

Emisiones contaminantes de vehículos ligeros en América del Norte: Un análisis comparativo

Kira O'Hare, Michelle Meyer y Yoann Bernard

Un informe reciente sobre las emisiones reales de vehículos en la Ciudad de México marcó un hito importante para la Iniciativa The Real Urban Emissions (TRUE), un resultado de la primera campaña con sensor remoto en América Latina.¹ Con la campaña en la Ciudad de México, TRUE ahora cuenta con datos de emisiones reales para todas las principales regiones de América del Norte. La base de datos de los Estados Unidos compilada previamente incluye más de 70 millones de mediciones de vehículos en Colorado y Virginia.² Asimismo, TRUE aprovecha los datos de sensor remoto proporcionados por la Clean Air Strategic Alliance (CASA), de su reciente campaña ROVER III en Alberta, Canadá.³ Estas bases de datos complementarias—que comprenden emisiones de hidrocarburos (HC), monóxido de carbono (CO) y óxido de nitrógeno (NO)—permiten llevar a cabo un análisis comparativo de las emisiones reales de los vehículos ligeros (LDV, por su sigla en inglés) a través del continente.

Las bases de datos capturan una amplia gama de características de conducción que son representativas de los vehículos en operación real.⁴ La Figura 1 da un panorama general de cada base de datos. El equipo de sensor remoto registró un número limitado de LDV diésel, que representan menos de 1% del total de los datos recolectados en la mayoría de las ubicaciones. En consecuencia, este análisis se enfoca en los LDV a gasolina, que comprenden las camionetas ligeras (CL), vehículos de pasajeros (VP) y taxis. Si bien las condiciones de conducción observadas fueron relativamente comparables en todas las ubicaciones, en la Ciudad de México se obtuvieron mediciones con temperaturas ambientales más altas y velocidad y aceleración más bajas que en los otros tres conjuntos de datos. Además, en promedio, los sitios de medición en la Ciudad de México y Colorado estaban a mayor altitud en comparación con los otros sitios, lo que se refleja en mediciones con menor presión atmosférica.

1 Michelle Meyer et al., *Evaluación de las Emisiones Reales de Vehículos de Pasajeros y Taxis en la Ciudad de México* (Iniciativa TRUE, 2024), <https://theicct.org/publication/es-assessment-of-real-world-passenger-vehicle-and-taxi-emissions-in-mexico-city-july24/>.

2 Michelle Meyer et al., *Particulate Matter Emissions from U.S. Gasoline Light-Duty Vehicles and Trucks* (Iniciativa TRUE, 2023), <https://www.trueinitiative.org/publications/reports/particulate-matter-emissions-from-us-gasoline-light-duty-vehicles-and-trucks>.

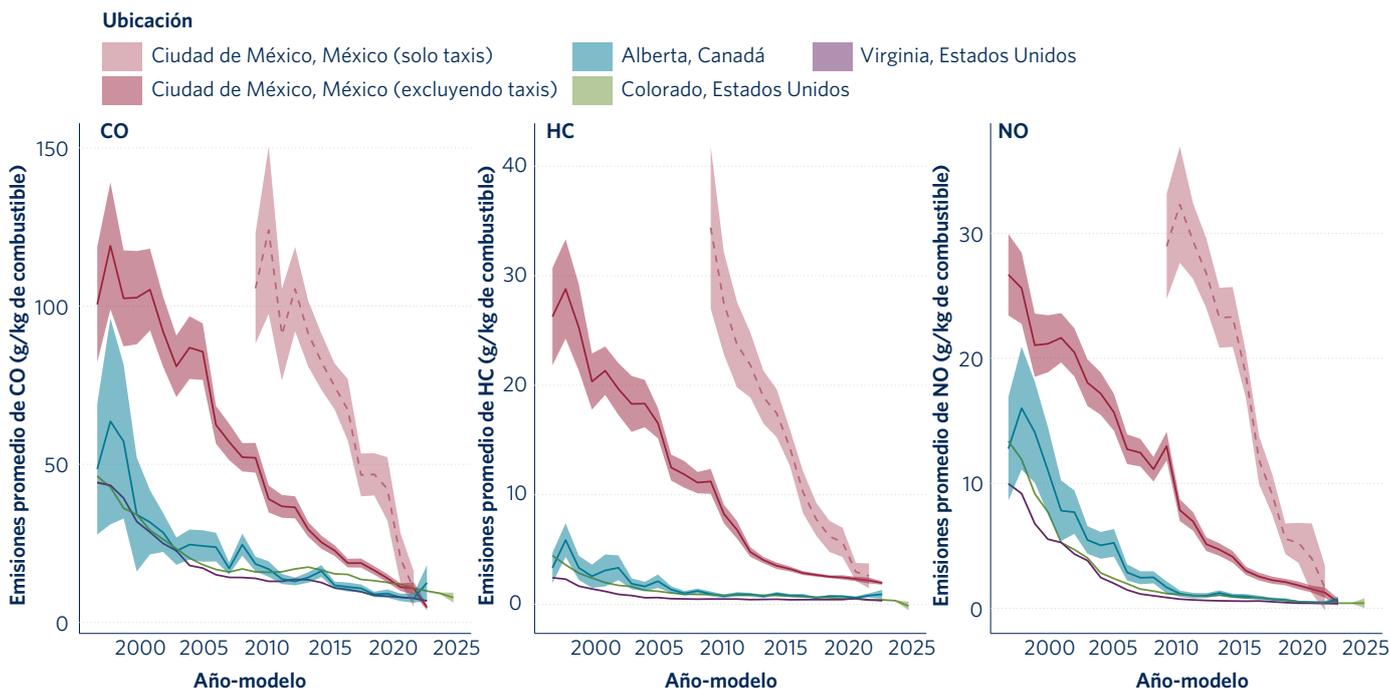
3 Rob Klausmeier y Niranjana Vescio, *Roadside Optical Vehicle Emissions Reporter III: A Survey of On-Road Light and Heavy-Duty Vehicle Emissions* (Clean Air Strategic Alliance, 2023), [https://www.casahome.org/uploads/source/ROVER_III_Opus_Report-Final_Nov_2023_\(amended\)_v.2.pdf](https://www.casahome.org/uploads/source/ROVER_III_Opus_Report-Final_Nov_2023_(amended)_v.2.pdf).

4 Para este análisis, consideramos únicamente mediciones utilizando la instrumentación Opus modelo RSD5000. Esto excluye las mediciones de Colorado de 2010 a 2014, que se capturaron utilizando un modelo anterior.

Figura 1. Resumen de mediciones y condiciones ambientales y de conducción, por ubicación

Métrica	Alberta, Canadá	Colorado, Estados Unidos	Virginia, Estados Unidos	Ciudad de México, México
Número de mediciones	30,012	21,679,943	7,352,329	44,655
Número de sitios	15	186	200	21
Número de mediciones por año				
Proporción de mediciones por categoría vehicular (%)				
Número de mediciones por temperatura ambiente (°C)				
Número de mediciones por presión atmosférica ambiental (kPa)				
Aceleración (km/h/s) por velocidad (km/h)				

Figura 2. Emisiones promedio por año-modelo para los LDV a gasolina en cada región



Nota: Las áreas sombreadas representan el intervalo de confianza de 95%.

La Figura 2 resume las tendencias de emisiones para HC, CO y NO por año-modelo para los LDV a gasolina en los cuatro mercados, así como para taxis en la Ciudad de México. Entre los vehículos año-modelo 1997 a 2022, se observa una reducción constante y sustancial de al menos el 70% en las emisiones promedio de la flota para cada contaminante en todas las ubicaciones. Cabe destacar que, debido a las limitaciones de los datos, no fue posible distinguir los taxis de la categoría general de los VP en los conjuntos de datos de Alberta, Colorado y Virginia, por lo que no se presentan por separado. Sin embargo, la Ciudad de México tiene una de las mayores flotas de taxis en el mundo (aproximadamente 10 veces más grande que la flota de taxis de la Ciudad de Nueva York), lo que resalta la importancia de esta distinción para el perfil de emisiones de la Ciudad de México.⁵

Las tendencias de emisiones de contaminantes en Alberta, Virginia y Colorado están estrechamente alineadas, lo que refleja la adopción por parte de Canadá de los estándares de emisiones de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA, por su sigla en inglés) desde 1988.⁶ Sin embargo, persisten variaciones en las tendencias entre las regiones debido a varios factores, entre ellos, la composición de la flota, las condiciones de conducción, las condiciones ambientales, las tasas de deterioro de los vehículos y las diferencias en los programas de inspección y mantenimiento. Es de destacar que las mediciones de los LDV año-modelo

2015 y posteriores en Colorado muestran emisiones de CO entre 21% y 35% más altas que las de Alberta y Virginia. Esta tendencia se puede atribuir en parte a la mayor altitud de Colorado, lo que resulta en una menor presión atmosférica. Las emisiones de CO tienden a aumentar a una presión atmosférica más baja debido a los efectos combinados de un mayor consumo de combustible y una menor eficiencia en el proceso de combustión.⁷ Otros factores pueden incluir las diferentes composiciones de las flotas y diferencias en sus programas de inspección y mantenimiento. Además, los vehículos más antiguos que el año-modelo 2010 en Alberta muestran niveles elevados de NO, en promedio 1.5 veces más altos que los de Colorado y 1.9 veces superiores a los de Virginia. Esto sugiere que los LDV más antiguos de Alberta pueden experimentar mayores niveles de deterioro o falla en comparación con los de Colorado y Virginia. Tanto Colorado como Virginia han implementado medidas preventivas mediante los programas de inspección y mantenimiento para abordar las emisiones de vehículos altamente contaminantes. La altitud también puede influir las altas emisiones de NO en Alberta, aunque estudios han sugerido que esta tendencia es más compleja debido a la influencia de factores como la temperatura ambiente y del motor, así como la eficiencia de los recubrimientos del catalizador de tres vías.⁸

Los vehículos en la Ciudad de México mostraron mayores emisiones para todos los contaminantes en comparación con las otras regiones analizadas. Sin embargo, las emisiones

5 Pino Bonetti, "Mexico City Modernizes Huge Taxi Fleet with HERE and LIBRE," *HERE360 News (blog)*, HERE Technologies, 17 de noviembre de 2017, <https://www.here.com/learn/blog/mexico-city-modernizes-huge-taxi-fleet-with-here-and-libre>.

6 "Canada: Light-Duty: Emissions," *TransportPolicy.net*, consultado el 28 de marzo de 2024, <https://www.transportpolicy.net/standard/canada-light-duty-emissions/>.

7 Zhiwen Jiang et al., "Investigating the Impact of High-Altitude on Vehicle Carbon Emissions: A Comprehensive On-Road Driving Study," *Science of The Total Environment* 918 (2024): 170671, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.170671>.

8 Jiang et al., "Investigating the Impact of High-Altitude."

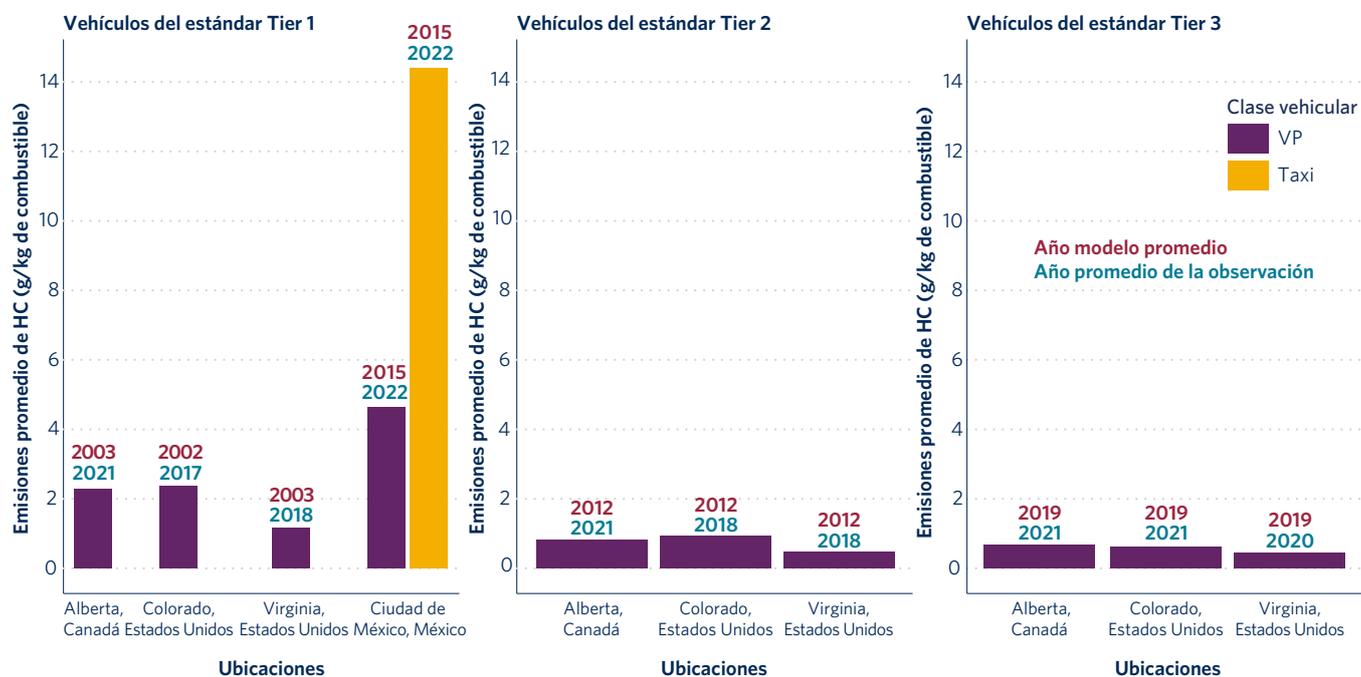
han mostrado una disminución notable en los vehículos año-modelo más recientes, alcanzando niveles similares a los de las otras regiones para algunos de los contaminantes. Los LDV anteriores al año-modelo 2005 en la Ciudad de México presentaron niveles de CO aproximadamente 3.3 veces superiores y niveles de NO 4.2 veces superiores que los de Virginia. Sin embargo, hacia el año-modelo 2022, los promedios de las emisiones de CO y NO de los vehículos en la Ciudad de México son similares a aquellos de los vehículos medidos en Estados Unidos y Canadá. Esta tendencia no se mantiene para las emisiones de HC. Incluso los LDV más nuevos de Ciudad de México mostraron niveles de HC más altos que los de los LDV de año-modelo 1999 de Virginia y de año-modelo 2002 en Colorado. La gasolina de México contiene niveles más altos de azufre debido a la disponibilidad del combustible y, en consecuencia, contribuye a las elevadas emisiones de HC y acelera el deterioro de las emisiones observadas para todos los contaminantes.⁹ Los sitios de medición en la Ciudad de México también presentaron las presiones atmosféricas más bajas de todos los lugares de muestreo, lo que influyó aún más en las mayores emisiones de HC y CO de los vehículos año-modelo más recientes. Los taxis de la Ciudad de México muestran emisiones similares a las de otros LDV de la misma ciudad 10 años más antiguos, lo que resulta en que las emisiones de los vehículos son, en promedio, entre 2.7 y 3.9 veces mayores que las de los otros LDV (no taxis). Solo los

taxis más nuevos, del año-modelo 2022, muestran niveles de emisiones a la par con los otros LDV (no taxis).

Para evaluar mejor el desempeño de las emisiones en las distintas ubicaciones, comparamos las emisiones de HC entre los vehículos que cumplen con estándares de emisiones iguales o equivalentes. Los estándares de emisiones actuales de México, actualizados por última vez en 2005, están más estrechamente alineados con los estándares Tier 1 de los Estados Unidos.¹⁰ Mientras tanto, el estándar de emisiones actual de los Estados Unidos y Canadá es el Tier 3. La Figura 3 muestra las emisiones promedio de HC para los VP en las diferentes ubicaciones, clasificadas por estándar de emisiones e incluyendo los taxis de la Ciudad de México. Es de destacar que, a pesar de que los VP de la Ciudad de México son, en promedio, 12 años más nuevos que los de Estados Unidos y Canadá, sus emisiones de HC son de 2 a 4 veces mayores, respectivamente. La disparidad es aún mayor para los taxis de la Ciudad de México, que emiten de 6 a 12 veces más HC que los VP de los Estados Unidos y Canadá.

Las mayores emisiones de HC entre los vehículos de la Ciudad de México están ligadas al problema de las emisiones evaporativas, o emisiones de HC relacionadas con la evaporación y fuga del combustible a la atmósfera. Un estudio previo con sensor remoto que comparó

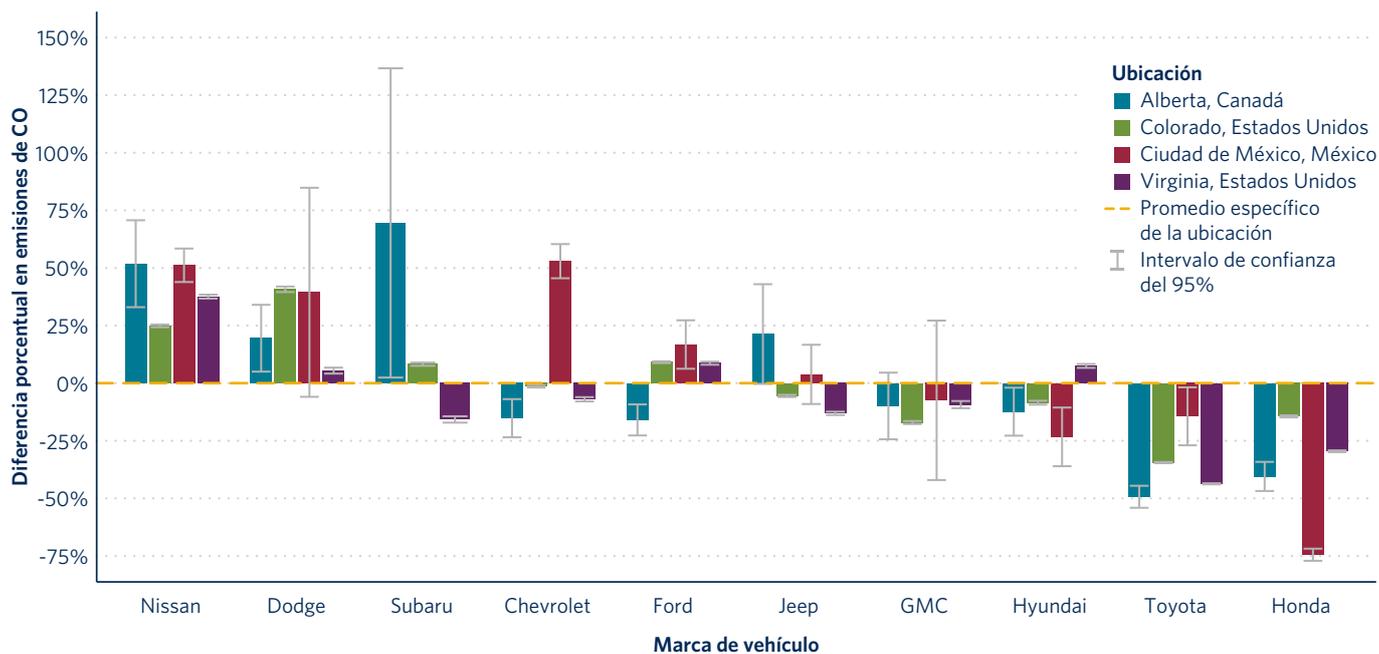
Figura 3. Emisiones promedio de HC por kilogramo de combustible quemado por estándar de emisiones, ubicación y clase vehicular



9 Katherine O. Blumberg, Michael P. Walsh y Charlotte Pera, *Low-Sulfur Gasoline & Diesel: The Key to Lower Vehicle Emissions* (International Council on Clean Transportation, 2003), <https://theicct.org/publication/low-sulfur-gasoline-and-diesel-the-key-to-lower-vehicle-emissions/>; Meyer et al., *Evaluación de las Emisiones Reales*.

10 "Mexico: Light-Duty: Emissions," TransportPolicy.net, consultado el 22 de abril de 2024, <https://www.transportpolicy.net/standard/mexico-light-duty-emissions/>.

Figura 4. Diferencia en emisiones de CO respecto al promedio específico de la ubicación por marca de vehículo



Nota: La figura muestra los fabricantes que representan al menos el 5% de la flota vehicular, excluyendo taxis.

diferentes conjuntos de datos de Colorado y la Ciudad de México encontró que la relación entre las emisiones de HC y las emisiones de CO para los vehículos promedio de la Ciudad de México se alineaba con los resultados de una muestra de vehículos de Colorado que se identificaron por tener emisiones evaporativas excesivas.¹¹ Como se señaló anteriormente, los niveles más altos de azufre en la gasolina de México también contribuyen a mayores emisiones de HC y a un deterioro más rápido de las emisiones.

Los resultados de Canadá y los Estados Unidos ofrecen evidencia útil para abordar las emisiones de HC, precursoras de la contaminación por ozono, que en la Ciudad de México se ve exacerbada por la elevada altitud de la región, su ubicación en una cuenca y la intensa radicación solar.¹² La transición del estándar Tier 1 al Tier 2 en Alberta, Colorado y Virginia condujo a reducciones relativas de HC de 60%–64%, lo que subraya la importancia de adoptar las regulaciones Tier 2. Los cambios subsiguientes del estándar Tier 2 al Tier 3 en Virginia y Alberta produjeron reducciones adicionales de HC de 15%–17%, lo que indica que la mayor parte de la mitigación de las emisiones se produce sólo con la adopción del estándar Tier 2. Estos resultados sugieren que en la Ciudad de México y sus alrededores pueden reducir significativamente las emisiones vehiculares de HC adoptando un estándar de emisiones más estricto, como el Tier 2, y avanzando hacia una gasolina con un contenido ultra bajo de azufre.

11 John Koupal y Cindy Palacios, "Analysis of 2019 Mexico City RSD HC Levels" [Memorandum a Tim Dallmann y Leticia Pineda], 1 de marzo de 2021, https://theicct.org/wp-content/uploads/2022/04/ERG_Mexico-City-2019-RSD-Analysis_Updated-March-1_Clean.pdf.

12 Meyer et al., *Evaluación de las Emisiones Reales*.

Por último, examinamos el desempeño de marcas específicas de LDV, excluyendo los taxis, en varias ubicaciones de América del Norte. La Figura 4 muestra el comportamiento de las emisiones de CO de las marcas de vehículo más comunes. Los hallazgos se presentan como la diferencia porcentual de las emisiones promedio de CO de la flota para vehículos Tier 2 y Tier 3 de los Estados Unidos y Canadá, así como para los vehículos del año modelo 2006 y más nuevos en la Ciudad de México. Enfatizamos los resultados de las emisiones de CO debido a la consistencia de sus patrones entre las ubicaciones, y mostramos las marcas con mayores y menores emisiones. Consulte el apéndice para ver los resultados de las emisiones de HC y NO por marca.

Nissan emerge como la marca de vehículos con mayores emisiones en todas las ubicaciones, exhibiendo emisiones de CO entre 25% y 50% más altas que el promedio en todas las ubicaciones. Los vehículos Dodge también muestran emisiones de CO consistentemente superiores al promedio en al menos dos de las cuatro regiones. Los resultados de Subaru y Ford difieren según la ubicación, pero muestran emisiones de CO superiores al promedio en al menos dos de las cuatro regiones. Chevrolet se destaca como el único fabricante con resultados sustancialmente diferentes en la Ciudad de México en comparación con las otras tres regiones. Por el contrario, dos de las marcas más populares, Toyota y Honda, muestran las emisiones de CO más bajas en todas las ubicaciones, aproximadamente entre 15% y 75% por debajo del promedio.

La expansión de los proyectos de la Iniciativa TRUE a nuevas ciudades y regiones permite realizar más comparaciones entre ubicaciones. Estos análisis comparativos proporcionan

información sobre la evolución de las emisiones a lo largo del tiempo, el impacto de los estándares regulatorios y el desempeño de los vehículos. Los hallazgos de este análisis comparativo de América del Norte ilustran la importancia de adoptar regulaciones de emisiones y de combustible de clase mundial en México, lo que resultaría en menores emisiones durante la vida útil de los vehículos. Más aún, la comparativa entre las marcas de los vehículos revela diferencias significativas en las emisiones, destacando el potencial de los consumidores para ayudar a reducir las emisiones mediante sus decisiones de compra.

APÉNDICE

EMISIONES POR MARCA DE VEHÍCULOS LIGEROS

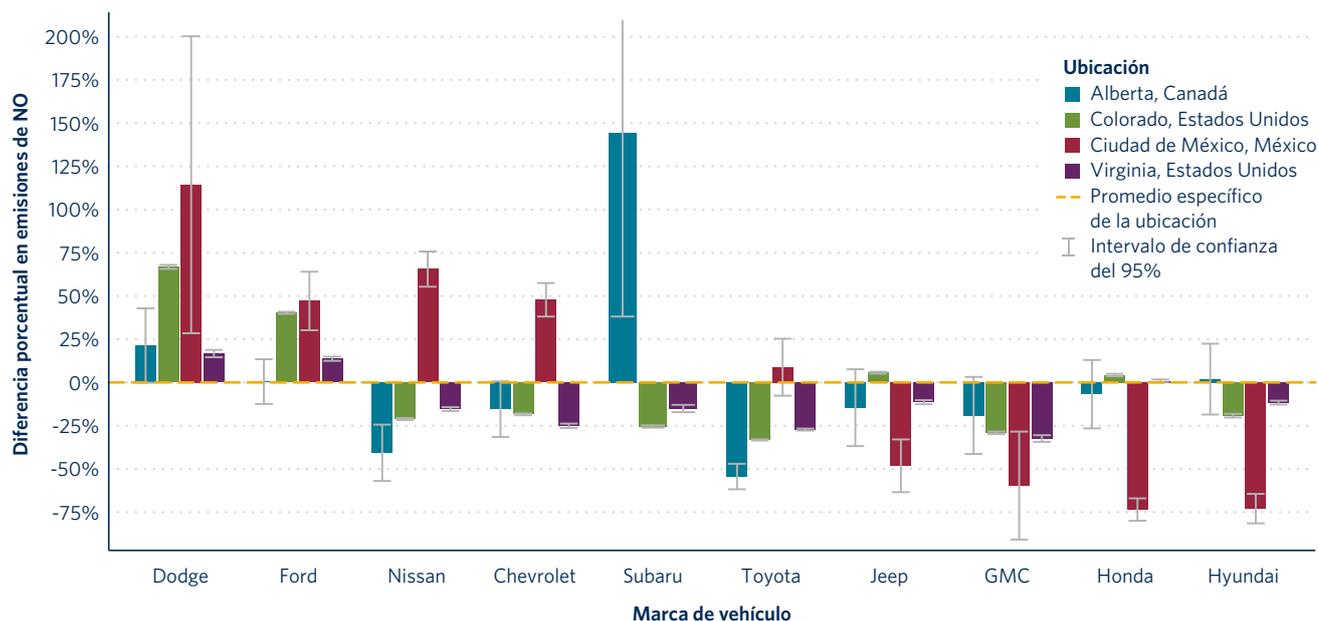
Esta sección se basa en la discusión anterior sobre las emisiones de CO para incluir los resultados de las emisiones de NO y HC. Los hallazgos se muestran como la diferencia porcentual respecto al promedio de la flota de cada ubicación por contaminante para las marcas de vehículos Tier 2 y Tier 3 más comunes en los Estados Unidos y Canadá, así como para los vehículos del año modelo 2006 y más nuevos de

la Ciudad de México. Las emisiones para ambos NO y HC exhibieron una mayor variabilidad entre las ubicaciones en comparación con las emisiones de CO. Sin embargo, resaltar las tendencias específicas de cada ubicación puede ayudar a informar las decisiones de los consumidores.

EMISIONES DE NO

La Figura A1 ilustra el desempeño de las marcas de vehículos más comunes en términos de emisiones de NO. Dodge emerge como la marca de vehículos con las más altas emisiones en todas las ubicaciones, con las emisiones de NO oscilando entre un 21% y un 67% por encima de la media de los Estados Unidos y Canadá. Si bien Ford presenta emisiones mayores al promedio en Colorado, Ciudad de México y Virginia, las emisiones de sus vehículos en Alberta son aproximadas al promedio de la región. Nissan y Chevrolet exhiben diferencias que superan en 40% la media de la Ciudad de México, a pesar de mostrar emisiones por debajo del promedio para Estados Unidos y Canadá. Por el contrario, GMC presenta las menores emisiones de NO en todas las ubicaciones. En la Ciudad de México, Honda y Hyundai emiten hasta 75% menos emisiones de NO respecto del promedio, mientras que en Estados Unidos y Canadá, Toyota emerge como un menor emisor.

Figura A1. Diferencias en emisiones de NO respecto al promedio específico de cada región por marca de vehículo



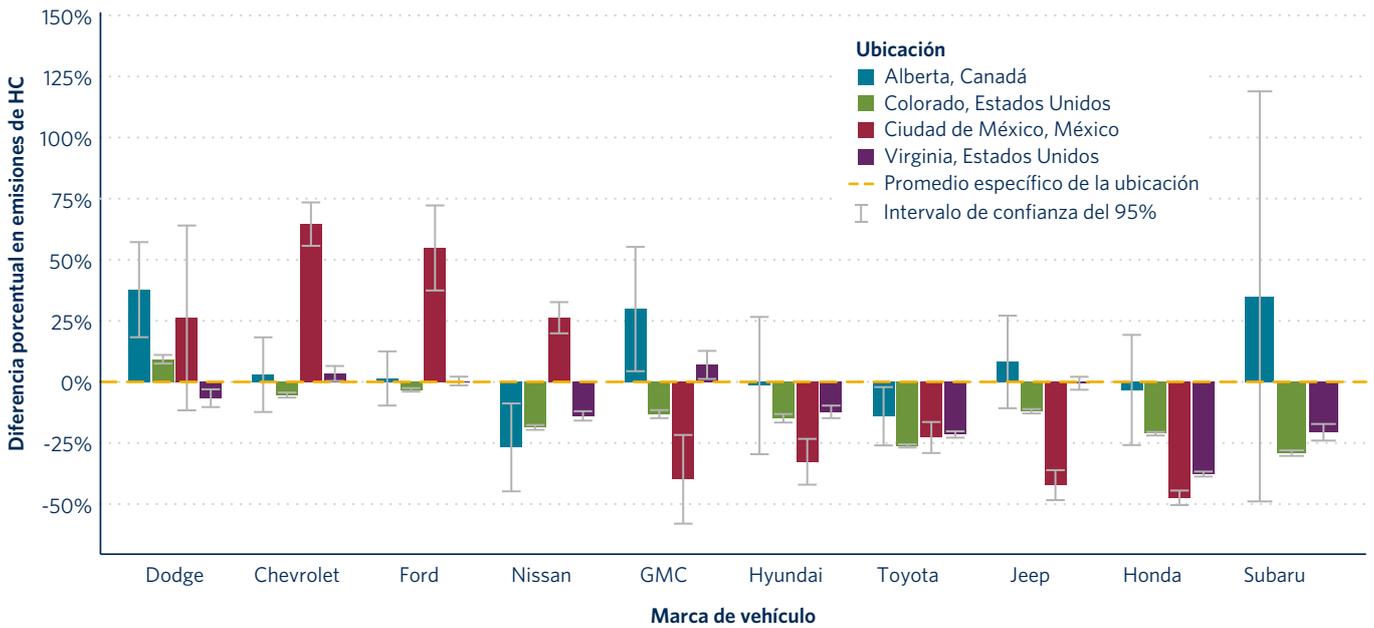
Nota: La figura muestra los fabricantes que representan al menos el 5% de la flota vehicular, excluyendo taxis.

EMISIONES DE HC

La Figura A2 muestra el desempeño de las marcas de vehículo más comunes en términos de emisiones de HC. Contrariamente a las tendencias de NO y CO, las emisiones de HC de las marcas más comunes en los Estados Unidos y Canadá generalmente caen por debajo del promedio, siendo Dodge la única marca que muestra emisiones superiores al promedio. Por el contrario, en la Ciudad de México existe una

variabilidad considerable, donde Chevrolet y Ford emergen como los mayores emisores, oscilando entre 54% y 65% por encima de la media. Además, GMC muestra emisiones de HC aproximadamente 25% más altas en Alberta, aunque el error estándar es grande. En general, Hyundai, Toyota y Honda emergen consistentemente como las marcas con menores emisiones a través de todas las ubicaciones, mientras que GMC, Jeep y Honda son las marcas con menores emisiones en la Ciudad de México.

Figura A2 Diferencias en emisiones de NO respecto al promedio específico de cada región por marca de vehículo



Nota: La figura muestra los fabricantes que representan al menos el 5% de la flota vehicular, excluyendo taxis.



PARA OBTENER MÁS INFORMACIÓN

Para consultar los detalles sobre la base de datos de sensor remoto de la Iniciativa TRUE, contacte a **Yoann Bernard**, y.bernard@theicct.org.

Para obtener más información sobre la Iniciativa TRUE, visite www.trueinitiative.org.