de COV y 63% de emisiones de CO₂e.¹²

Las emisiones de NO_x y COV son particularmente problemáticas en la Ciudad de México por ser los precursores principales del O₃. La geografía única de la ZMVM —alta elevación, intensa radiación solar, cadenas montañosas que rodean la zona y su forma de cuenca— contribuye a los elevados niveles de ozono, al limitar

la circulación y dispersión de contaminantes. En 2020, durante los confinamientos por COVID-19, la reducción en el tráfico vehicular disminuyó las emisiones de NO_x y COV del escape de los vehículos, pero las emisiones de COV provenientes de otras fuentes, incluidas las emisiones evaporativas de vehículos estacionados, provocaron un incremento en los niveles de ozono.¹³

La Comisión Ambiental de la Megalópolis (CAME), ente gubernamental encargado de coordinar las iniciativas ambientales entre el gobierno central, la Ciudad de México y seis estados vecinos, supervisa el índice de calidad del aire local y emite alertas por días de mala calidad del aire.¹⁴ Durante episodios de alta contaminación (O₃ > 154 ppb, PM_{2.5} > 97.4 µg/m³ en 24 horas), las autoridades de cada estado aplican restricciones temporales a la circulación de vehículos más antiguos y de altas emisiones para minimizar la exposición de la población a contaminantes.¹⁵ Si bien las medidas han fomentado la renovación de la flota vehicular, los registros de calidad del aire no evidencian mejoras significativas derivadas de las restricciones.¹⁶

Los gobiernos locales y nacional colaboran estrechamente para enfrentar los desafíos de la calidad del aire. Entre las acciones coordinadas se encuentran el Índice de Calidad del Aire y Riesgos a la Salud (Índice AIRE y SALUD), un sistema de cinco colores que informa sobre la calidad del aire y los potenciales riesgos para la salud de grupos vulnerables y la población en general; Programas de Gestión para Mejorar la Calidad del Aire (ProAire), que articulan esfuerzos a nivel local, regional y nacional para disminuir la contaminación atmosférica; y el Sistema Nacional de Información de la Calidad del Aire (SINAICA), que proporciona datos actualizados sobre la calidad del aire en las principales zonas metropolitanas

- 8 Bridget Hoffmann and Juan Pablo Rud, "Exposure or Income? The Unequal Effects of Pollution on Daily Labor Supply" (working paper, Inter-American Development Bank, 2022), <https://publications.iadb.org/publications/english/document/Exposure-or-income-the-unequal-effects-of-pollution-on-daily-labor-supply.pdf>.
- 9 Jimena García-Burgos et al., "Exploring the Spatial Distribution of Air Pollution and Its Association with Socioeconomic Status Indicators in Mexico City", *Sustainability* 14, no. 22 (November 18, 2022): 15320, <https://doi.org/10.3390/su142215320>.
- 10 Susan Anenberg et al., *A Global Snapshot of the Air Pollution-Related Health Impacts of Transportation Sector Emissions in 2010 and 2015* (Washington, D.C.: International Council on Clean Transportation, 2019), <https://theicct.org/publication/a-global-snapshot-of-the-air-pollution-related-health-impacts-of-transportation-sector-emissions-in-2010-and-2015/>.
- 11 Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México, "Inventario de Emisiones".
- 12 Las motocicletas fueron responsables del 41% de las emisiones de CO y el 36% de las emisiones de COV, mientras que los camiones, autobuses y otros vehículos pesados contribuyeron con el 65% de las emisiones de PM_{2.5} y el 32% de las emisiones de NO_x. Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México, "Inventario de Emisiones".

- 13 Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México, "Informe anual: Calidad Del Aire 2020 Ciudad De México", 2023, <https://www.aire.cdmx.gob.mx/descargas/publicaciones/informe-anual-calidad-del-aire-2020.pdf>.
- 14 La Megalópolis de la ZMVM engloba la Ciudad de México y los estados de Hidalgo, México, Morelos, Puebla, Querétaro y Tlaxcala. Gobierno de México, "La megalópolis de la ZMVM", 18 de septiembre, 2018, <https://www.gob.mx/comisionambiental/articulos/la-megalopolis-de-la-zmvm?idiom=es>.
- 15 Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México, "Activación de las Contingencias Ambientales Atmosféricas (PCAA) en la ZMVM", 2023, <http://www.aire.cdmx.gob.mx/descargas/ultima-hora/calidad-aire/pcaa-historico-contingencias.pdf>; Comisión Ambiental de la Megalópolis, "Índice Aire y Salud: Características y Aplicación", 2020, https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/554425/comunicado_indice_calidad_aire_05_2020_FINAL_v3.pdf.
- 16 Lucas W. Davis, "Saturday Driving Restrictions Fail to Improve Air Quality in Mexico City", *Scientific Reports* 7, no. 1 (2 de febrero, 2017): 41652, <https://doi.org/10.1038/srep41652>.

de México.¹⁷ Además, la CAME y la SEDEMA promueven campañas de concientización sobre las condiciones de la calidad del aire, las restricciones vehiculares y recomendaciones para los habitantes.

NORMAS NACIONALES DE EMISIONES

La NOM-042-SEMARNAT-2003 (NOM-042) establece la normativa nacional sobre emisiones para vehículos ligeros nuevos en México.¹⁸ Sin actualizaciones desde 2005, es comparable a las normas Tier 1 de Estados Unidos y Euro 3. La Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) comenzó a actualizar esta norma en 2023; se espera que la versión revisada esté lista en 2024 y se aplique a los modelos de vehículos ligeros del año 2025 en adelante. Para alcanzar los estándares Tier 3 de Estados Unidos, México necesitaría transitar hacia el uso de gasolina con un contenido ultra bajo azufre, lo cual actualmente parece improbable. Por

tanto, es factible que la actualización de la NOM-042 se alinee más con los estándares Tier 2 de Estados Unidos.

La NOM-167-SEMARNAT-2017 (NOM-167) regula las emisiones de los vehículos en circulación dentro de la Megalópolis. Esta normativa define las reglas del Programa de Verificación Vehicular Obligatoria (PVVO), incluyendo la utilización de tecnología de sensor remoto para identificar vehículos con emisiones elevadas (sobre el PVVO, ver más abajo). En julio de 2023, la SEMARNAT propuso modificaciones a la norma, entre las cuales destacan la disminución de los límites permitidos de NO_x y la clasificación de la prueba de diagnóstico a bordo (OBD) como opcional.¹⁹

La Tabla 1 resume los límites de contaminantes de vehículos ligeros establecidos en estas normas.

Ante la falta de estándares nacionales de emisiones actualizados, los estados de México tienen la posibilidad

Tabla 1. Resumen de normas y límites nacionales de contaminantes criterio de vehículos ligeros con implicaciones en la Ciudad de México.

Norma	Contaminantes	Unidad	Límite regulación vigente	Norma equivalente	Propuesta de actualización de norma	Implicaciones
NOM-042: Límites de emisiones para nuevas ventas	CO	g/km	2.11	Tier 1+/ Euro 3	Por determinarse	Esta normativa no ha sido actualizada desde 2005 y no está plenamente armonizada con las regulaciones de Europa o Estados Unidos. Presenta diferencias en los valores límite para cada contaminante, así como controles de emisiones evaporativas y requisitos de durabilidad menos estrictos.*
	NMHC	mg/km	99			
	NO _x	mg/km	249			
	PM	g/km	0.05			
	Evap.	g/prueba	2.0			
NOM-167: Límites de emisiones para vehículos en circulación	HC	ppmh	80	No aplica	80	Límites para la flota de carretera en la Megalópolis. Para el PVVO de la Ciudad de México se utilizan los límites establecidos en esta norma.
	CO	%	0.4		0.4	
	NO _x	ppm	250		700	
	O ₂	%	0.4		0.4	
	CO+O ₂	%	13-16.5		13-16.5	

* Leticia Pineda et al., *Air Quality and Health Benefits of Improved Fuel and Vehicle Emission Standards in Mexico* (Washington, D.C.: International Council on Clean Transportation, 2018), https://theicct.org/wp-content/uploads/2021/06/Mexico-emissions-review_ICCT-Working-Paper_03012018_vF_0.pdf.

17 Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, "Programas de Gestión para Mejorar la Calidad del Aire ProAire", 17 de marzo, 2023, <https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/programas-de-gestion-para-mejorar-la-calidad-del-aire>; INECC, "Sistema Nacional de Información de la Calidad del Aire, SINAICA", consultado el 22 de febrero, 2024, <https://sinaica.inecc.gob.mx/index.php>; Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México, "Índice Aire Y Salud", consultado el 22 de febrero, 2024, <http://186.96.0.232/aire/default.php?opc=%27ZaBhtml=&dc=%27Zw==>.

18 Norma Oficial Mexicana NOM-042-SEMARNAT-2003, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 7 de septiembre de 2005, https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=2091196&fecha=07/09/2005#gsc.tab=0.

19 Proyecto de Modificación de la Norma Oficial Mexicana NOM-167-SEMARNAT-2017, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 4 de julio de 2023, https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5694213&fecha=04/07/2023#gsc.tab=0.

de adoptar normativas más estrictas. Sin embargo, implementar dichas regulaciones a pequeña escala presenta desafíos. Exigir a una porción limitada del mercado automotriz nacional que cumpla con límites de emisiones más bajos, lo que implica mejorar los sistemas de control de emisiones, podría incrementar significativamente los costos tanto para los fabricantes como para los consumidores. En cambio, una estrategia coordinada a nivel de toda la Megalópolis permitiría distribuir los costos adicionales de fabricación de manera más eficiente y lograr reducciones de emisiones más sustanciales. Este enfoque es similar al de Estados Unidos, donde varios estados han optado por seguir las regulaciones vehiculares más estrictas de California.²⁰

POLÍTICAS Y PROGRAMAS ACTUALES

En 2019, el gobierno de la Ciudad de México implementó el Plan de Reducción de Emisiones del Sector Movilidad para reducir las emisiones del sector en un 30% para 2024.²¹ Este Plan incluye la creación de una zona de bajas emisiones en el centro de la ciudad, la transición del 20% de los taxis y el 10% de los automóviles privados a vehículos híbridos (HEV, por sus siglas en inglés) o eléctricos (BEV, por sus siglas en inglés), la ampliación del transporte electrificado y libre de hollín, la electrificación de una línea del sistema BRT-Metrobús,²² y la implementación de restricciones vehiculares para vehículos de carga.²³ Adicionalmente, la Ciudad de México adoptó la Estrategia Local de Acción Climática (2021-2050) y el Programa de Acción Climática (2021-2030) con miras a reducir las emisiones en un 10% para 2030 y alcanzar emisiones netas cero para 2050.²⁴ Por

otro lado, el Programa de Gestión para Mejorar la Calidad del Aire de la ZMVM (ProAire 2021-2030) busca reducir los contaminantes del aire en un 25% para 2030 en 19 sectores, incluyendo el transporte.²⁵

PROGRAMA DE VERIFICACIÓN VEHICULAR OBLIGATORIA (PVVO)

El PVVO es una evaluación semestral de emisiones de escape requerida para la mayoría de los vehículos registrados en la ZMVM. Todos los vehículos registrados en la Megalópolis deben cumplir con el PVVO, aunque pueden obtener la certificación a través del programa de verificación de su propio estado. Los vehículos eléctricos de batería, los híbridos enchufables y los híbridos “full” están exentos de este requerimiento en la Ciudad de México. Los vehículos de fuera de la Megalópolis o de otros estados pueden solicitar exención de los requisitos del PVVO, pero aun así están sujetos a ciertas restricciones durante los días de mala calidad del aire.

En función de su certificación PVVO, los vehículos enfrentan diferentes restricciones según los términos del Programa Hoy No Circula, un programa de gestión de la calidad del aire administrado por la SEDEMA.²⁶ Los vehículos pueden recibir uno de los cuatro tipos de certificados, dependiendo de sus estándares de emisión y resultados de pruebas:²⁷

- i. “00” (doble cero): Esta certificación se otorga a vehículos nuevos que cumplen con los límites de emisión de gases de efecto invernadero más estrictos según el estándar estadounidense Tier 2, Bin 5, y tienen un rendimiento de combustible mínimo de 13.5 km/L. Los vehículos con certificación “00” están exentos del programa Hoy No Circula. Además, están exentos del PVVO por dos años si su rendimiento de combustible está entre 13.5 y 16.0 km/L, y por cuatro años si el rendimiento supera los 16.0 km/L.

20 “States that Have Adopted California’s Clean Vehicle Regulations”, California Air Resources Board, 2024, <https://ww2.arb.ca.gov/our-work/programs/advanced-clean-cars-program/states-have-adopted-californias-vehicle-regulations>.

21 Gobierno de la Ciudad de México, “Plan de Reducción de Emisiones del Sector Movilidad en la Ciudad de México”, 2019, <https://www.jefaturadegobierno.cdmx.gob.mx/storage/app/media/plan-reduccion-de-emisiones.pdf>.

22 En febrero de 2023, Metrobús inauguró su primera línea electrificada; una segunda línea se electrificó en diciembre del mismo año.

23 Leticia Pineda, Carlos Jimenez, and Oscar Delgado, *Estrategia Para el Despliegue de Flota Eléctrica en el Sistema de Corredores de Transporte Público de Pasajeros de la Ciudad de México “Metrobús”: Líneas 3 y 4* (Washington, D.C.: International Council on Clean Transportation, 2022), <https://theicct.org/wp-content/uploads/2022/03/MexCity-ZEBRA-A4-v4-may22.pdf>.

24 Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México, *Estrategia Local de Acción Climática 2021 - 2050 y el Programa de Acción Climática de la Ciudad de México 2021 - 2030*, consultado el 29 de septiembre, 2023, http://www.data.sedema.cdmx.gob.mx/cambioclimaticocdmx/images/biblioteca_cc/PACCM-y-ELAC_uv.pdf.

25 Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México, *Programa de Gestión para Mejorar la Calidad del Aire de la Zona Metropolitana del Valle de México*, consultado el 30 de agosto, 2023, <http://www.aire.cdmx.gob.mx/descargas/publicaciones/flippingbook/proaire2021-2030/pdf/ProAireZMVM2021-2030-VersionCompleta.pdf>.

26 “Hoy No Circula”, Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México, consultado el 29 de septiembre, 2023, <https://sedema.cdmx.gob.mx/programas/programa/hoy-no-circula>.

27 “Programa de Verificación Obligatoria”, Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México, consultado el 30 de agosto, 2023, http://www.sadma.cdmx.gob.mx:9000/datos/storage/app/media/gacetitas/GOCDMX_23-07-03_DGCA.pdf.

- ii. "0" (cero): Una certificación "0" también exime a los vehículos del programa Hoy No Circula, dado que cumplen con los mismos criterios de límites de emisiones de contaminantes que la certificación "00". Sin embargo, estos vehículos deben someterse a verificación cada seis meses.
- iii. "1" (uno): Los vehículos con certificación "1" cumplen con niveles de emisiones menos estrictos que los de las certificaciones "00" y "0". En el marco del programa Hoy No Circula, obedecen restricciones de circulación de un día hábil por semana y dos sábados al mes.
- iv. "2" (dos): Los vehículos con certificación "2" se rigen por estándares de emisiones menos estrictos y tienen prohibido circular un día hábil por semana y todos los sábados.

Los vehículos que no llevaron a cabo el PVVO tienen restricciones de circulación de un día hábil por semana

y todos los sábados si están registrados en la Ciudad de México. Si están registrados fuera de la Ciudad de México, no pueden circular un día hábil por semana, todos los sábados y todos los días entre las 5:00 y las 11:00 a.m. La policía local hace cumplir estas normas a través de engomados de los certificados de emisiones, que deben estar visibles en el vehículo. Aquellos vehículos que incumplan estas restricciones pueden enfrentar multas que van desde los \$120 hasta los \$241 dólares estadounidenses.²⁸

Desde 2021, la mayoría de los vehículos inscritos en el PVVO, específicamente el 81%, recibieron un certificado "0".²⁹ La Tabla 2 muestra la distribución de vehículos por tipo de certificado y los límites de contaminantes correspondientes. En total, el 86% de los vehículos registrados obtuvieron una certificación "0" o "00", lo que los exime del programa Hoy No Circula. La Figura 1 proporciona detalles adicionales sobre la distribución según el año-modelo de los vehículos.

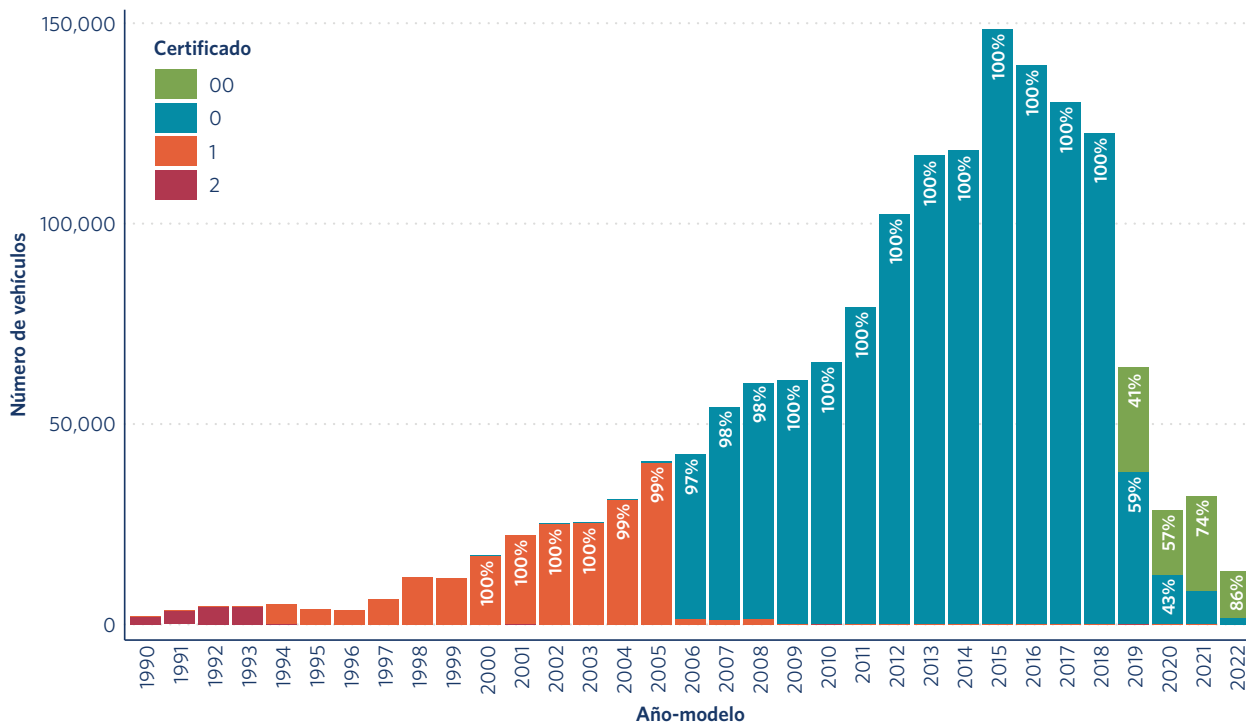
Tabla 2. Inscripción en el PVVO por nivel de certificado a partir del 2.º semestre de 2021.

Certificado	Vehículos verificados		Límites de emisión de contaminantes					Lambda
	%	%	HC (ppmh)	CO (%)	NO _x (ppm)	O ₂ (%)	CO+O ₂ (%)	
Cert 00	77,388	4.9	80	0.4	250	0.4	13 min. 16.5 máx.	1.03
Cert 0	1,298,130	81.4	80	0.4	250	0.4		1.03
Cert 1	206,849	13.0	100	0.7	700	2.0		1.03
Cert 2	13,013	0.8	350	2.5	2000	2.0		1.05
Total	1,595,380	100						

28 Montos calculados para junio de 2023, utilizando el tipo de cambio interbancario promedio mensual MX\$17.25 = US\$1.00. Banco de México, "Tipo de cambio promedio del periodo - (CF86)", consultado el 30 de junio de 2023, <https://www.banxico.org.mx/SieInternet/consultarDirectorioInternetAction.do?sector=6&accion=consultarCuadro&idCuadro=CF86&locale=es>.

29 El Poder del Consumidor, 2022. Solicitud de información sobre los resultados del PVVO en 2021, compartida de forma privada con el ICCT.

Figura 1. Certificados PVVO por año del modelo al 2.º semestre de 2021.



TENENCIA VEHICULAR

En México, los impuestos sobre la tenencia vehicular difieren según la jurisdicción. En la Ciudad de México, la mayoría de los vehículos pagan un impuesto sobre la propiedad basado en su valor de compra depreciado, a excepción de los BEV, HEV, híbridos enchufables y aquellos cuyo valor depreciado sea inferior a aproximadamente US\$14,493 (según el tipo de cambio de junio de 2023). En contraste, el vecino estado de Morelos no aplica impuestos a ningún vehículo, ofreciendo así un incentivo económico para que los residentes de la Ciudad de México registren sus vehículos en Morelos. Adicionalmente, la suspensión

temporal del PVVO en Morelos durante la pandemia de COVID-19 ha intensificado estos incentivos para el registro de vehículos en esa región.

PROGRAMA DE RENOVACIÓN DE TAXIS

En la Ciudad de México, los taxis están limitados a 10 años de operación, aunque no existen requisitos de registro relacionados con el año o la antigüedad del modelo. De acuerdo con la Secretaría de Movilidad de la Ciudad de México (SEMOVI), en 2023, 45,226 taxis, que representan el 47% de la flota, tenían 10 años o más.³⁰ La distribución de taxis por año del modelo se muestra en la Figura 2.³¹

Figura 2. Distribución de taxis en la Ciudad de México por antigüedad.



³⁰ Secretaría de Movilidad de la Ciudad de México, "Aviso por el que se dan a Conocer los Lineamientos de Operación de la Acción Social 'Programa de sustitución de Taxi, 2023'", https://www.semovi.cdmx.gob.mx/storage/app/media/FIFINTRA/5.%20Publicaciones/2023/LOP%20-%20TAXI%20AE%202023_VF.pdf.

³¹ Secretaría de Movilidad de la Ciudad de México, "Aviso".

El gobierno de la Ciudad de México presenta anualmente en la "Feria del Taxi" una pequeña lista de vehículos que cumplen con las especificaciones actuales para las concesiones de taxis. Dentro de esta selección, algunas marcas y modelos, tradicionalmente liderados por el Nissan Tsuru, han dominado una gran parte de la flota de taxis. Esto se debe en parte a las condiciones financieras ventajosas que los fabricantes ofrecen a las flotas y a los propietarios individuales.

Desde 2002, la Ciudad de México ha lanzado varios programas de renovación vehicular con el objetivo de reemplazar taxis de más de 10 años por modelos más nuevos que cumplan con estándares más estrictos de seguridad, accesibilidad y emisiones. Estos programas permiten a los propietarios de taxis chatarrizar sus vehículos viejos y obtener un bono para la compra de nuevos modelos. Los requisitos para los vehículos

nuevos están detallados en la Tabla 3. Actualmente, hay dos programas que ofrecen bonos y opciones de financiamiento para la adquisición de vehículos de alta eficiencia, HEV y BEV.³² Se prioriza la renovación de taxis que tienen 10 años o más, especialmente aquellos modelos como el Nissan Tsuru, conocidos por sus altas emisiones.

La Tabla 4 muestra la participación en programas de renovación por año. Entre 2019 y 2020, se renovaron 1,232 taxis en el marco del programa; el 83% de los vehículos adquiridos eran altamente eficientes, mientras que el 17% eran HEV o BEV. La participación en el programa fue más alta en su primer año, 2019, y desde entonces ha disminuido. En total, los vehículos adquiridos a través de este programa representan aproximadamente el 1.3% de la flota de taxis de la Ciudad de México.

Tabla 3. Resumen del programa de renovación de taxis en la Ciudad de México.

Tipo de vehículo	Requisitos mínimos	Reembolsos	Financiamiento
Vehículos altamente eficientes.	15 km/L en conducción urbana. CO ₂ máximo: 155 g/km NO _x máximo: 167 g/1000 km (norma NOM-042 C). Otros requisitos de seguridad y accesibilidad.	MX\$75,000 + MX\$20,000 (asiento delantero giratorio para usuarios de movilidad limitada). Emitido en el punto de venta.	Préstamos con tasas de interés bajas a través de NAFIN (el banco nacional de desarrollo) y otras instituciones financieras.
HEV		MX\$135,000 + MX\$20,000 (asiento delantero giratorio para usuarios de movilidad limitada). Emitido en el punto de venta.	
BEV		N/A MX\$180,000 + MX\$20,000 (asiento delantero giratorio para usuarios de movilidad limitada). Emitido en el punto de venta.	

Tabla 4. Número de taxis renovados en la Ciudad de México gracias a los programas.

Año	HEV y BEV	Vehículos altamente eficientes	Total
2019	172	438	610
2020	19	97	116
2021	10	211	221
2022	11	274	285
Total	212	1020	1232

32 Secretario de Movilidad de la Ciudad de México, "Aviso".

DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ESTUDIO CON EQUIPO DE SENSOR REMOTO

RECOPIACIÓN DE DATOS

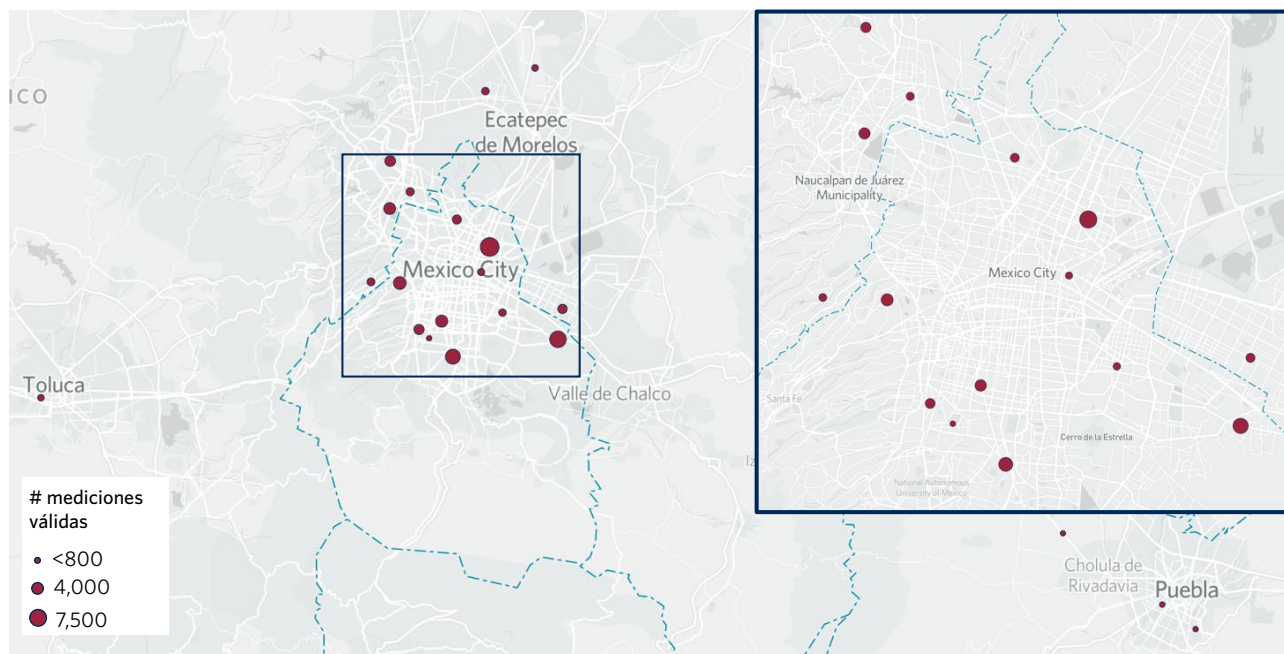
La iniciativa TRUE llevó a cabo una campaña con equipo de sensor remoto de 22 días, entre febrero y abril de 2022, que buscó evaluar las emisiones reales de vehículos en la Ciudad de México y áreas cercanas. Durante esta campaña, se obtuvieron 74,490 mediciones válidas de contaminantes en 21 diferentes sitios de la Ciudad de México y los Estados de México y Puebla. La muestra incluyó vehículos de pasajeros (autos particulares), taxis y vehículos comerciales ligeros.³³ Aunque se había planeado evaluar también vehículos pesados en las casetas de peaje, estas pruebas no se realizaron debido a complicaciones con los permisos y la programación.

Las pruebas de emisiones en la Ciudad de México fueron llevadas a cabo por Opus Inspection en coordinación con la Secretaría del Medio Ambiente (SEDEMA), la Comisión Ambiental de la Megalópolis (CAME) y el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático

(INECC). Los sitios de prueba se seleccionaron y se obtuvieron los permisos necesarios a través de SEDEMA y CAME, basándose en experiencias previas. Aunque la mayoría de los sitios seleccionados eran vías secundarias de múltiples carriles, la policía de tránsito local empleó conos para reducir las vías a un solo carril y minimizar la interferencia de las plumas de emisiones de los vehículos no contemplados por las pruebas. Tras las mediciones, se recopilaron las especificaciones de los vehículos usando los registros de matrículas de la Ciudad de México, Estado de México y Morelos. Los vehículos registrados en Puebla no se incluyeron en el análisis debido a la imposibilidad de obtener sus especificaciones.

La Figura 3 presenta un mapa de los sitios de prueba y el número de mediciones válidas obtenidas en cada uno. Alrededor del 70% de las mediciones se realizaron en la Ciudad de México, mientras que el 30% restante se llevó a cabo en el Estado de México, principalmente cerca de la frontera con la Ciudad de México. Aunque también se recolectaron datos en tres sitios de Puebla, solo una pequeña cantidad de estas mediciones (menos de 150) se incluyó en este análisis, debido a la falta de especificaciones de los vehículos registrados en Puebla.

Figura 3. Mapa de sitios y número de mediciones válidas.



³³ También se midieron autobuses, camiones pesados y vehículos de dos ruedas, pero debido al pequeño número de mediciones (<30 mediciones), estos vehículos no se incluyeron en este análisis.

Se utilizó el equipo modelo Opus AccuScan RSD 5300 para medir las emisiones de los vehículos al pasar por el dispositivo (ver Figura 4). Este instrumento registró las emisiones del tubo de escape de CO, HC, NO, NO₂ y humo UV (un indicador de material particulado).³⁴ Además, por primera vez en un estudio de TRUE, se examinaron las emisiones evaporativas (emisiones de HC que no provienen del tubo de escape) para ofrecer una visión más completa de las emisiones reales de los vehículos en la Ciudad de México.

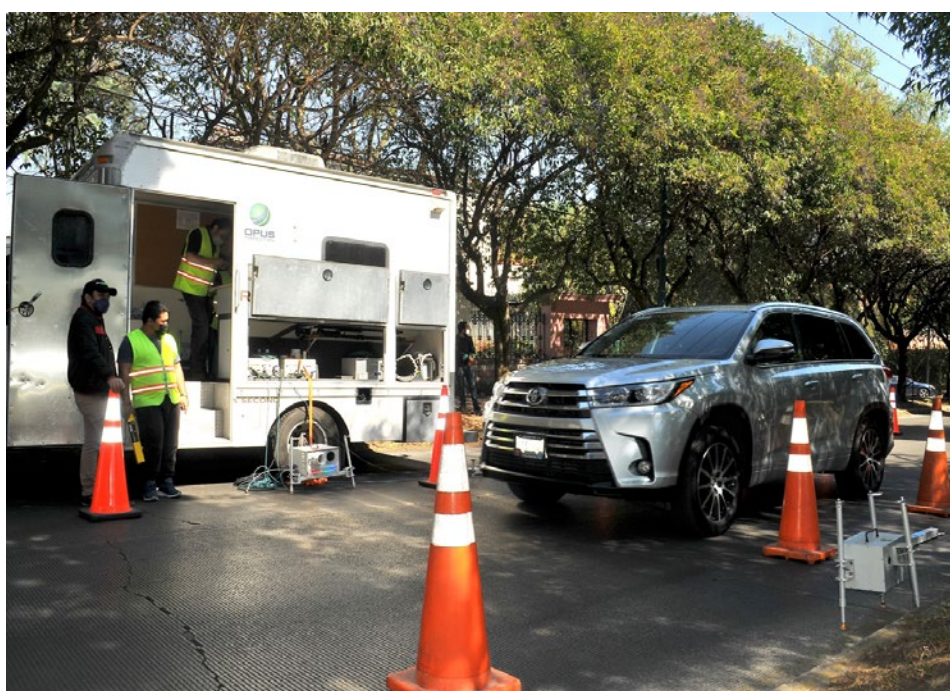
PROCESAMIENTO DE DATOS

En esta campaña de sensor remoto se recogieron un total de 106,169 mediciones crudas. Para asegurar la validez de los datos, se aplicaron los siguientes criterios:

- La validez de la medición de contaminantes fue determinada por el software del instrumento y los operadores de los dispositivos de sensor remoto.
- Se registraron la velocidad y aceleración del vehículo.
- La potencia específica del vehículo (VSP, por sus siglas en inglés) fue superior a -5 kW/t .³⁵
- Estaba disponible la información del vehículo.

La Tabla 5 resume los resultados de datos filtrados. Del conjunto completo de datos, el 69% de las mediciones tenían lecturas válidas de velocidad, aceleración, VSP y contaminantes, y el 61% tenía lecturas válidas de matrículas y se compararon exitosamente con la información del vehículo. Esto resultó en 44,731 mediciones válidas para uso en nuestro análisis de emisiones.

Figura 4. Instalación de equipo de sensor remoto en Blvd. de los Virreyes en la Ciudad de México.



³⁴ El humo UV se mide considerando la relación entre la opacidad y la cantidad de combustible quemado. La medición del humo UV depende de diversas características físicas y químicas del material particulado en el escape, y por lo tanto, se utiliza principalmente para análisis comparativos. Véase Michelle Meyer et al., *Particulate Matter Emissions from U.S. Gasoline Light-Duty Vehicles and Trucks* (Washington, D.C.: International Council on Clean Transportation, 2023), <https://theicct.org/publication/true-pm-emissions-jun23/>.

³⁵ Seleccionamos este umbral de -5 kW/t porque, normalmente, la inyección de combustible se desactiva por debajo de este nivel, según se describe en el estudio de Yoann Bernard, Uwe Tietge, John German y Rachel Muncrief, *Determination of Real-World Emissions from Passenger Vehicles Using Remote Sensing Data* (Washington, D.C.: International Council on Clean Transportation, 2018), https://theicct.org/wp-content/uploads/2021/06/TRUE_Remote_sensing_data_20180606.pdf.

Tabla 5. Resumen de las mediciones según su validez.

		La lectura de la matrícula es válida; coincidencia exitosa con la información del vehículo		
		Sí	No	Total
Son válidas la velocidad, la aceleración según VSP y la lectura de contaminantes	Sí	44,731	27,840	72,571
	No	19,824	13,774	33,598
	Total	64,555	41,614	106,169

RESUMEN DE LA MUESTRA

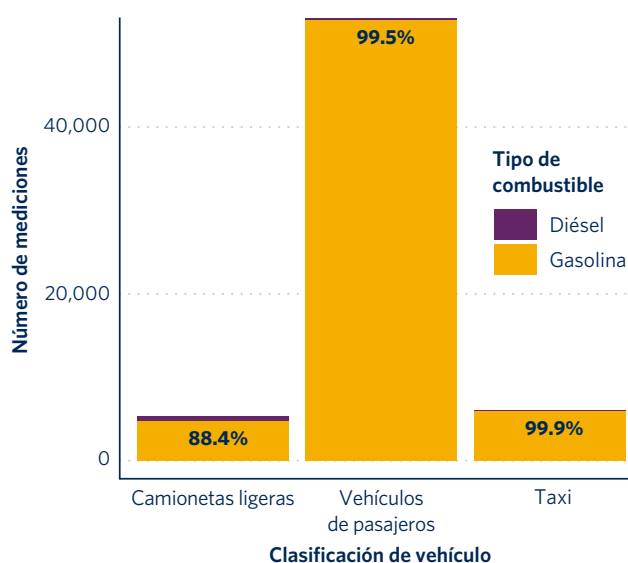
La Tabla 6 muestra las tres clases principales de vehículos y los tipos de vehículos correspondientes utilizados en este análisis. Como se señaló, no se analizaron los tipos de vehículos con menos de 30 mediciones, incluidos algunos autobuses, camiones pesados y motocicletas de dos y tres ruedas.

Tabla 6. Descripción de clases de vehículos.

Clase de vehículo	Tipo de vehículo
Vehículos de pasajeros	Automóvil compacto, automóvil subcompacto, SUV
Taxi	Taxi (principalmente automóviles compactos y subcompactos)
Camión ligero	Camioneta, furgoneta de reparto, furgoneta de pasajeros, camioneta ligera, camioneta mediana

La Figura 5 muestra la distribución, por clase de vehículo y tipo de combustible, de las 64,555 mediciones para las cuales se disponía de especificaciones de los vehículos. Los vehículos de pasajeros constituyeron el grupo más numeroso, con 53,060 mediciones, representando el 82% de la muestra, y más del 99% de estos operaban con gasolina. Los taxis representaron aproximadamente el 9% de la muestra, seguidos de cerca por las camionetas ligeras, que constituyeron el 8%. La mayoría de los vehículos muestreados eran a gasolina, con un 98.6% de los vehículos medidos operando con este tipo de combustible.

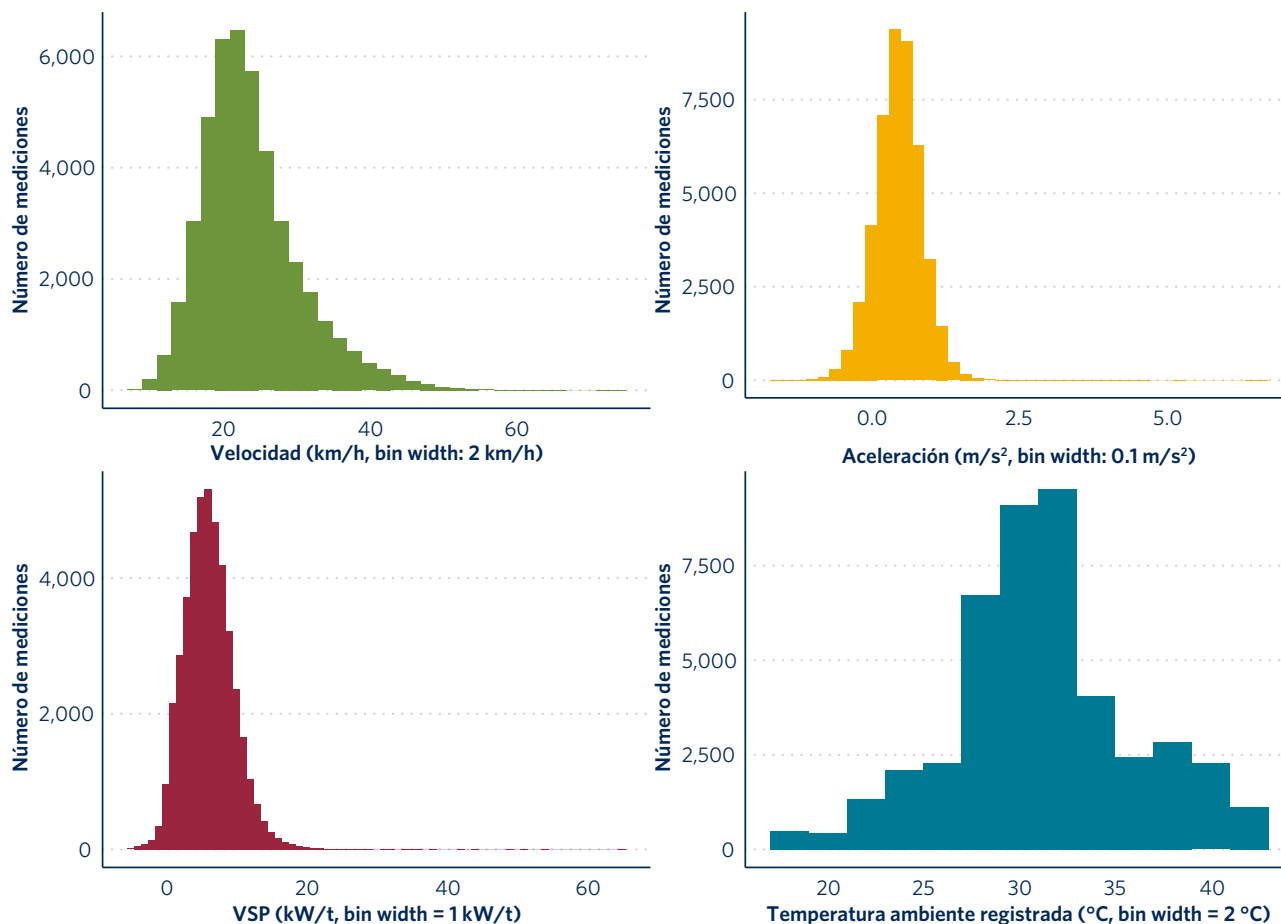
Figura 5. Número de mediciones por tipo de combustible y clasificación de vehículo. El porcentaje de vehículos a gasolina se muestra en cada barra.



La Figura 6 resume los datos recogidos sobre cuatro condiciones ambientales y de conducción que afectan las emisiones: velocidad, aceleración, VSP y temperatura ambiente registrada. Las distribuciones de estos parámetros son aproximadamente normales, con valores medios de 22.7 km/h para velocidad, 0.47 m/s² para aceleración, 5.9 kW/t para VSP y 31 °C para la temperatura ambiente. La mediana del VSP en esta muestra es similar a la mediana de la base de datos TRUE Europa (8.2 kW/t), lo que sugiere que las condiciones de conducción son comparables a las de campañas anteriores de sensor remoto. Los valores de temperatura ambiente fueron más altos de lo esperado, típicamente entre 5 °C y 10 °C superiores a los registrados por estaciones meteorológicas,³⁶ probablemente debido al calor del asfalto y la actividad

36 "Mexico City, Mexico Weather Conditions", Weather Underground, consultado el 29 de septiembre de 2023, <https://www.wunderground.com/weather/mx/mexico-city/IMEXIC159>.

Figura 6. Resumen de las condiciones de prueba.



vehicular.³⁷ Como indica la Figura 6, las mediciones de este estudio abarcaron un amplio rango de condiciones de conducción, proporcionando una representación precisa de la conducción real para nuestro análisis.

ANÁLISIS DE EMISIONES

CARACTERÍSTICAS DE LA FLOTA

Los vehículos evaluados en esta campaña fueron principalmente registrados en dos áreas: el Estado de México y la Ciudad de México, con un pequeño porcentaje en el estado de Morelos. La Tabla 7 muestra el porcentaje de mediciones por lugar de registro, mientras que la Figura 7 detalla la distribución de las mediciones por año-modelo en cada localidad,

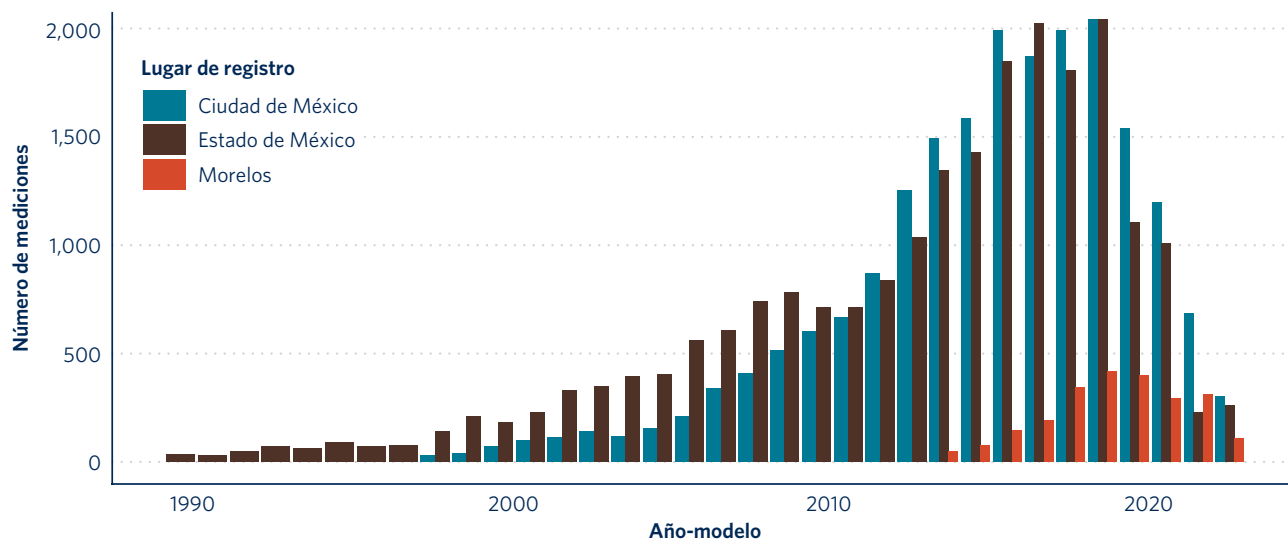
incluyendo todos los grupos con al menos 30 mediciones. Se observó una mayor presencia de vehículos antiguos, modelos anteriores a 2010, en el Estado de México en comparación con la Ciudad de México. Por otro lado, los vehículos registrados en Morelos tendían a ser más recientes; el año-modelo promedio en Morelos fue 2018, frente a la mediana general de 2015.

Tabla 7. Porcentaje de mediciones por lugar de registro.

Ubicación de registro	% de mediciones
Estado de México	49
Ciudad de México	46
Morelos	5

³⁷ Este estudio no evalúa las tendencias de emisiones en función de la temperatura ambiente, por lo que las temperaturas más altas no afectan de manera significativa los resultados del estudio.

Figura 7. Antigüedad de los vehículos por lugar de registro.



EMISIONES POR TIPO DE VEHÍCULO

La Figura 8 muestra las mediciones promedio de CO, HC, NO_x y humo UV para los tres tipos de vehículos más comunes (camionetas ligeras, vehículos de pasajeros y taxis) según el tipo de combustible utilizado. Las emisiones de CO y HC fueron considerablemente más altas en los vehículos a gasolina comparado con el diésel, siendo hasta 3.7 veces mayores para las camionetas ligeras y 4.6 veces para los vehículos de pasajeros. En particular, las emisiones de CO en los vehículos a gasolina fueron extremadamente altas, con las camionetas ligeras y los taxis exhibiendo emisiones promedio superiores a 60 g/kg, cifra mucho más alta que los niveles promedio registrados en la mayoría de las campañas TRUE anteriores.³⁸ Por otro lado, los vehículos a diésel de todas las clases mostraron niveles promedio de NO_x más altos que sus equivalentes a gasolina. Los camiones ligeros a diésel, por ejemplo, presentaron aproximadamente el doble de niveles de NO_x comparado con los camiones ligeros a gasolina, mientras que los vehículos de pasajeros a diésel exhibieron niveles medios de NO_x 5 veces mayores que los vehículos de pasajeros a gasolina.

Al comparar las clases de vehículos, los taxis exhibieron emisiones notablemente más altas que los vehículos de

pasajeros en todos los contaminantes, registrando 2.2 veces más CO, 2.4 veces más HC, 3.1 veces más NO_x y 2.8 veces más humo UV que los vehículos de pasajeros a gasolina. De hecho, en todos los contaminantes, los taxis mostraron emisiones cercanas o incluso superiores a las de las camionetas ligeras que funcionan con gasolina. Estos resultados concuerdan con estudios anteriores que muestran altos niveles de emisiones en los taxis y destacan la magnitud del exceso de emisiones de esta clase de vehículos, lo cual se examina más detalladamente a continuación.

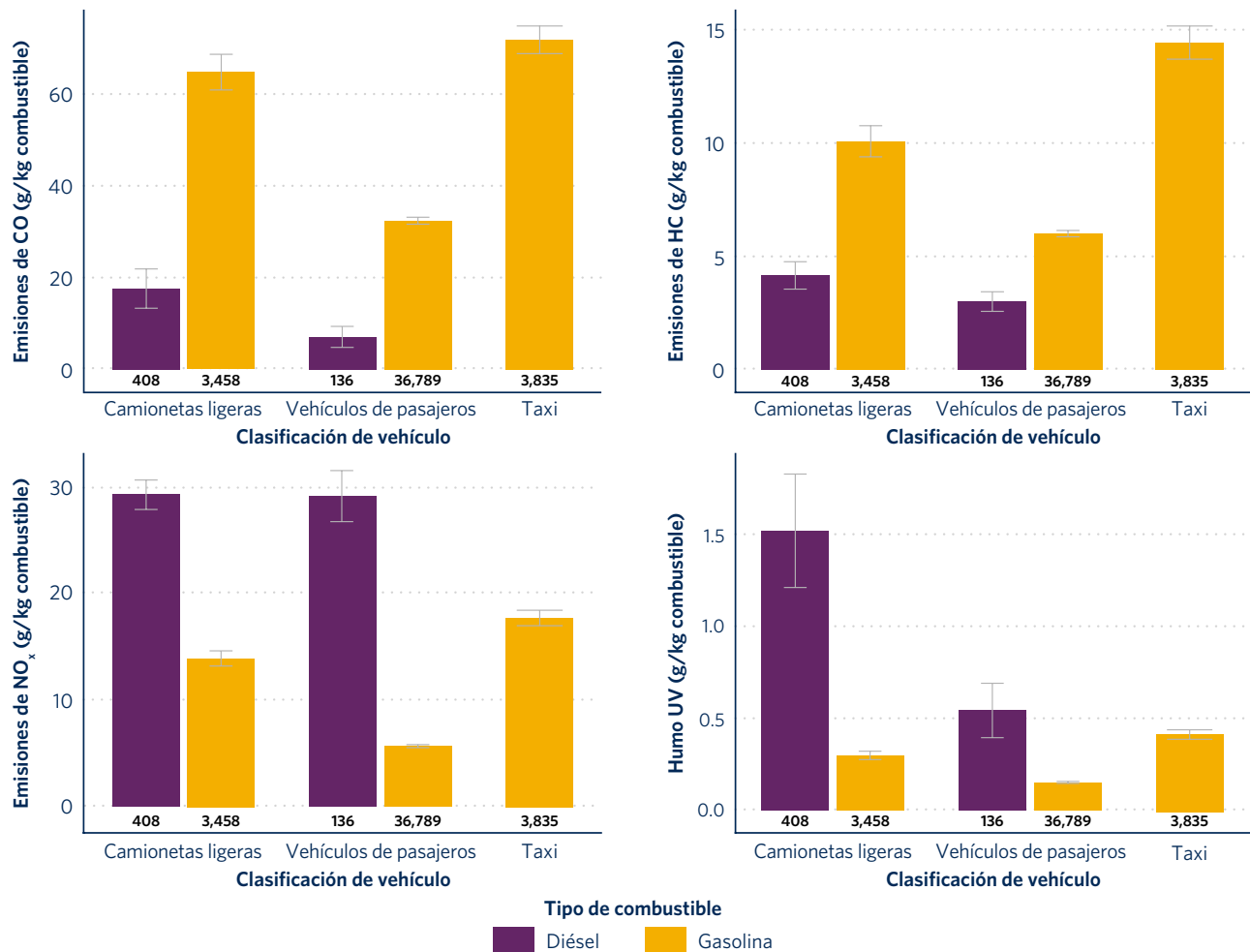
TENDENCIAS DE EMISIONES DE VEHÍCULOS DE PASAJEROS

La Figura 9 ilustra la participación acumulada de emisiones de cada contaminante para los vehículos de pasajeros a gasolina.³⁹ Los datos están organizados por año-modelo, comenzando con los más antiguos (puntos de gradiente más oscuro) hasta los más nuevos (puntos de gradiente más claro). Las líneas negras muestran la proporción de mediciones necesarias para alcanzar una proporción acumulada del 50% de las emisiones masivas de contaminantes. Por ejemplo, en el caso de las emisiones de CO, los vehículos de al menos 14 años, que representan el 19% de la flota evaluada, son responsables de la mitad de las emisiones en masa de

38 Yoann Bernard et al., *Evaluation of Real-World Vehicle Emissions in Brussels* (Washington, D.C.: International Council on Clean Transportation, 2021), <https://www.trueinitiative.org/media/792040/true-brussels-report.pdf>; Kaylin Lee, Yoann Bernard, and Jonathan Cooper, *Assessment of Real-World Vehicle Emissions in Scotland in 2021* (Washington, D.C.: International Council on Clean Transportation, 2023), <https://www.trueinitiative.org/media/792423/true-scotland-remote-sensing.pdf>; Liuhanzi Yang et al., *Remote Sensing of Motor Vehicle Emissions in Seoul* (Washington, D.C.: International Council on Clean Transportation, 2022), <https://www.trueinitiative.org/media/792173/remote-sensing-seoul-true-paper.pdf>.

39 Mientras que otros gráficos utilizan factores de emisión específicos del combustible, los resultados de este gráfico reflejan las tendencias de los factores de emisión específicos de la distancia, que han sido convertidos utilizando datos de la Iniciativa Global para el Ahorro de Combustibles. Agencia Internacional de Energía (IEA), "Fuel Economy in Mexico", actualizado en diciembre de 2021, <https://www.iea.org/articles/fuel-economy-in-mexico>.

Figura 8. Promedio de emisiones de CO, HC, NO_x y humo UV para cada tipo de vehículo. Las barras de error representan un intervalo de confianza del 95%.



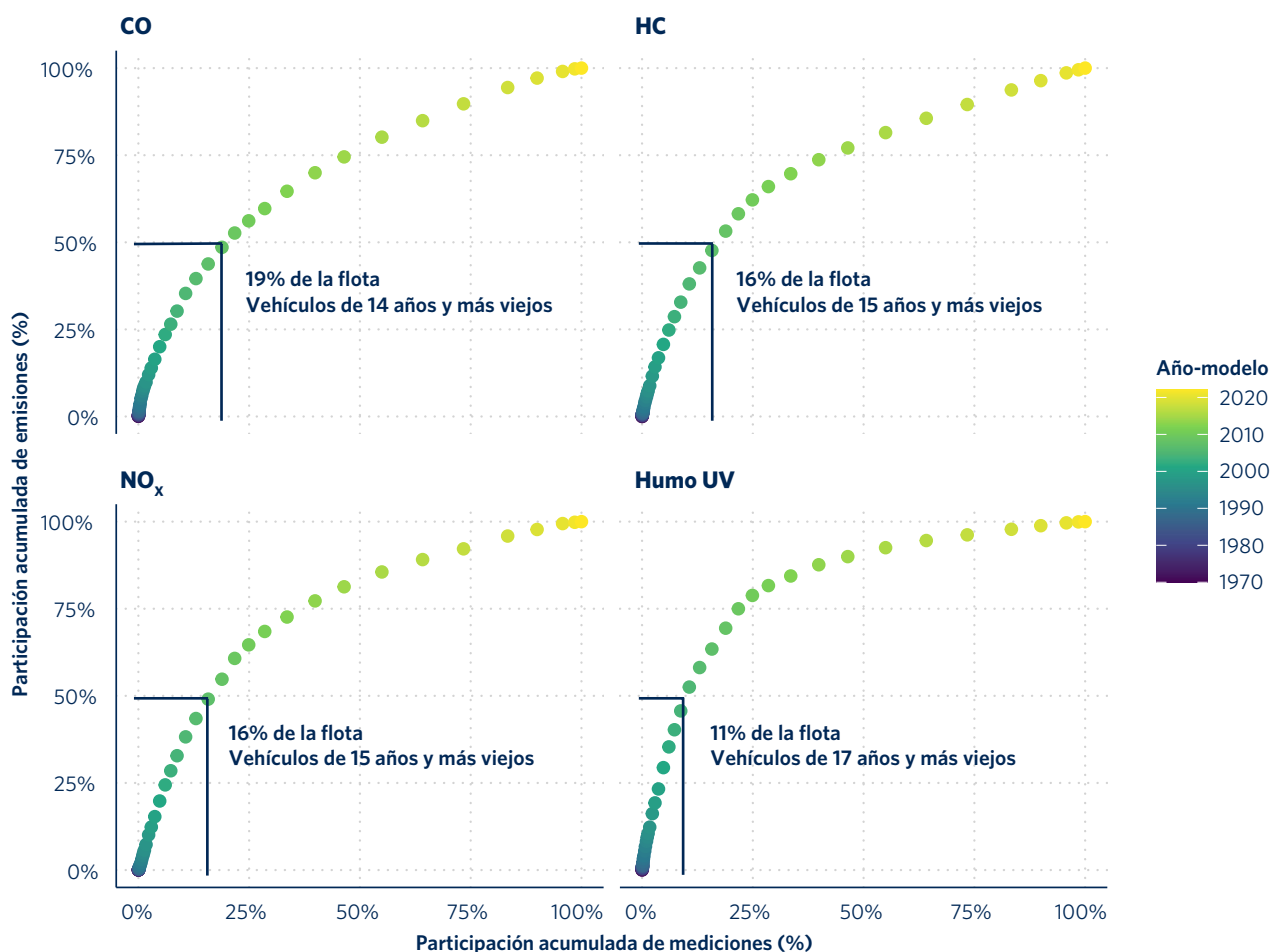
este contaminante. Nuestro análisis señala tendencias similares para otros contaminantes: el 50% de las emisiones de HC y NO_x provienen de vehículos de al menos 15 años, y el 50% de las emisiones de humo UV provienen de vehículos de al menos 17 años, aunque estos vehículos representan solo una pequeña fracción del total de la flota de vehículos de pasajeros a gasolina (16% y 11%, respectivamente).

Estos resultados indican que, aunque la flota se está actualizando a vehículos más nuevos con menores emisiones, los vehículos más antiguos siguen representando una porción significativa de las emisiones totales. Este hallazgo subraya la importancia de enfocar esfuerzos en la parte más antigua y contaminante de la flota para su mantenimiento o reemplazo. Con base en estos resultados, las emisiones de vehículos de pasajeros en la Ciudad de México podrían reducirse sustancialmente si se enfocaran en una pequeña porción de la flota (menos del 20%).

La Figura 10 muestra las emisiones promedio específicas de combustible para cada contaminante por año-modelo y lugar de registro.⁴⁰ Hay una clara tendencia a la baja en todas las emisiones: los vehículos más nuevos emiten hasta un 99% menos que los más antiguos de la flota. Para los modelos de 2013 y más recientes, los vehículos matriculados en la Ciudad de México, el Estado de México y Morelos mostraron patrones de emisión similares, aunque los vehículos de Morelos registraron las emisiones más bajas en todos los contaminantes. Esta tendencia se atribuye principalmente a las diferencias en marcas y modelos; en general, los vehículos en Morelos son más caros y probablemente equipados con tecnologías de control de emisiones más avanzadas.

⁴⁰ Se recolectaron más de 30 mediciones de modelos de automóviles de los años 1991 a 1994 registrados en el Estado de México; sin embargo, estos se excluyen del gráfico para mejorar la visualización de los modelos de años más recientes.

Figura 9. Participación acumulada de emisiones de CO, HC, NO_x y humo UV de vehículos de pasajeros a gasolina por antigüedad del vehículo.



Los vehículos más antiguos mostraron patrones de emisiones distintos dependiendo del lugar de registro. A pesar de que los automóviles en la Ciudad de México y el Estado de México están regulados bajo la misma normativa nacional de emisiones y están sujetos a los mismos requisitos de inspección y mantenimiento, los autos más antiguos registrados en el Estado de México presentaron mayores emisiones que aquellos del mismo año modelo registrados en la Ciudad de México. Esta brecha es más notable en los vehículos anteriores a 2005, disminuye después, pero persiste para los modelos de 2005 a 2012. Como ejemplo, para el año 2004, los vehículos matriculados en el Estado de México mostraron 2.1 veces más CO, 2.4 veces más HC, 2.8 veces más NO_x y 5.1 veces más humo

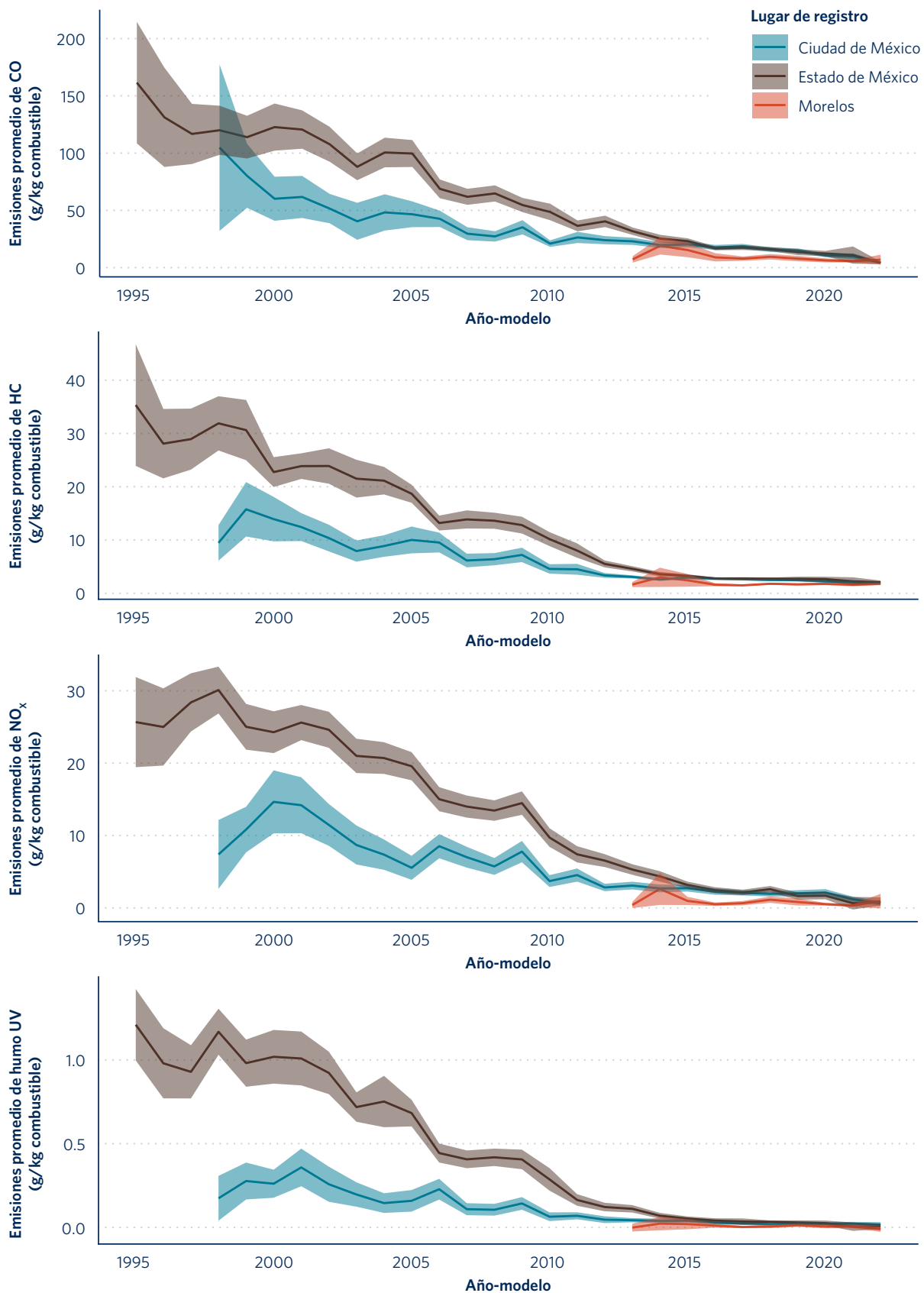
UV en comparación con los vehículos del mismo año matriculados en la Ciudad de México.⁴¹

Como resultado, los vehículos más antiguos registrados en el Estado de México contribuyen significativamente a las emisiones totales. Como ilustra la Figura 11, los automóviles de los años 1994-2005 matriculados en el Estado de México, que representaron el 7% de la flota evaluada, aportaron de forma desproporcionadamente alta a las emisiones totales, variando entre el 26% y el 43% dependiendo del contaminante.⁴² En contraste, los automóviles del mismo año-modelo registrados en la Ciudad de México, que constituían el 3% de la

41 Las agrupaciones según los años de los modelos se basaron en los certificados del PVVO, como se muestra en la Figura 1. Los vehículos del periodo de 1994 a 2005 generalmente poseen certificaciones "1" y "2", mientras que los vehículos de los años de modelo 2006 a 2022 suelen estar clasificados con certificados "00" y "0".

42 Al igual que la Figura 9, este gráfico utiliza factores de emisión específicos de la distancia, convertidos utilizando datos de la Iniciativa Global para el Ahorro de Combustibles. IEA, "Fuel Economy in Mexico".

Figura 10. Emisiones promedio de vehículos de pasajeros a gasolina por año de modelo para cada lugar de registro. La región sombreada representa un intervalo de confianza del 95%.



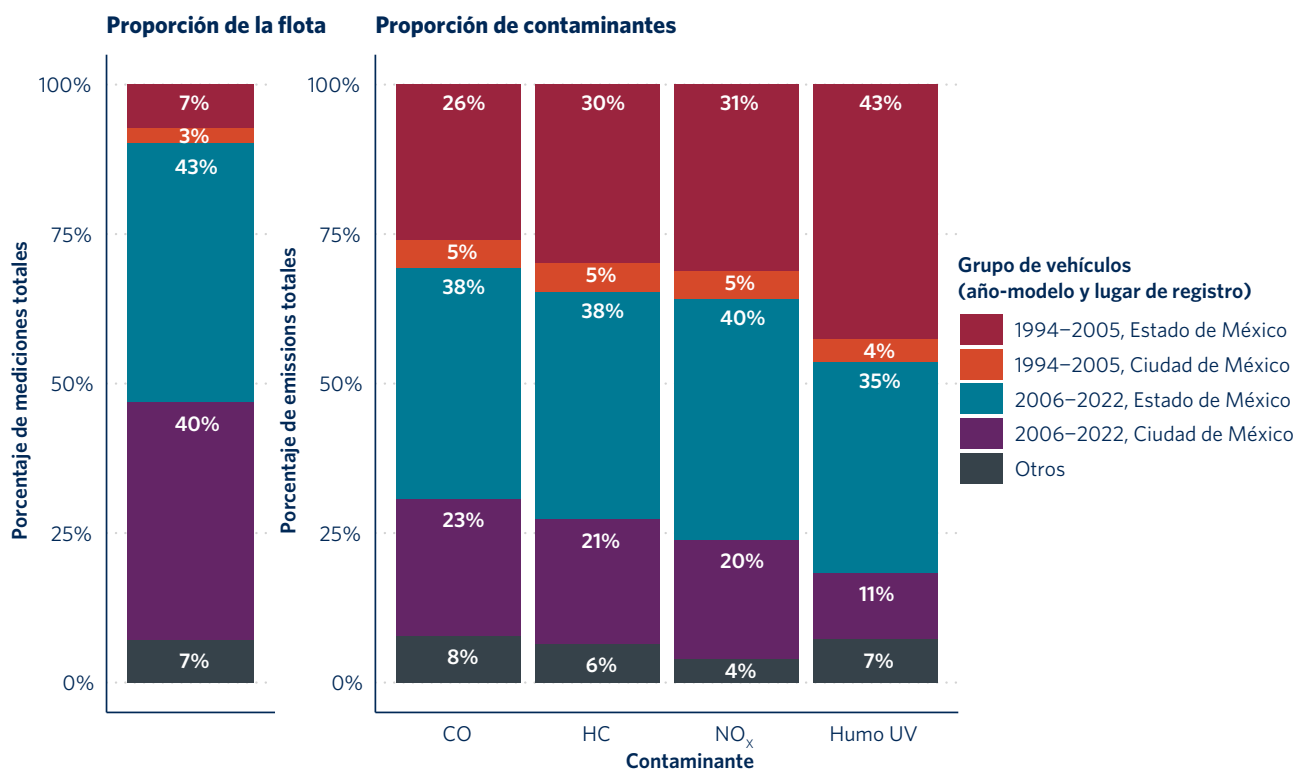
flota muestra, contribuyeron entre el 4% y el 5% de las emisiones. Estos hallazgos destacan el potencial para lograr grandes reducciones de emisiones al focalizar las políticas en los vehículos de modelos anteriores a 2005 registrados en el Estado de México. Asegurar que los procedimientos de inspección de vehículos y las prácticas de cumplimiento en el Estado de México sean tan rigurosos como los de la Ciudad de México probablemente mejoraría la efectividad del PVVO para abordar los vehículos con altas emisiones y reducir la brecha de emisiones del mundo real entre las dos jurisdicciones.

Además, aunque menos pronunciado, la Figura 11 también muestra que los automóviles más nuevos (modelos del año 2006 en adelante) registrados en el Estado de México contribuyen a una proporción comparativamente más alta de emisiones que aquellos registrados en la Ciudad de México en todos los contaminantes, a pesar de representar porcentajes similares de la flota muestreada (43% y 40%, respectivamente). Esto es especialmente notable en el caso del humo UV, donde los vehículos año-modelo 2006-2022 registrados en el Estado de México representaron el 35% de las emisiones

totales de vehículos de pasajeros, mientras que aquellos registrados en la Ciudad de México representaron el 11%. Aunque estos vehículos más nuevos en el Estado de México emiten una proporción ligeramente menor de las emisiones totales en comparación con su participación en la flota, aún representan una parte considerable (35%-40%) del total de emisiones.

En total, los vehículos de pasajeros a gasolina registrados en el Estado de México constituyeron el 50% de la flota evaluada y contribuyeron entre el 64% y el 77% de las emisiones totales, en comparación con los vehículos registrados en la Ciudad de México, que constituyeron el 43% de la flota y produjeron entre el 16% y el 28% de las emisiones. Estos resultados subrayan la importancia de implementar políticas que aborden las mayores emisiones de los vehículos registrados en el Estado de México. Aunque la Ciudad de México y el Estado de México comparten los mismos programas de PVVO, las mayores emisiones observadas en el Estado de México sugieren que las autoridades locales deberían investigar más a fondo y asegurar una verdadera armonización de los procedimientos de inspección y prácticas de

Figura 11. Proporción de automóviles de pasajeros a gasolina de la flota muestreada versus proporción del total de contaminantes por grupo de año de modelo y lugar de registro. "Otros" se refiere a vehículos matriculados en Morelos o autos más antiguos que 1994, que constituyen una pequeña porción de la flota.

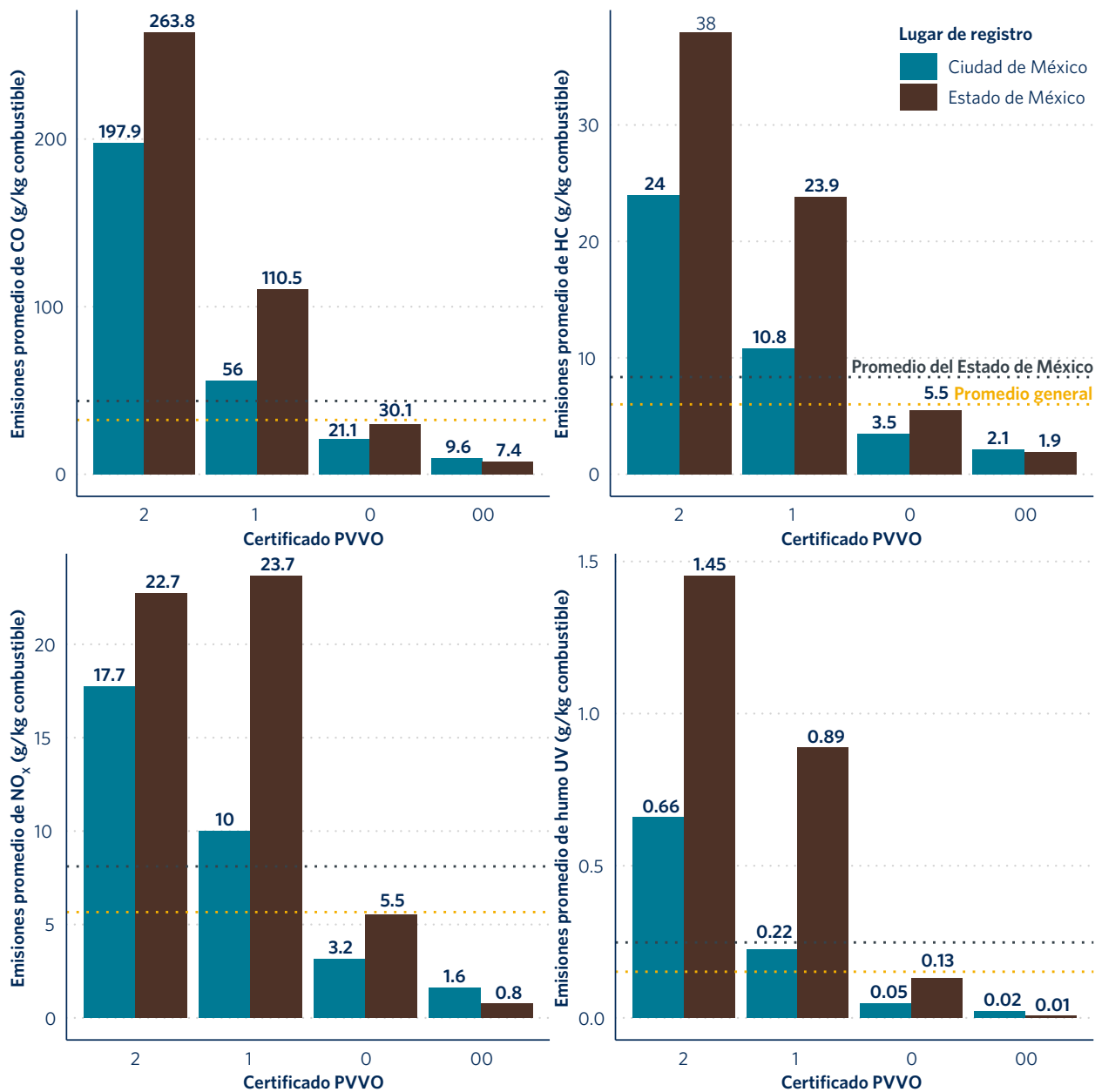


cumplimiento en ambas jurisdicciones para mejorar la efectividad del PVVO en el manejo de vehículos con altas emisiones.

La Figura 12 ofrece un análisis más detallado de las emisiones de los vehículos de pasajeros de gasolina

por certificado PVVO.⁴³ En todos los contaminantes, los autos con certificados 0 y 00, tanto de la Ciudad de México como del Estado de México, mostraron emisiones por debajo del promedio general. En la certificación 1, las tendencias entre la Ciudad de México y el Estado de México divergen significativamente: los

Figura 12. Emisiones promedio de vehículos de pasajeros a gasolina matriculados en la Ciudad de México y el Estado de México mediante certificado PVVO.



43 Para el Estado de México, los vehículos se categorizan según los certificados PVVO, los cuales se asignan de acuerdo con las especificaciones reportadas de cada vehículo. Para los automóviles registrados en la Ciudad de México, dado que no se incluyó la información de certificados PVVO, estos vehículos se clasificaron por año de modelo según la información de la Figura 1. Los modelos de 1993 y anteriores se clasifican como "2", los modelos de 1994 a 2005 como "1", los modelos de 2006 a 2019 como "0", y los modelos de 2020 en adelante como "00".

vehículos registrados en el Estado de México exhiben aproximadamente el doble (o más) de las emisiones promedio que aquellos registrados en la Ciudad de México. De hecho, excepto en el caso de CO, los vehículos del Estado de México con certificación 1 mostraron emisiones similares o incluso superiores a las de los vehículos de la Ciudad de México con certificación 2. En general, estos resultados indican que el rendimiento de las emisiones en el mundo real generalmente está alineado con las restricciones de conducción basadas en el esquema PVVO, pero se necesitan acciones políticas adicionales para abordar de manera efectiva las altas emisiones de los vehículos con certificación 1 registrados en el Estado de México.

La Figura 13 destaca los vehículos de pasajeros a gasolina del año modelo 2004 y posteriores que registraron emisiones significativamente más altas, específicamente aquellos cuyas emisiones promedio superaron en al menos un 50% las del promedio de la flota en todos los contaminantes. El Nissan Tsuru 1.6L

presentó los niveles más altos de emisiones, seguido por el VW Pointer 1.8L, el Chevrolet Chevy 1.6L y el Nissan Platina 1.6L. Cada uno de estos cuatro modelos emitió al menos 2.5 veces más que el promedio de la flota en todos los contaminantes. Los resultados completos para todos los modelos de vehículos con al menos 100 mediciones están disponibles en el Apéndice A.

TENDENCIAS DE EMISIONES DE TAXIS

Dado que las autoridades de la Ciudad de México limitan la operación de taxis a no más de 10 años, hay una menor presencia de taxis antiguos en comparación con los vehículos de pasajeros. La Figura 14 muestra la distribución de taxis por año-modelo, indicando que una gran mayoría (77%) son del 2012 al 2018, lo que significa que tenían entre 4 y 10 años al momento de la medición. Prácticamente no existen taxis anteriores al modelo 2006; en contraste, el 10% de los vehículos de pasajeros de nuestra muestra eran más antiguos que el modelo 2006.

Figura 13. Modelos de vehículos de pasajeros a gasolina del año 2004 y posteriores con los mayores niveles emisiones. Las barras de error representan intervalos de confianza del 95%.

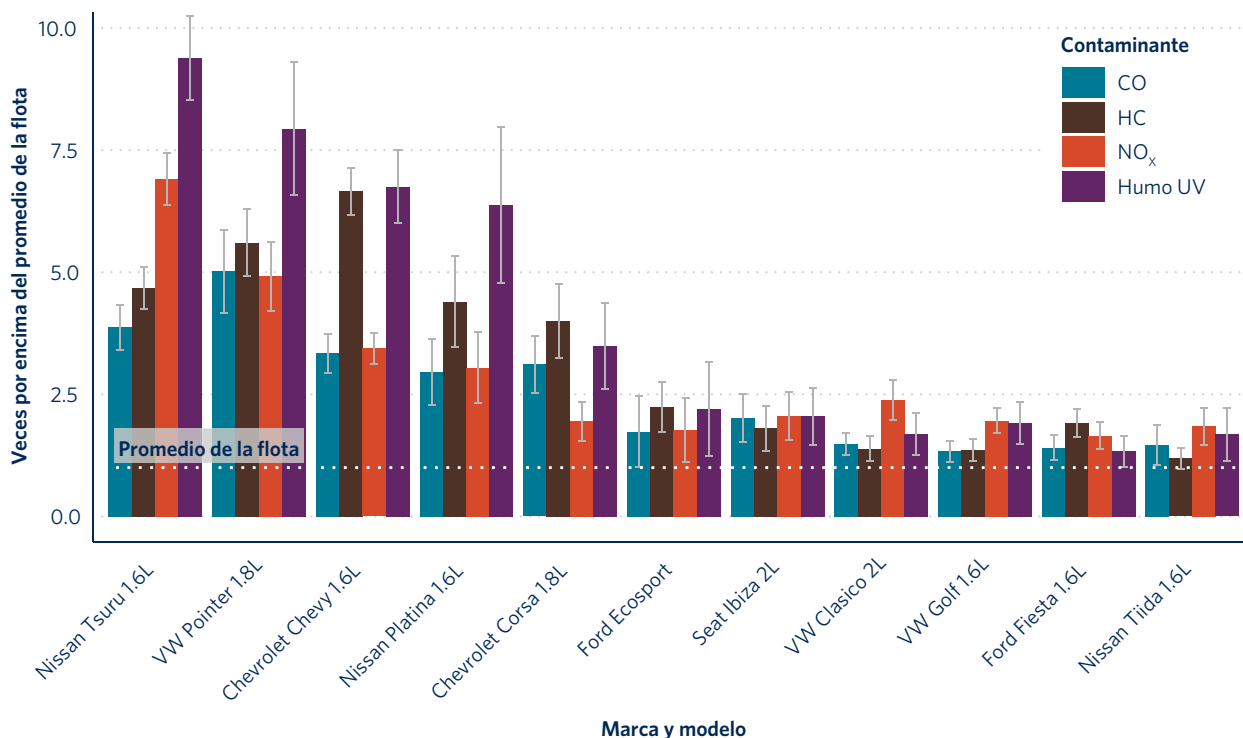
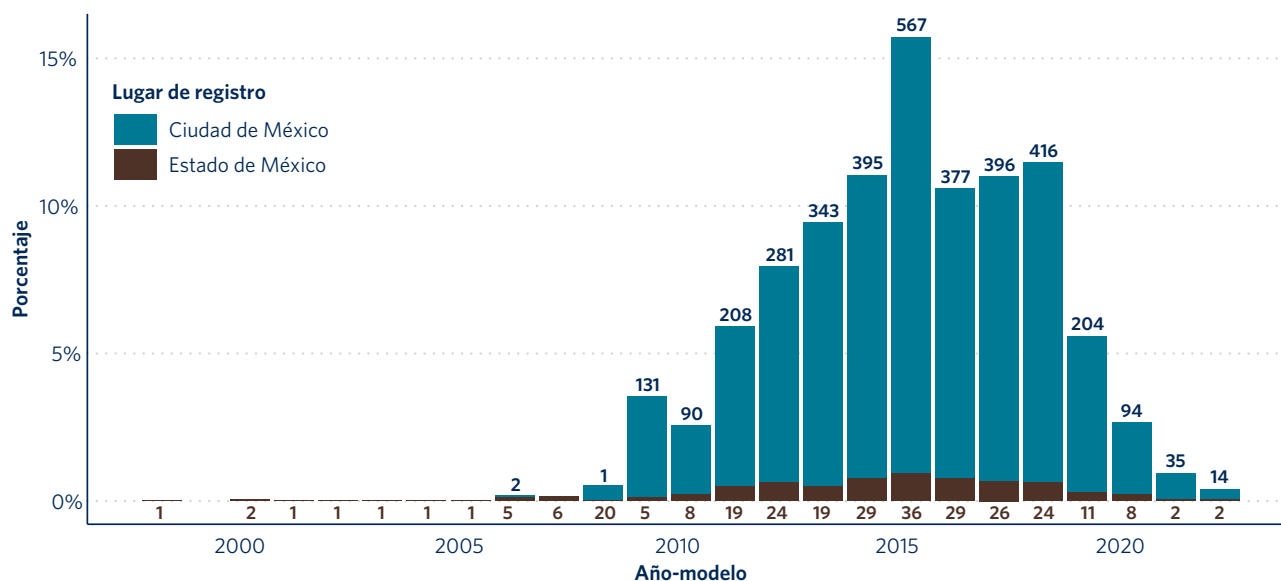


Figura 14. Distribución del año del modelo de taxi.



En promedio, entre todos los contaminantes, los taxis generalmente emiten emisiones mucho más altas que los vehículos de pasajeros del mismo año de modelo: hasta 10 veces más, en algunos casos (Figura 15). Por ejemplo, en promedio, los modelos de taxis de 2015 emitieron 3.5 veces más CO, 4.6 veces más HC, 6.9 veces más NO_x y 8.2 veces más humo UV que sus homólogos vehículos de pasajeros de 2015. De hecho, los taxis más antiguos (modelos 2009) mostraron niveles de emisiones promedio similares o superiores a los de los vehículos de pasajeros aproximadamente 10 años más antiguos, con emisiones de HC sustancialmente más altas que las de los vehículos de pasajeros del año 2000 y niveles de NO_x y humo UV que excedían los de los vehículos de pasajeros del año 1999. Aunque las emisiones promedio de los taxis disminuyen para los modelos más nuevos, solo los modelos de taxis de 2020 y 2021 mostraron emisiones similares a las de los vehículos de pasajeros.

Las elevadas emisiones de los taxis pueden atribuirse en parte a un deterioro más acelerado que el de los vehículos de pasajeros, debido a una mayor acumulación de kilometraje. Un estudio previo demostró este deterioro en los taxis, observando que las emisiones promedio de HC se duplicaron en el lapso de 3 años entre dos campañas de medición.⁴⁴ Aunque el presente estudio no examina el deterioro directamente, ya que todas las mediciones se realizaron

en el mismo año, los resultados que muestran altas emisiones de los taxis justifican una investigación más profunda sobre este fenómeno. Actualmente, los taxis deben someterse a una inspección y mantenimiento anuales además del PVVO. Las elevadas emisiones observadas sugieren que modificar los procedimientos de inspección y mantenimiento podría ayudar a mitigar los efectos del deterioro.

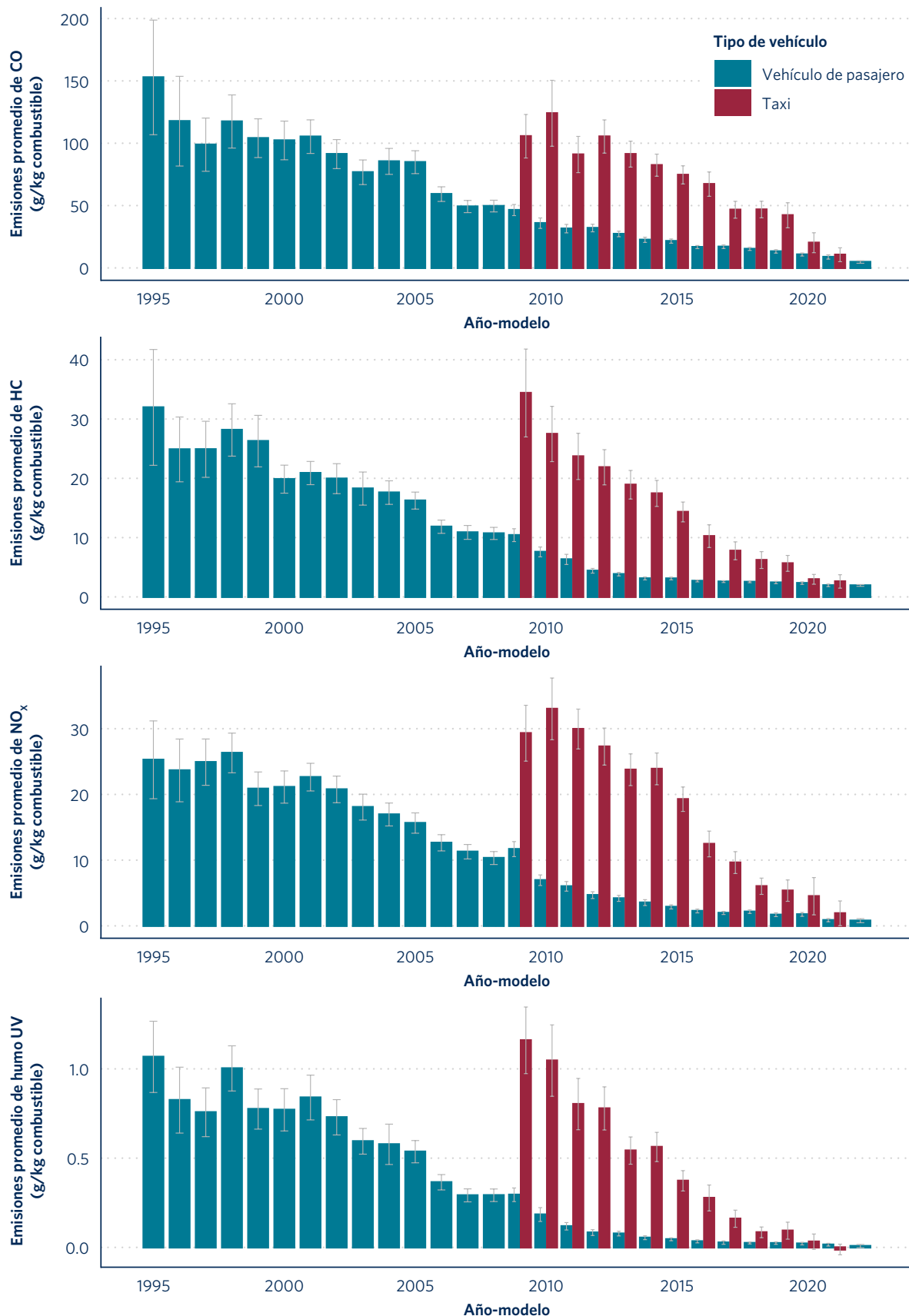
Sin embargo, el mayor uso y el deterioro por sí solos no explican completamente la disparidad observada entre las emisiones de los taxis y las de los vehículos de pasajeros. En comparación con campañas anteriores llevadas a cabo por TRUE en otras ciudades, la brecha entre las emisiones de los taxis y las de los vehículos de pasajeros es mucho mayor en la Ciudad de México. Por ejemplo, en Escocia, los taxis a diésel mostraron emisiones de NO_x hasta dos veces mayores en comparación con los vehículos de pasajeros diésel del mismo año, mientras que, en Londres, los taxis exhibieron emisiones 2.7 veces más altas, brechas mucho más moderadas que las encontradas en este estudio.⁴⁵

La prominencia de un modelo específico, el Nissan Tsuru, entre los taxis de la Ciudad de México ayuda a explicar esta tendencia. Como se muestra en la Figura 13, el Nissan Tsuru fue uno de los modelos de

44 John Koupal y Cindy Palacios, *Analysis of 2019 Mexico City RSD HC levels*, (2021), https://theicct.org/wp-content/uploads/2022/04/ERG_Mexico-City-2019-RSD-Analysis_Updated-March-1_Clean.pdf.

45 Kaylin Lee, Yoann Bernard, y Jonathan Cooper, *Assessment of Real-World Vehicle Emissions in Scotland in 2021*; Tim Dallmann, Yoann Bernard, Uwe Tietge, Rachel Muncrief, "NO_x and Particulate Emissions from London's Taxis" (Washington, D.C.: Consejo Internacional de Transporte Limpio, 2018), <https://www.trueinitiative.org/media/597546/true-london-taxi-fact-sheet.pdf>.

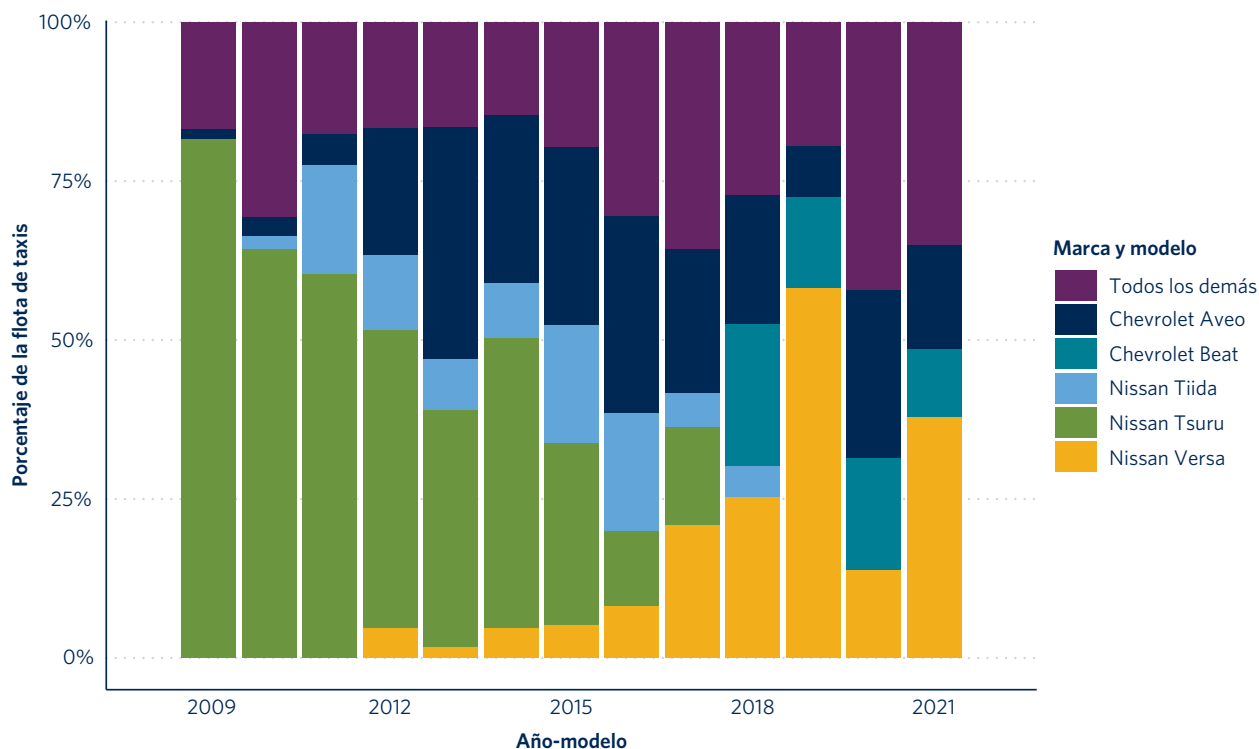
Figura 15. Comparación entre las emisiones de vehículos de pasajeros y taxis a gasolina. Las barras de error representan intervalos de confianza del 95%.



vehículos de pasajeros con mayores emisiones en este estudio. El Nissan Tsuru también representó más del 50% de la flota de taxis de la muestra, dominando especialmente hasta los modelos de 2012, antes de disminuir gradualmente hasta los modelos de 2017 (Figura 16), cuando su producción fue suspendida debido a preocupaciones de seguridad.⁴⁶ Las tendencias observadas en la Figura 15 indican que las emisiones disminuyeron significativamente a partir del año-modelo 2017, coincidiendo con una reducción en la presencia de Nissan Tsurus y un aumento en la popularidad de otros modelos, como el Chevrolet Aveo y Nissan Versa (Figura 16).

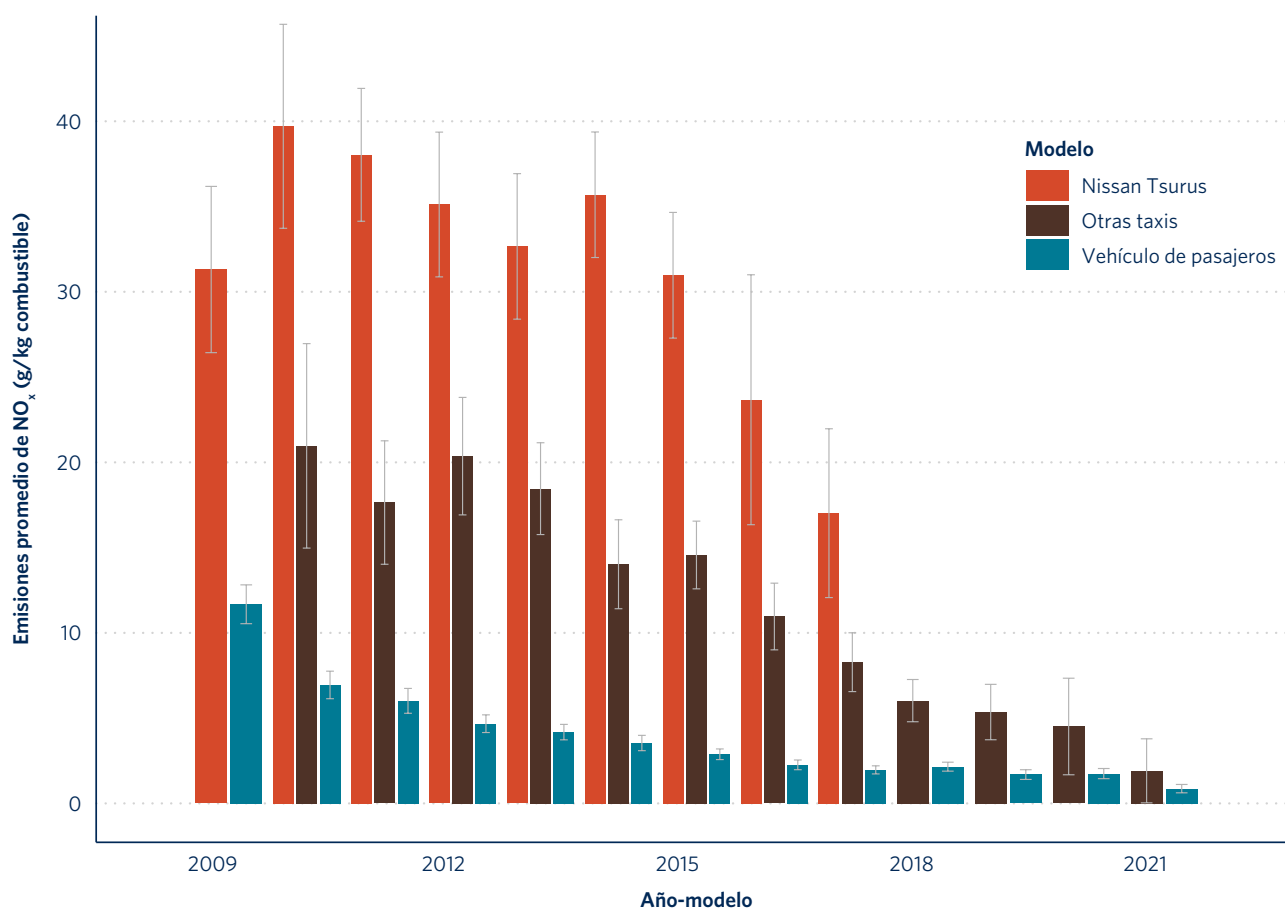
Las emisiones de NO_x del Nissan Tsuru son notablemente altas en comparación con otros taxis y vehículos de pasajeros. La Figura 17 muestra que en todos los años de modelo hasta 2017, los taxis Nissan Tsuru registraron niveles de NO_x significativamente más elevados que otros modelos de taxis y vehículos de pasajeros. Por ejemplo, para los vehículos del modelo 2014, el Nissan Tsuru mostró emisiones de NO_x 2.6 veces mayores que otros taxis y 10.4 veces más que los vehículos de pasajeros. Estas notables diferencias sugieren que, aunque otros taxis también presentan altas emisiones comparados con los vehículos de pasajeros, una gran parte de las elevadas emisiones promedio de NO_x en los taxis puede atribuirse específicamente al Nissan Tsuru, particularmente en los modelos más antiguos.

Figura 16. Proporción de modelos de taxi por año de modelo.



⁴⁶ Luis Rojas, "Nissan to stop making Mexican Tsuru amid safety criticism", Reuters, 26 de octubre de 2016, <https://www.reuters.com/article/us-nissan-tsuru/nissan-to-stop-making-mexican-tsuru-amid-safety-criticism-idUSKCN12Q22M>.

Figura 17. Emisiones de NO_x de Nissan Tsurus, todos los demás modelos de taxi y vehículos de pasajeros, por año-modelo. Las barras de error representan intervalos de confianza del 95%.



Aunque los Nissan Tsurus no son los únicos responsables de las altas emisiones promedio de los taxis, estos resultados resaltan el impacto que un solo modelo de vehículo puede tener en las emisiones promedio de la flota. La Ciudad de México ya prioriza programas de renovación para reemplazar los Nissan Tsurus debido a las malas condiciones de seguridad, y este estudio muestra que también existen importantes implicaciones para la calidad del aire. Los gobiernos municipales y los fabricantes de automóviles deberían investigar otros modelos de taxis comunes identificados como altos emisores. Los incentivos gubernamentales deben examinarse cuidadosamente para evitar incentivar modelos con altas emisiones.

EMISIONES EVAPORATIVAS

Como se señaló anteriormente, este estudio incluye un análisis de las emisiones evaporativas, un aspecto inédito dentro de la iniciativa TRUE. La NOM-042 estableció un límite de emisiones evaporativas de 2 g de

HC para pruebas diurnas y de remojo en caliente de 24 horas, pero no incluye requisitos para la recuperación de vapor de combustible a bordo (ORVR, por sus siglas en inglés), como el uso de un recipiente de carbón activado u otras tecnologías avanzadas que sí se contemplan en las regulaciones bajo las regulaciones Tier 3 estadounidenses. Obtener más información sobre las emisiones evaporativas y la dinámica de formación de ozono puede ser clave para acelerar la actualización de la norma nacional de emisiones de vehículos (NOM-042) y para respaldar la implementación de programas de inspección y mantenimiento más sólidos y armonizados.

El ICCT ha destacado consistentemente el impacto negativo de los límites insuficientes en las emisiones evaporativas y la importancia de utilizar combustibles más limpios. En 2018, el ICCT publicó un estudio sobre calidad del aire y salud, evaluando el impacto de mejorar las regulaciones sobre las emisiones de vehículos ligeros y vehículos pesados, así como el uso de combustibles

bajos en azufre (Figura 18). Los resultados del estudio indican beneficios significativos a corto plazo al adoptar las normas Tier 2, Bin 5 y ORVR.⁴⁷

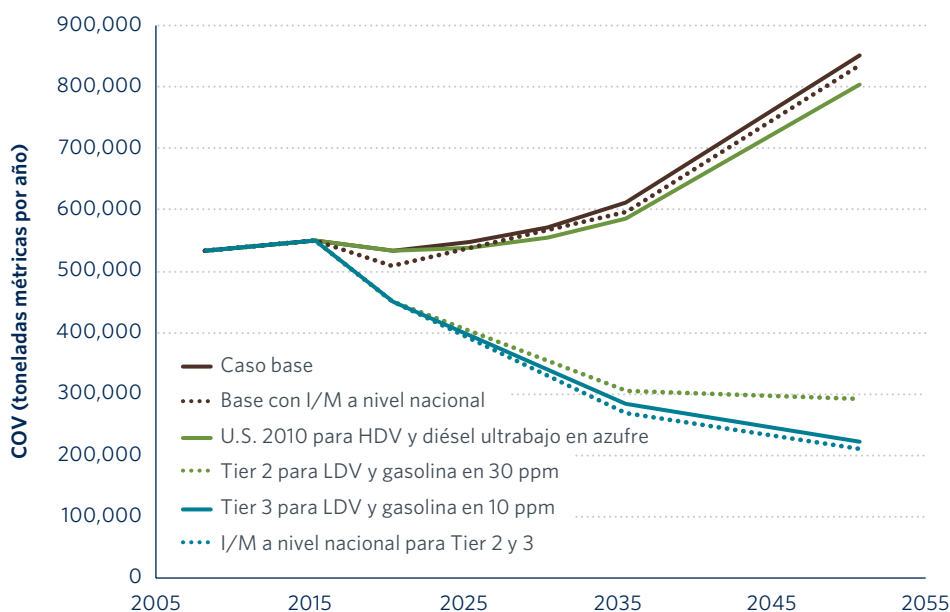
Los estudios destinados a evaluar la precisión de las mediciones de emisiones evaporativas utilizando equipos de sensor remoto son limitados y, según los resultados disponibles, la precisión obtenida no es adecuada para llevar a cabo análisis cuantitativos.⁴⁸ Por esta razón, nuestro análisis se centró en la realización de comparaciones de la presencia de emisiones evaporativas detectables.

Para evaluar las emisiones evaporativas, se utilizó un índice calculado y reportado por Opus, que indica la detección de emisiones evaporativas. Opus reporta este índice en una escala de 0 a 4, donde 4 representa el nivel más alto de emisiones evaporativas.⁴⁹ El algoritmo emplea mediciones de HC y CO₂ tomadas de cada uno

de los 100 puntos de la pluma capturados en el segundo de recopilación de datos y aplica dos regresiones lineales para determinar el índice de evaporación.⁵⁰ Además, Opus informó sobre otro índice, el índice Eastern Research Group (ERG), que se basa en un algoritmo diferente. Sin embargo, este último no fue analizado en este estudio debido a la evidencia de una alta prevalencia de posibles falsos positivos.⁵¹

La Figura 19 muestra las puntuaciones del índice de emisiones evaporativas en toda la flota muestreada, distribuidas por clase de vehículo. Entre los camiones ligeros, el 3.7% mostró emisiones evaporativas detectables durante la conducción, y el 1.6% de la flota muestreada alcanzó un índice de emisiones evaporativas de 4, el nivel más alto en la escala. Las tendencias observadas en los taxis son similares a las de los camiones ligeros: el 3.5% de la flota muestreada mostró emisiones evaporativas detectables y el

Figura 18. Emisiones de COV bajo diferentes escenarios regulatorios. Nota: "I/M" significa "Inspección y Mantenimiento". Los programas de I/M son estrategias regulatorias para garantizar que los vehículos en la carretera se mantengan para cumplir con las normas de emisiones específicas.



47 Pineda et al., *Air Quality and Health Benefits of Improved Fuel*.

48 Charles L. Blanchard, "CRC Report No. E-119-3a" (CRC: Alpharetta, GA, 2023), <https://crcao.org/wp-content/uploads/2023/04/E-119-3a-Final-Report.pdf>.

49 Blanchard, "CRC Report No. E-119-3a".

50 La primera regresión realizada es una regresión lineal entre CO₂ y HC. Si hay HC presente y la correlación es débil, esto puede ser una señal de emisiones evaporativas (HC) de una fuente distinta al tubo de escape. En segundo lugar, se evalúa una regresión LOESS frente a la regresión lineal, y si las pendientes son muy diferentes entre sí, esto indica además emisiones evaporativas.

51 Otro estudio encontró que el índice ERG se correlacionaba mejor con las emisiones evaporativas simuladas. Sin embargo, dado que este análisis analiza las tasas de detección y no tiene como objetivo estimar las cantidades de emisiones, utilizamos el algoritmo Opus. Blanchard, "CRC Report No. E-119-3a"; Michael J. St. Denis y Gerard Glinesky, "CRC Report No. RW-105", (CRC: Alpharetta, GA, 2023), <https://crcao.org/wp-content/uploads/2023/04/CRC-RW-105-Final-Report-Revecorp-20230405.pdf>.

1.7% alcanzó un índice de 4. En comparación, aproximadamente el 1.7% de la flota de vehículos de pasajeros muestreada mostró emisiones evaporativas detectables, un porcentaje inferior al de las otras dos clases de vehículos.

Aunque estos porcentajes son relativamente bajos, los vehículos que mostraron emisiones evaporativas detectables tenían altos niveles de emisiones de HC. Los camiones ligeros con emisiones evaporativas detectables promediaron 49 g HC/kg de combustible, casi 5 veces más que el promedio de la flota. Los vehículos de pasajeros con emisiones evaporativas detectables promediaron 50 g HC/kg de combustible, aproximadamente 8 veces más que el promedio de la flota. Los taxis con emisiones evaporativas detectables promediaron 67 g HC/kg de combustible, casi 5 veces más que el promedio de la flota. Dirigir esfuerzos hacia estos vehículos con los niveles más altos de emisiones de HC debido a emisiones evaporativas, ya

sea mediante mantenimiento o reemplazo, ayudaría significativamente a abordar el problema de la contaminación por ozono en la Ciudad de México.

Al analizar los datos más detenidamente, se observa que una mayor proporción de vehículos más antiguos entre los camiones ligeros y los vehículos de pasajeros mostró emisiones evaporativas detectables. Como se ilustra en la Figura 20, casi el 12% de los camiones ligeros de 2004 y anteriores presentaron emisiones evaporativas detectables, en comparación con solo el 2.5% de los camiones ligeros de 2005 en adelante. De manera similar, aproximadamente el 8% de los modelos de vehículos de pasajeros de 2004 y anteriores mostraron emisiones evaporativas detectables, frente a solo el 1% de los modelos de 2005 y más recientes. Estos resultados sugieren que una inspección minuciosa de los vehículos más antiguos para detectar fugas de emisiones evaporativas podría ser crucial para reducir la contaminación por O₃.

Figura 19. Proporción de vehículos a gasolina que mostraron emisiones evaporativas detectables e índice de emisiones evaporativas asociadas por clase de vehículo. El número de mediciones se muestra en cada barra.

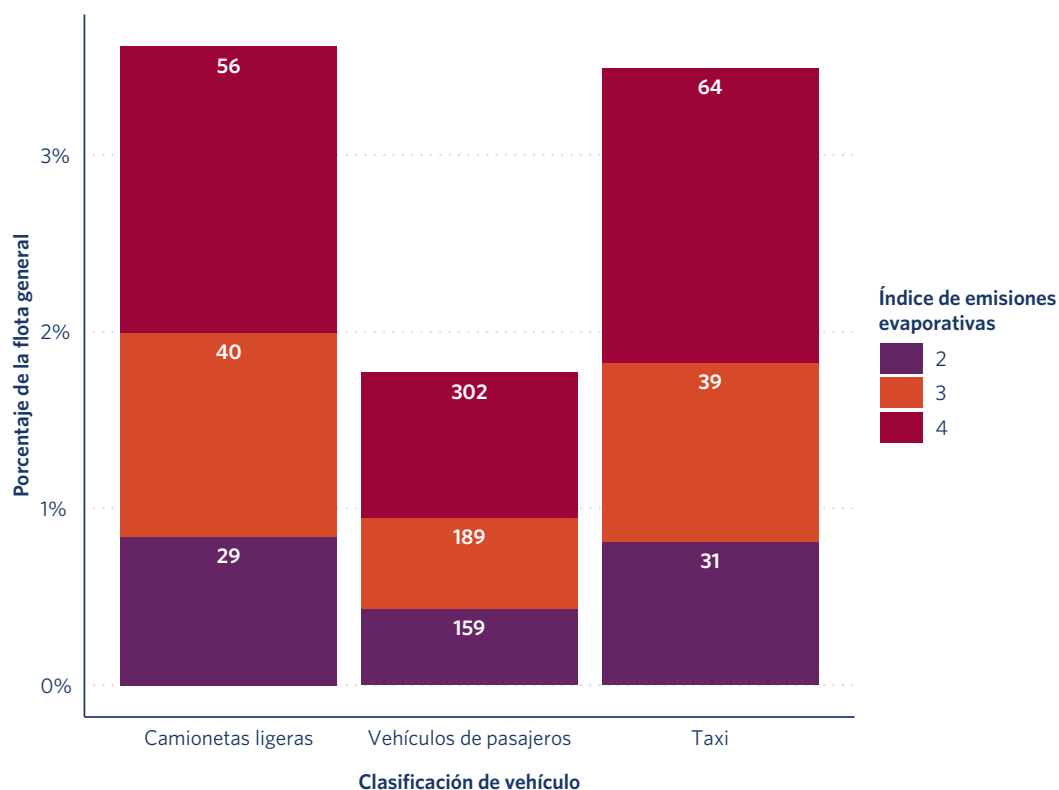
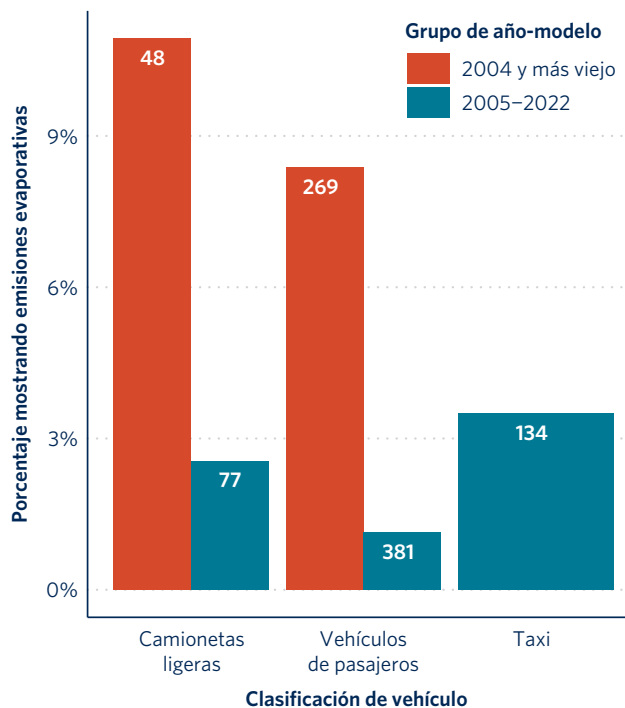


Figura 19. Proporción de vehículos a gasolina que mostraron emisiones evaporativas detectables e índice de emisiones evaporativas asociadas por clase de vehículo. El número de mediciones se muestra en cada barra.



Aunque la técnica para medir las emisiones evaporativas es relativamente nueva y su precisión todavía está siendo evaluada, estos resultados ofrecen información valiosa sobre qué partes de la flota requieren atención prioritaria para reducir las emisiones evaporativas. A medida que las emisiones promedio de HC provenientes del tubo de escape disminuyan por la renovación de la flota, será cada vez más importante abordar las emisiones evaporativas para limitar las emisiones de HC y los impactos asociados del O₃ en la calidad del aire.

CONCLUSIONES E IMPLICACIONES DE POLÍTICA PÚBLICA

Este estudio ofrece perspectivas clave sobre cómo la Ciudad de México puede mejorar la calidad del aire y mitigar los impactos negativos en la salud derivados de las emisiones vehiculares, mediante la implementación de políticas específicas. A través del análisis de aproximadamente 45,000 mediciones de teledetección de CO, HC, NO_x, humo UV y emisiones evaporativas, se derivan cuatro conclusiones principales:

- 1. Restringir la operación de un pequeño pero significativo porcentaje de vehículos de pasajeros antiguos y de altas emisiones, que generan un impacto desproporcionado en las emisiones, podría lograr reducciones considerables en la contaminación.** Los vehículos más antiguos son una minoría dentro de la flota analizada, pero su contribución a las emisiones totales es notable. Específicamente, el 50% de las emisiones de CO, HC, NO_x y humo UV proceden de vehículos de 14 a 17 años o más, que constituyen menos del 20% de la flota. Dar prioridad a la creación de una zona de bajas emisiones en el centro de la Ciudad de México para 2024, como propone el gobierno de la Ciudad de México, sería una medida eficaz para disminuir las emisiones de estos vehículos y, por ende, mejorar la calidad del aire. A partir de enero de 2024, el gobierno de la Ciudad de México transformó las calles alrededor de la plaza principal del Zócalo en una zona peatonal, con el objetivo de recuperar el espacio público, aumentar la seguridad vial y fomentar opciones de movilidad más sostenibles.⁵² El diseño de posibles fases para una zona de bajas emisiones podría basarse en los resultados de nuestro análisis para maximizar las reducciones de emisiones en la realidad. Para apoyar la implementación efectiva de dicha zona, será crucial la colaboración entre autoridades gubernamentales para compartir datos de registro de vehículos entre los estados.
- 2. Priorizar incentivos para retirar progresivamente de circulación los taxis altamente contaminantes mejoraría notablemente el desempeño promedio de emisiones reales de estos vehículos.** A pesar de contar con una flota de vehículos relativamente más nueva, las emisiones de los taxis fueron significativamente mayores en comparación con las de los vehículos de pasajeros, oscilando entre 2.2 y 3.1 veces mayores para todos los contaminantes. Para automóviles del mismo año modelo, los taxis exhibieron niveles de CO hasta 4 veces más altos, HC 5.6 veces más altos, NO_x 6.9 veces más altos y niveles de humo UV 10.4 veces más altos que los vehículos de pasajeros. Una gran parte de los extremadamente altos promedios de NO_x de los taxis se puede atribuir al Nissan Tsuru, que

⁵² "Conquistamos el principal Espacio Público de México con la Peatonalización del Zócalo Capitalino: Martí Batres," Secretaría de Obras y Servicios, 2024, <https://www.obras.cdmx.gob.mx/comunicacion/nota/conquistamos-el-principal-espacio-publico-de-mexico-con-la-peatonalizacion-del-zocalo-capitalino-marti-batres>.

emitió hasta 2.6 veces más emisiones de NO_x en comparación con otros taxis del mismo año. Informar a las flotas de taxis y a las empresas de transporte compartido mediante aplicaciones móviles sobre los resultados de los modelos de vehículos con altas emisiones puede facilitar su transición hacia modelos más limpios. Además, la Ciudad de México podría considerar expandir sus programas de reembolsos para acelerar aún más el reemplazo del Nissan Tsuru por alternativas de cero y bajas emisiones. La aceleración del reemplazo de vehículos de altas emisiones requiere la colaboración de las agencias gubernamentales con los fabricantes de equipos originales, las flotas de taxis y las empresas de transporte compartido mediante aplicaciones móviles, asegurando que los incentivos y las opciones de financiamiento estén dirigidos a los vehículos más limpios y eficientes.

- 3. Evaluar el PVVO en todos los estados para armonizar los programas de inspección y mantenimiento ayudaría a reducir las diferencias en las emisiones reales de los vehículos registrados en distintos estados.** Los vehículos de pasajeros registrados en el Estado de México presentan emisiones más altas que aquellos registrados en la Ciudad de México, especialmente los vehículos más antiguos. En particular, a pesar de representar solo el 7% de la flota muestreada, los vehículos de pasajeros del periodo entre 1994 y 2005 registrados en el Estado de México aportan entre el 25% y el 42% de las emisiones totales de todos los contaminantes. En comparación, los automóviles de la Ciudad de México del mismo rango de antigüedad representaron el 3% de la flota muestreada y contribuyeron con una parcela aproximadamente proporcional de las emisiones (4%-5%). Dado que la Ciudad de México y el Estado de México tienen actualmente los mismos requisitos del PVVO, las autoridades mexicanas pueden examinar si los mecanismos de inspección y aplicación de la ley se están aplicando de manera uniforme en todas las jurisdicciones. Asegurar que los programas en todos los estados de la región de la Megalópolis estén armonizados puede ayudar a mejorar las emisiones de toda la flota de vehículos que opera en la ZMVM. Los programas también pueden beneficiarse de una mayor transparencia de los datos para respaldar el cumplimiento y la aplicación de la ley mediante la identificación de vehículos con altas emisiones u otros resultados no deseados. En Costa Rica, por ejemplo, un programa obligatorio de

inspección y mantenimiento conocido como RITEVE incluye informes detallados de los resultados de las pruebas por categoría de vehículo, permitiendo que los formuladores de políticas de todas las agencias tengan una visión clara de los segmentos de la flota con mayores emisiones.⁵³ Además, las autoridades podrían considerar realizar un análisis detallado de la eficacia del diseño del PVVO para garantizar que todos los programas locales funcionen correctamente y brinden los mismos beneficios. Esto puede respaldarse mediante la creación de una base de datos sólida y actualizada de información de registro y mecanismos de colaboración para apoyar la implementación de políticas locales.

- 4. Las regulaciones, incentivos y campañas de sensibilización locales pueden acelerar la transición hacia vehículos nuevos de bajas o nulas emisiones.** Además de retirar de circulación los vehículos antiguos y más contaminantes, es clave asegurar que los vehículos nuevos cumplan con bajos niveles de emisiones en condiciones reales. Las normas nacionales de emisiones para vehículos ligeros no se han actualizado en 20 años, resultando en vehículos nuevos y en circulación más contaminantes que aquellos que cumplen con normas de estándar mundial como la Tier 3. Además, una propuesta reciente que busca relajar las restricciones límites de NO_x podría debilitar aún más las regulaciones sobre vehículos nuevos si se implementa. Aunque los gobiernos locales pueden establecer regulaciones más estrictas, esto resulta más desafiante y requiere armonización entre varios estados. Por lo tanto, el papel de la CAME como organismo coordinador es crucial para lograr mayores reducciones de emisiones en espera de actualizaciones regulatorias a nivel nacional. Hacer la transición a vehículos de cero emisiones es otra estrategia clave para mejorar drásticamente las emisiones del transporte ante la debilidad de las regulaciones nacionales. Las zonas de bajas emisiones pueden diseñarse para acelerar la descarbonización del transporte estableciendo cronogramas que solo permitan el ingreso de vehículos de cero emisiones a determinadas áreas. Los gobiernos locales podrían ofrecer incentivos financieros y no financieros, promover la planificación e instalación de infraestructura de recarga eléctrica y

⁵³ "Informe de RTV del 1er Semestre 2019", RITEVE, consultado el 30 de septiembre de 2023, <https://www.rtv.co.cr/en/report-of-rtv-of-the-i-semester-2019/>.

aumentar la conciencia pública sobre los beneficios de los vehículos de cero emisiones.

Nuestro análisis también señala oportunidades para realizar estudios adicionales en varias áreas. Por ejemplo, el análisis comparativo de las mediciones de esta campaña con la campaña de teledetección realizada por la CAME en marzo y junio de 2022 podría proporcionar una visión más integral de las emisiones de la flota vehicular. Mientras tanto, aunque este estudio aportó

cierta información sobre las emisiones evaporativas de los vehículos, investigaciones futuras que empleen métodos de prueba más precisos podrían ofrecer datos más detallados para informar las políticas dirigidas a reducir las emisiones evaporativas y, por ende, la contaminación del aire por O₃. Finalmente, las autoridades gubernamentales, tanto nacionales como locales, podrían investigar más a fondo los modelos de vehículos con altas emisiones identificados en este informe.

APÉNDICE A: EMISIONES DETALLADAS DE VEHÍCULOS DE PASAJEROS POR MODELO DE VEHÍCULO

Los resultados presentados a continuación muestran los promedios de CO, HC, NO_x y humo UV por marca y modelo de vehículo, limitados a aquellos certificados según la norma de emisiones más reciente (vehículos año-modelo 2004 y posteriores). Los vehículos se han agrupado por tamaño de motor cuando ha sido posible, aunque esta información faltaba en algunos casos. Solo se incluyen modelos de vehículos que cuentan con al menos 100 mediciones.

Figura A1. Emisiones de CO por marca y modelo de vehículo para vehículos de pasajeros modelo 2004 y posteriores. Las barras de error representan intervalos de confianza del 95%.

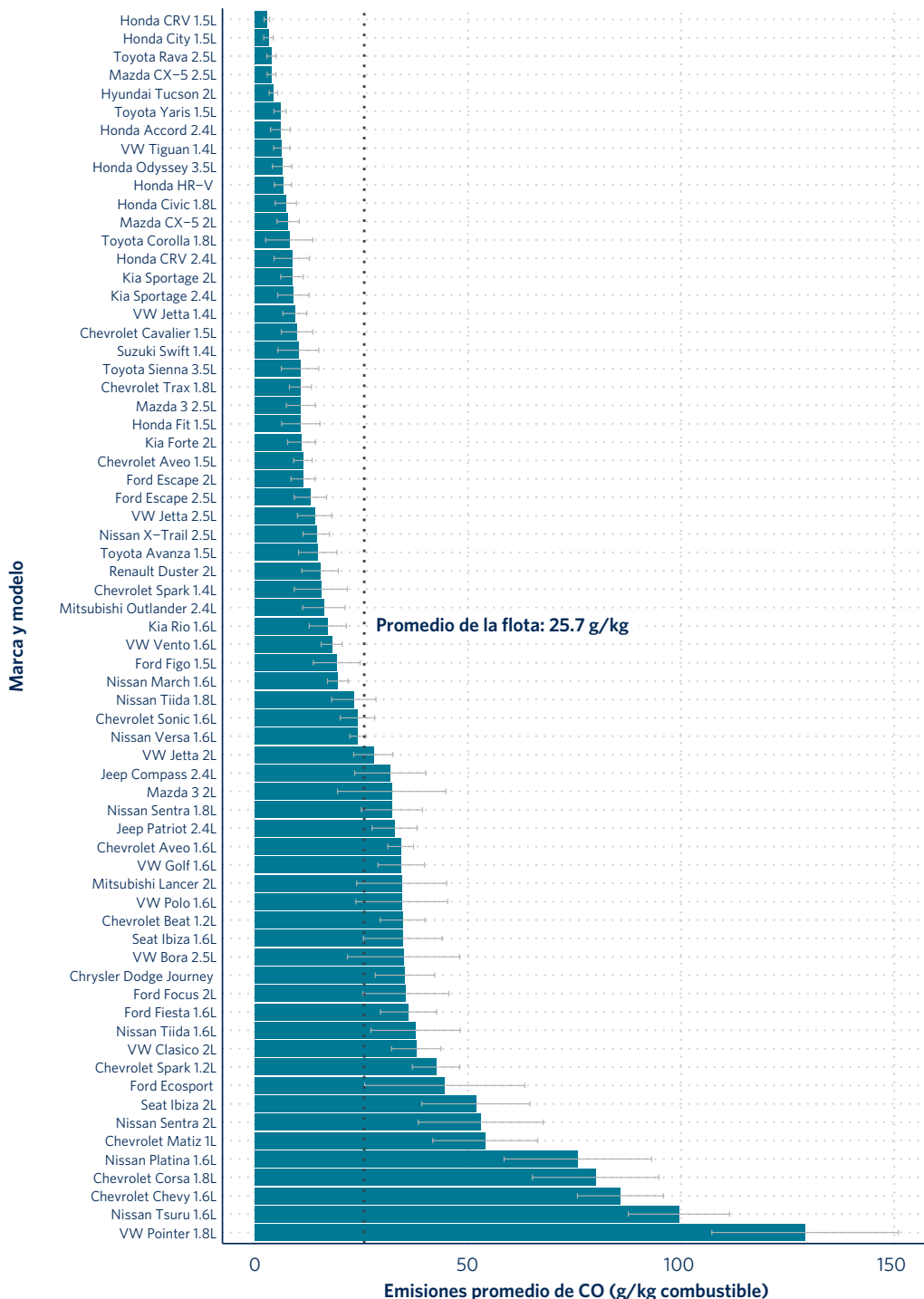


Figura A2. Emisiones de HC por marca y modelo de vehículo para vehículos de pasajeros modelo 2004 y posteriores. Las barras de error representan intervalos de confianza del 95%.

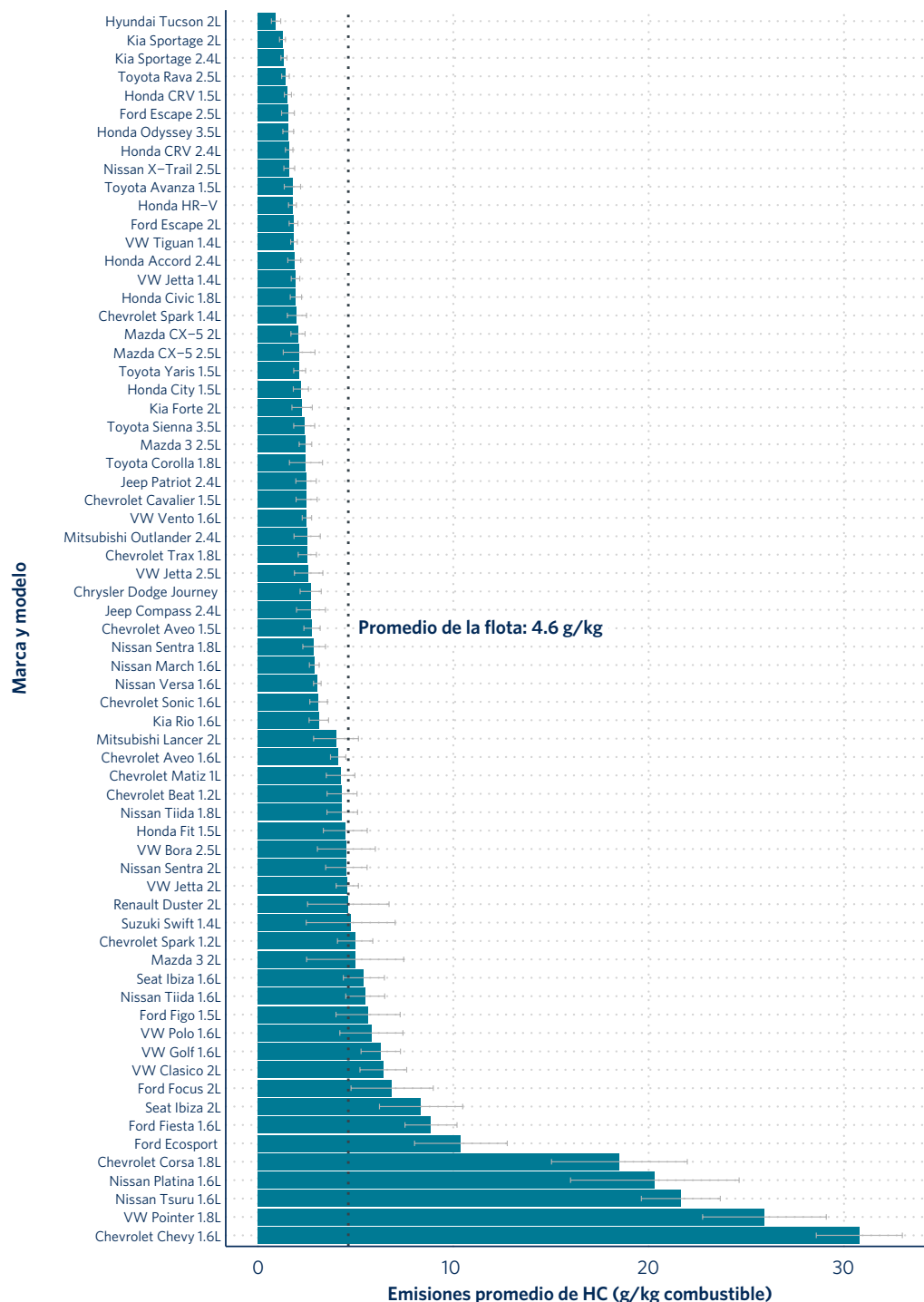


Figura A3. Emisiones de NO_x por marca y modelo de vehículo para vehículos de pasajeros modelo 2004 y posteriores. Las barras de error representan intervalos de confianza del 95%.

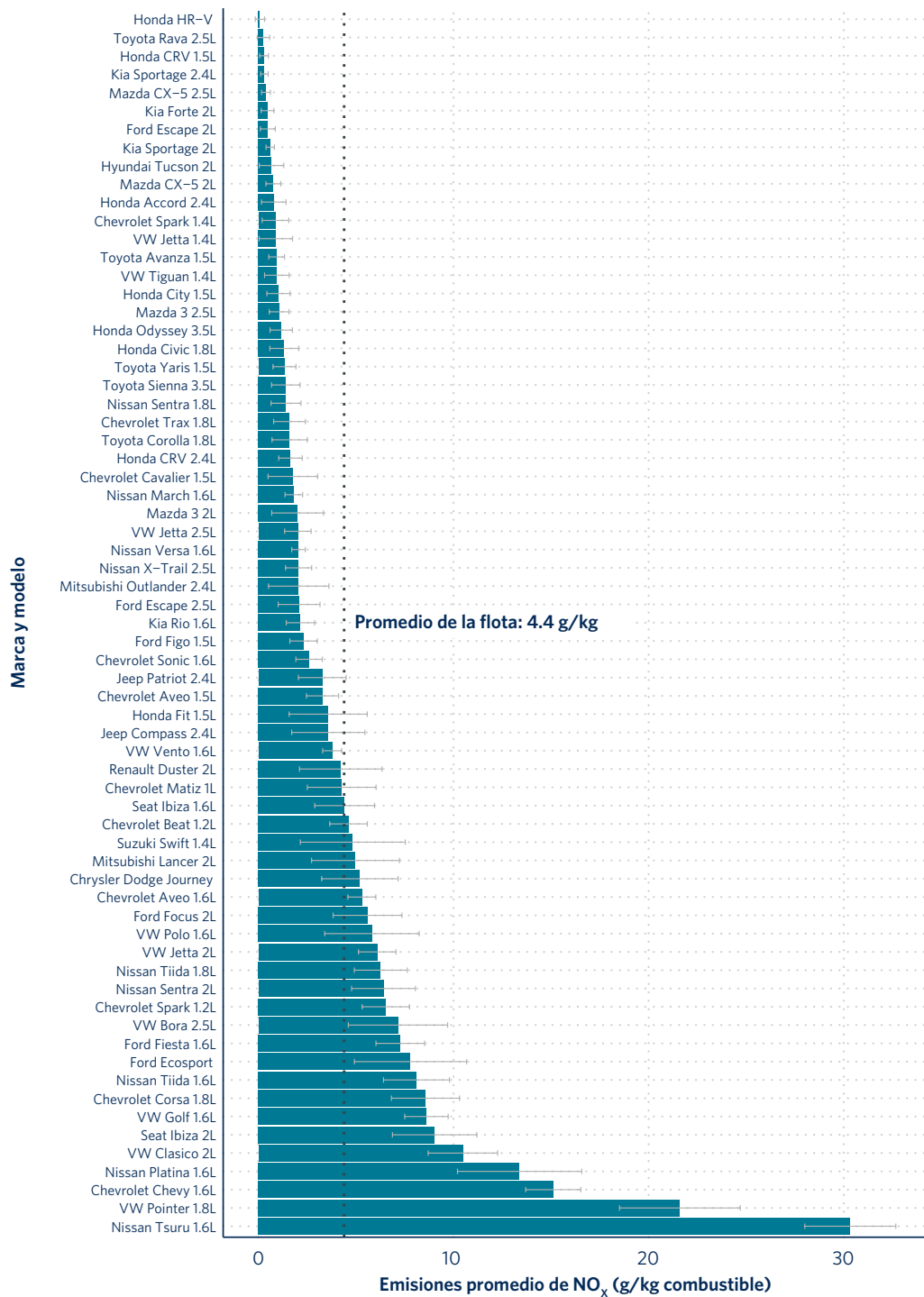
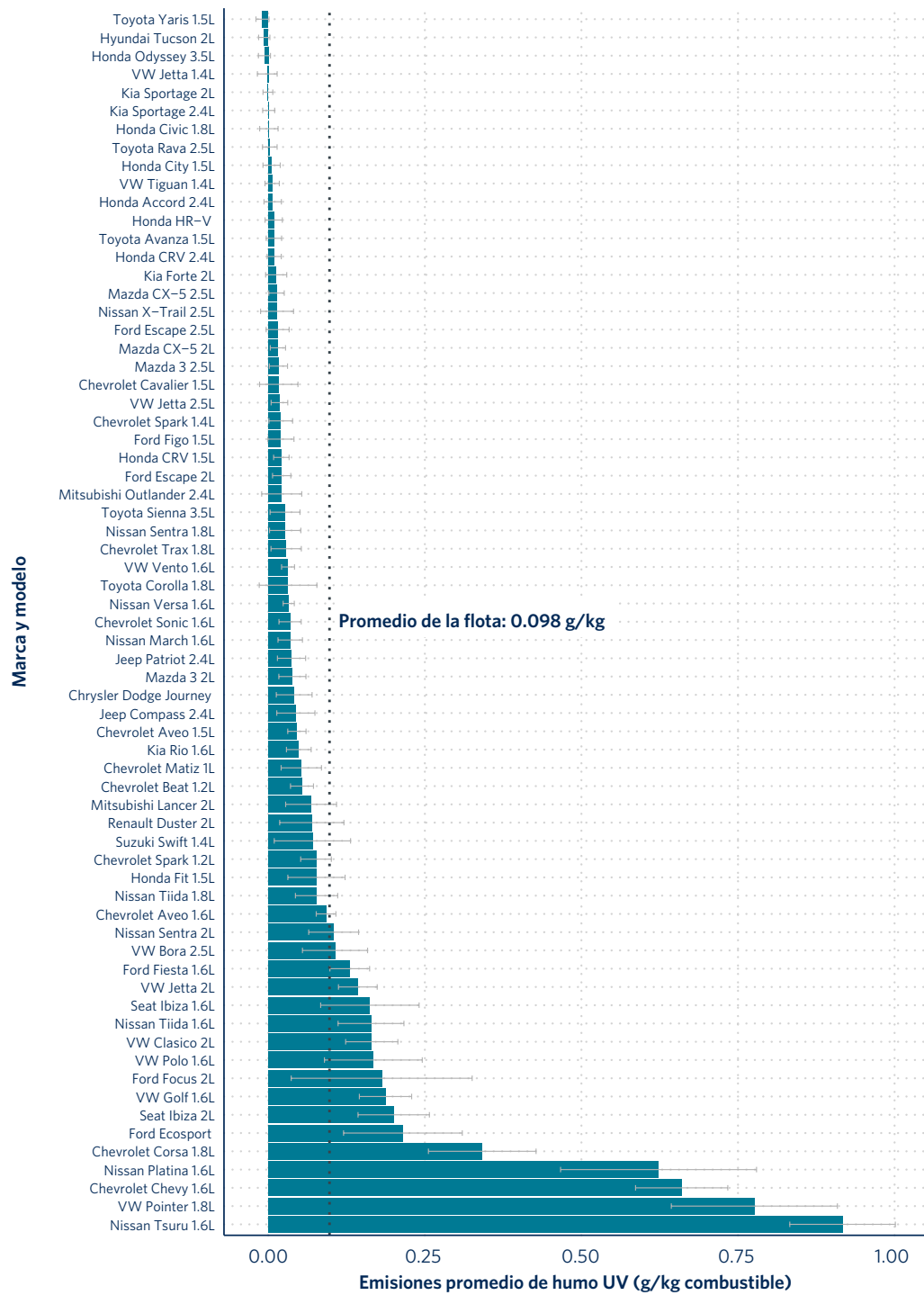


Figura A4. Emisiones de humo UV por marca y modelo de vehículo para vehículos de pasajeros modelo 2004 y posteriores. Las barras de error representan intervalos de confianza del 95%.



APÉNDICE B: EMISIONES DETALLADAS DE TAXIS POR MODELO DE VEHÍCULO

Los resultados a continuación muestran los resultados de los promedios de CO, HC, NO_x y humo UV por marca y modelo de taxis. Los resultados se han organizado en dos grupos según el año-modelo —2017 y anteriores, y 2018 en adelante— para facilitar la comparación entre los modelos de vehículos. Se seleccionó ese año de corte porque marca el último año de producción del Nissan Tsuru, el modelo de taxi más prevalente. Solo se incluyen modelos de vehículos que cuentan con al menos 100 mediciones.

Figura B1. Emisiones de CO por marca y modelo de taxi. Las barras de error representan intervalos de confianza del 95%.

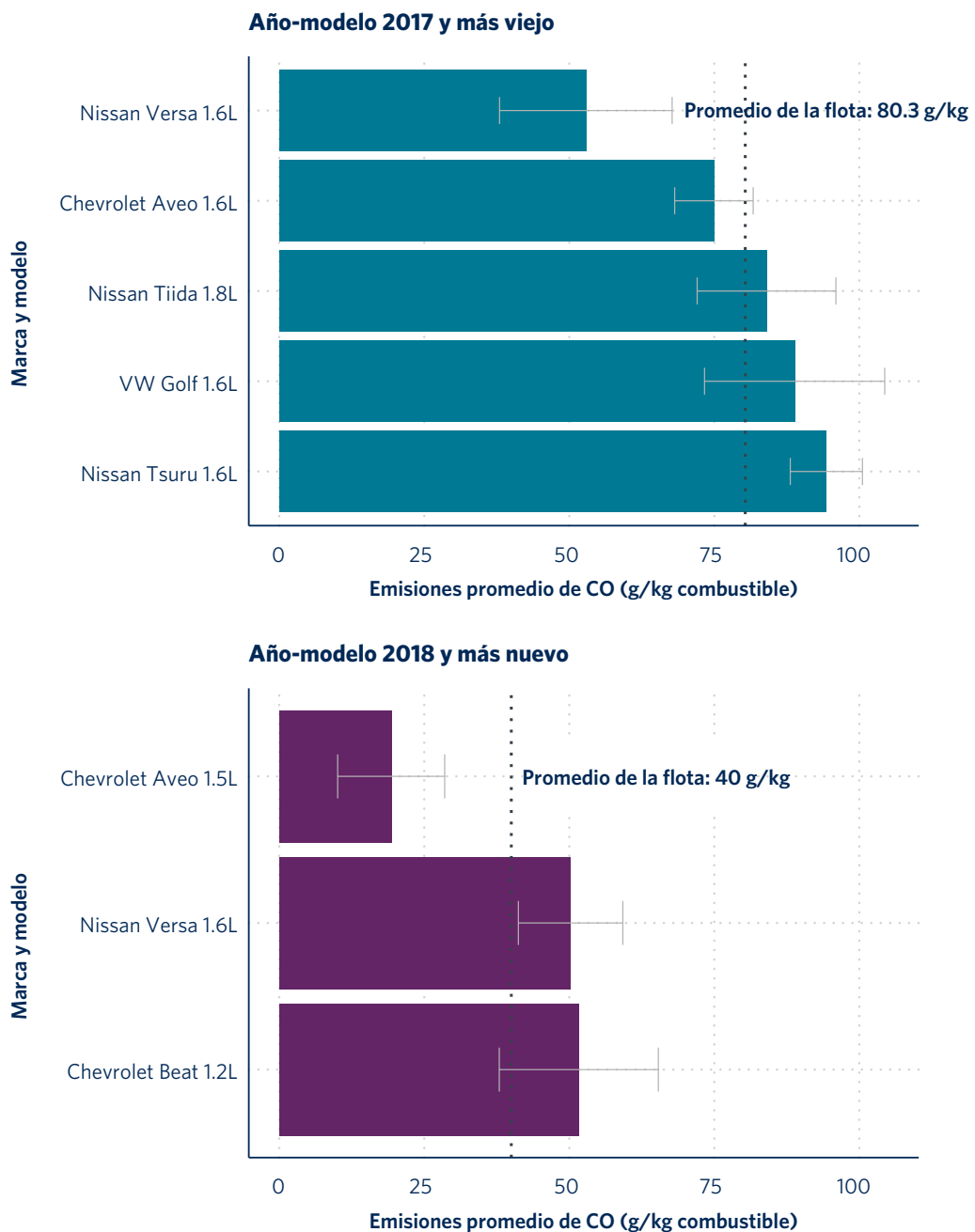


Figura B2. Emisiones de HC por marca y modelo de taxi. Las barras de error representan intervalos de confianza del 95%.

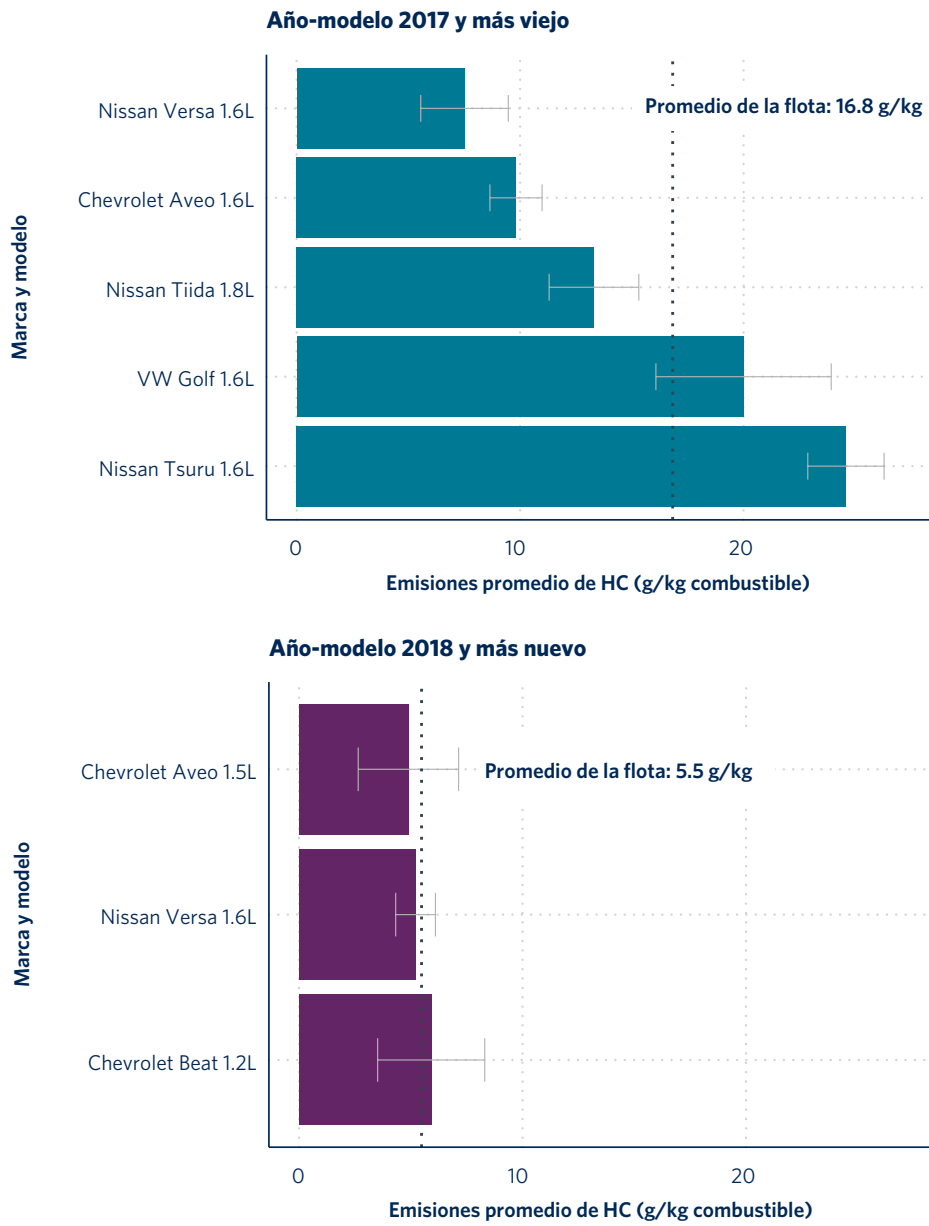
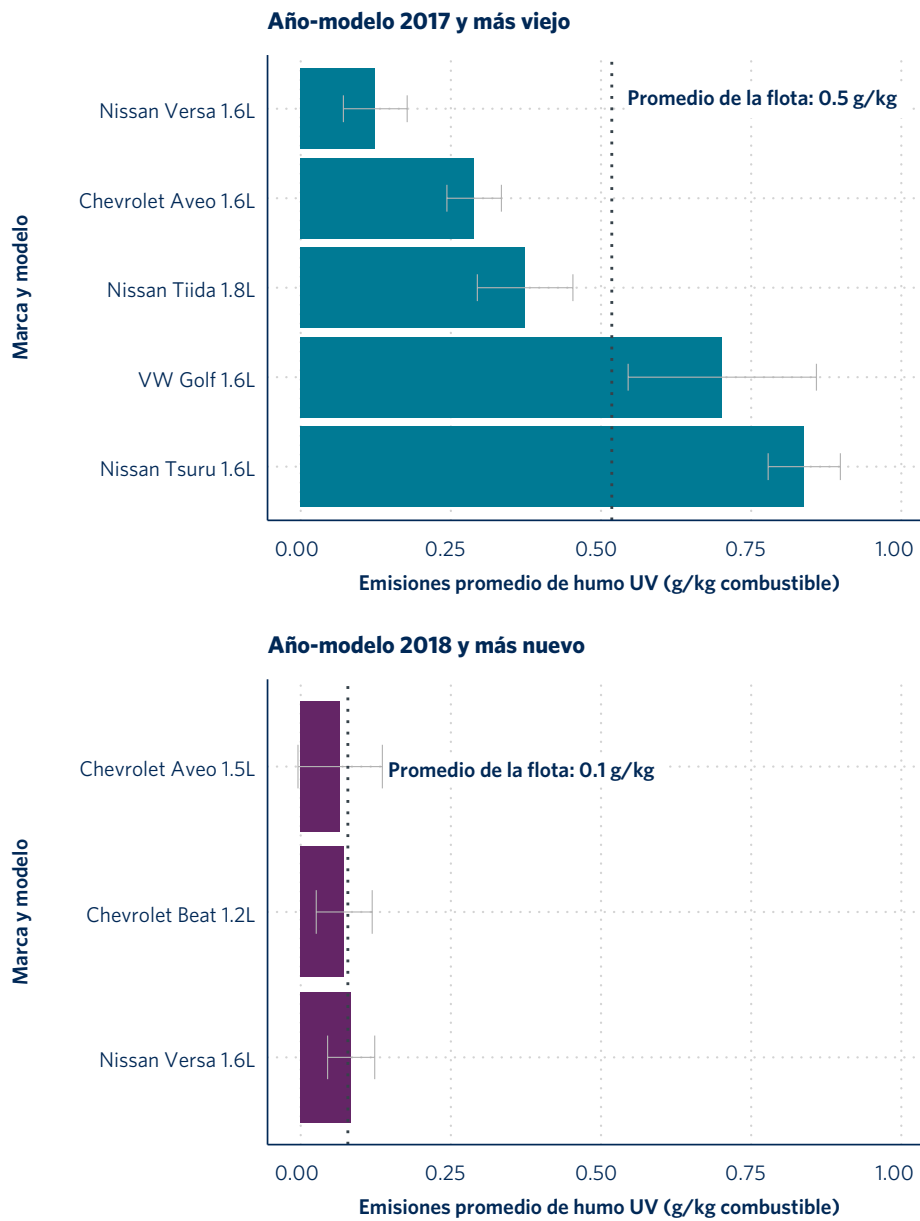


Figura B3. Emisiones de NO_x por marca y modelo de taxi. Las barras de error representan intervalos de confianza del 95%.



Figura B4. Emisiones de humo UV por marca y modelo de taxi. Las barras de error representan intervalos de confianza del 95%.





TRUE—The Real Urban Emissions Initiative

FIA Foundation, 60 Trafalgar Square, London WC2N 5DS, United Kingdom

For more information contact: Yoann Bernard, y.bernard@theicct.org

[@TRUE_Emissions](https://twitter.com/TRUE_Emissions)

www.trueinitiative.org