

Consumo energético de vehículos pesados en México

Energy consumption of heavy vehicles in Mexico

O.S. Serrano-Guevara¹
J.I. Huertas²
A.E. Mogro³
L.F. Quirama⁴

¹Tecnológico de Monterrey (México). Correo electrónico: oserrano@tec.mx
orcid: <https://orcid.org/0000-0002-1800-9367>

²Tecnológico de Monterrey (México). Correo electrónico: jhuertas@tec.mx
orcid: <https://orcid.org/0000-0003-4508-6453>

³Tecnológico de Monterrey (México). Correo electrónico: a01366355@tec.mx
orcid: <https://orcid.org/0000-0003-3151-0559>

⁴Universidad Tecnológica de Pereira (Colombia). Correo electrónico: luisfelipecquirama@utp.edu.co
orcid: <https://orcid.org/0000-0002-8609-9974>

Recibido: 16-09-2022 Aceptado: 23-12-2022

Cómo citar: Serrano-Guevara, O.S.; Huertas, J.I.; Mogro, A.E.; Quiram, L.F.; (2023). Consumo energético de vehículos pesados en México. *Informador Técnico*, 87(1), 29-39.
<https://doi.org/10.23850/22565035.5123>

Resumen

El objetivo del presente trabajo fue determinar el consumo de combustible de los vehículos pesados bajo condiciones reales de operación en México. Usando sistemas de telemetría, se monitoreó una muestra de 6.955 vehículos durante los últimos 3 años de operación. La muestra incluyó diferentes marcas, motores, y año-modelo. Se encontró que actualmente, el 99 % de vehículos pesados en México operan con diésel. Los tractocamiones T3 usados para el transporte de carga consumen 44,25 L/100 km y los autobuses B2 usados para el transporte de pasajeros en centros urbanos consumen 22,72 L/100 km. Los pocos vehículos (< 1 %) que operan a gas natural presentan consumos superiores (> 23 % en tractocamiones y 147 % en buses) a los vehículos diésel. Sin embargo, la pequeña fracción (< 0,01 %) de vehículos eléctricos usados para el transporte de pasajeros presentan consumos ~ 52 % inferiores a los vehículos diésel. Los resultados obtenidos pueden ser usados por las autoridades locales y empresas para establecer estrategias de reducción de consumo energético y emisiones de gases de efecto invernadero.

Palabras clave: vehículos pesados; consumo real de combustible; emisiones de gases de efecto invernadero; línea base de economía de combustible.

Abstract

The objective of this work was to determine the fuel consumption of heavy-duty vehicles under real operating conditions in Mexico. Using telemetry systems, a sample of 6.955 vehicles was monitored during the last 3 years of operation. The sample included different manufacturers, engines, and vehicle model-year. It was found that currently, 99 % of heavy vehicles in Mexico operate with diesel. T3 tractors used for freight transport consume 44.25 L/100 km and B2 buses used for passenger transport in urban centers consume 22.4 L/100 km. The few vehicles (< 1 %) that operate with natural gas have a higher consumption (> 23 % in trucks y 147 % in buses) than diesel vehicles. However, the small fraction (< 0.01 %) of electric vehicles used for passenger transport

have consumptions ~ 52 % lower than diesel vehicles. The results obtained can be used by local authorities and companies to establish strategies to reduce energy consumption and greenhouse gas emissions.

Keywords: heavy vehicles; actual fuel consumption; greenhouse gas emissions; fuel economy baseline.

1. Introducción

El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) está implementando un proyecto de transporte, que tiene como objetivo promover una transición global hacia la movilidad sin o con bajas emisiones para mejorar la calidad del aire y mitigar el cambio climático. Para lograr este objetivo general, el PNUMA apoya a los países y ciudades para que cambien a vehículos más eficientes, incluyendo la movilidad eléctrica; usen combustibles y estándares de emisión más limpios (combustibles con bajo contenido de azufre); y finalmente desarrollen e implementen políticas que prioricen la infraestructura para caminar y andar en bicicleta.

Recientemente, el PNUMA estableció un acuerdo con el *Global Climate Partnership Fund* (GCPF) para desarrollar las líneas base de economía de combustible para México, Camboya y Vietnam (Iniciativa Global para el Ahorro de Combustibles [GFEI], 2022; Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente [UNEP], 2022). En cumplimiento de este acuerdo, el PNUMA se asoció con el Tecnológico de Monterrey, para apoyar a México en el establecimiento de la línea base de consumo de combustible para vehículos pesados (HDV) mediante un *Small-Scale Funding Agreement* (SSFA). El objetivo general de este SSFA es desarrollar la línea base de economía de combustible de vehículos pesados (camiones y autobuses) para México y apoyar el desarrollo de capacidades en la región. El presente documento reporta los resultados obtenidos buscando atender este objetivo.

2. Determinación del consumo de combustible en vehículos pesados

Para el caso de vehículos livianos, la determinación del consumo se realiza en un laboratorio, como parte de las pruebas de homologación que los fabricantes deben seguir antes de comercializar sus vehículos en cada país. La literatura reporta que el consumo real de combustible difiere de las mediciones reportadas por los fabricantes. Este trabajo no incluye vehículos livianos.

Para el caso de vehículos pesados, los fabricantes no reportan consumo de combustible por cuanto las configuraciones resultantes motor-tracto-remolque son muy diversas y acordes a las necesidades del usuario final. Se realizan pruebas de laboratorio al motor y a la unidad tractora, pero no al vehículo completo, por ejemplo, con su tráiler. Por tanto, es poco común evaluar el desempeño de consumo de combustible de vehículos pesados mediante pruebas en laboratorio. La literatura reporta dos alternativas principales para determinar el consumo energético de vehículos pesados:

- **Estimación:** uso de herramientas desarrolladas para estimar la eficiencia de este tipo de vehículos, entre ellas destacan GEM y VECTO, usados por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA) en Estados Unidos de América y la Unión Europea, respectivamente (Delgado *et al.*, 2017; EPA, 2022; EPA *et al.*, 2016; Comisión Europea, 2021).
- **Medición mediante pruebas en carretera:** a través de campañas de medición bajo condiciones reales de operación, con interfaces de diagnóstico a bordo (OBD) o medidores portátiles de emisiones contaminantes (PEMS) (Quirama *et al.*, 2020; Quiros *et al.*, 2016). Pepper (2010) patentó este método y estudios como los reportados por Pavlovic *et al.*, (2021), o Quirama *et al.* (2020), quienes obtuvieron diferencias menores al 3 % cuando se comparan con el método gravimétrico estandarizado por la Sociedad de Ingenieros Automotrices

(SAE, 2020). Adicionalmente, algunos operadores registran de forma manual la cantidad de combustible utilizado y distancia recorrida durante la operación de flotas de transporte.

Para autobuses, Ghaffarpasand et al. (2021) evaluaron autobuses en una ciudad intermedia de medio oriente. El rango reportado es entre 28,9 y 32,4 L/100 km. Giraldo y Huertas (2019) reportaron un promedio de 41 L/100 km para el consumo de diésel de 15 autobuses operando en Ciudad de México durante ocho meses. Estos valores resaltan la disparidad de lo reportado sobre consumo específico de combustible (SFC, por sus siglas en inglés), el cual es la cantidad total de combustible consumido en una distancia de 100 km).

Por otro lado, en el caso de transporte de carga, autores como Quiros et al. (2016) encontraron que el SFC de sus vehículos está entre 34,5 y 63 L/100 km, donde los vehículos más eficientes corresponden a la tecnología de gas natural comprimido. Contrariamente, Sandhu et al. (2021) o Lv et al. (2020) determinaron que el SFC para gas natural, ya sea comprimido o licuado, es mayor respecto al diésel. Dependiendo de la composición del gas natural, aproximadamente 1 m³ de este es equivalente, en términos energéticos, a 1 litro de diésel. En China, Zhang et al. (2014), reportaron mayor SFC para vehículos a gas natural (licuado o comprimido) respecto a diésel, y mostraron que no necesariamente las nuevas tecnologías son más eficientes.

Huertas et al. (2022) evaluaron el SFC de 47 vehículos de carga en una región de topografía variable (0-4.000 m. s. n. m.), y concluyeron que ni la altitud ni la edad vehicular estadísticamente tienen una influencia en los valores de SFC, los cuales están entre 50 y 80 L/100km.

Ninguno de los estudios previos ha buscado determinar a nivel del país, el consumo real de combustible de su flota de vehículos. En este documento se presentan los resultados de medir el consumo real de combustible y sus emisiones de gases de efecto invernadero de una muestra representativa vehículos pesados en México operando por un largo tiempo (> 1 año).

Para gobiernos y organizaciones no gubernamentales resulta importante conocer el consumo de combustible bajo condiciones reales de operación, con el fin de evaluar sus políticas públicas para alcanzar los objetivos de mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero.

3. Metodología

Con el propósito de determinar el consumo de combustible real de los vehículos pesados, mientras circulan en las carreteras mexicanas, inicialmente se describió la flota de vehículos, posteriormente se describe la metodología seguida para determinar el consumo de combustible y las emisiones de gases de efecto invernadero, y finalmente se describen los análisis realizados.

a. Caracterización de la flota de vehículos

La normativa mexicana (NOM-012-SCT-2-2017) clasifica los vehículos pesados, donde las designaciones “Van”, “B2”, “B3” y “B4” corresponden a vehículos para el transporte de pasajeros tipo Van (< 19 pasajeros) o autobuses con 2, 3 y 4 ejes, respectivamente. Similarmente, las designaciones “C2”, “C3”, “T3” corresponden a vehículos para el transporte de carga tipo camión con 2 y 3 ejes, y tractocamión con 3 ejes más su respectivo remolque de dos ejes (o en ocasiones hasta tres ejes). Por regulación, dependiendo la configuración vehicular, un eje con llanta sencilla puede soportar hasta 5-6,5 t, y de doble llanta hasta 13 t, dependiendo del tipo de vía (NOM-012-SCT-2-2017). Este limitante se establece con el objetivo de prevenir el rápido deterioro de las vías (Secretaría de Comunicaciones y Transportes [SCT], 2017).

Para el año 2020 (Figura 1a), la autoridad gubernamental SCT reportó 650 mil vehículos pesados registrados, lo cual representa el ~ 1 % de la flota de vehículos en México, de los cuales el 99 % operan con

diésel, y el < 1 % con gas natural (GNV), los cuales se utilizaron para el transporte de carga y de pasajeros en centros urbanos. El 0,004 % fueron eléctricos y se utilizaron para el transporte urbano de pasajeros en Ciudad de México y Guadalajara. El 69 % de los vehículos pesados registrados (Figura 1b) para el año 2020 tenían una edad superior a 10 años (SCT, 2021).

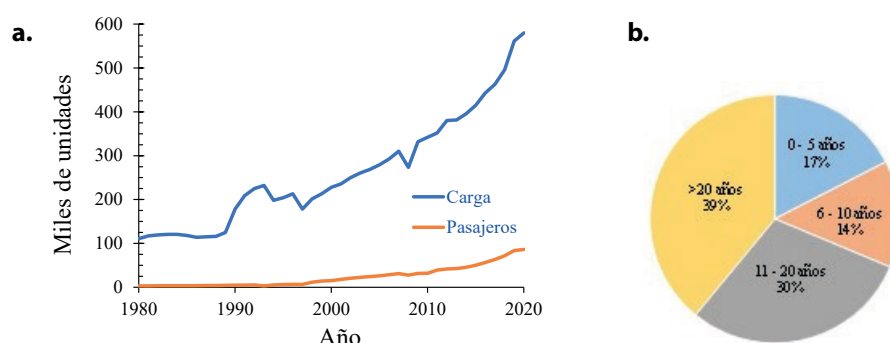


Figura 1. Resumen de vehículos pesados en México. a) Evolución histórica de la flota vehicular, b) distribución de edad del parque vehicular
Fuente: elaboración propia.

El 87 % de los vehículos pesados se usaron para el transporte de carga y el restante para el transporte de pasajeros. Por otro lado, con respecto a la clasificación de los vehículos pesados, se tiene que, dentro del segmento del transporte de carga, el 63,2 % de los vehículos fueron clasificados como "T3", 20,3 % fueron "C2" y 15,7 % "C3". Las marcas líderes fueron Freightliner (31 %), Kenworth (30 %), e International (14 %). Para el segmento de autobuses, 5 % fueron Vans y 95 % autobuses correspondientes, en su mayoría, a la categoría B2, y muy pocos B3 y B4. Las marcas dominantes para el segmento de autobuses fueron Mercedes Benz (31 %), International (18 %), y Scania (15 %) (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], 2022).

b. Determinación del consumo energético real de los vehículos

Como se describió anteriormente, para el caso de vehículos pesados, no existen procedimientos estandarizados para determinar el consumo real de combustible. En este trabajo proponemos el uso de sistemas de telemetría junto con los sistemas informáticos que llevan las empresas para gestionar el consumo de combustible de su flota. Los sistemas de telemetría leen el consumo acumulado de combustible directamente de la computadora (ECU) que controla la operación del motor del vehículo. Esta computadora controla el consumo instantáneo de combustible del motor controlando el tiempo de apertura de los inyectores de combustible, de tal forma que la combustión se realice bajo las condiciones deseadas de relación aire combustible acorde con los requerimientos de potencia demandados al motor. Diversos trabajos como Quirama *et al.* (2020) y Pavlovic *et al.* (2021) han reportado que el consumo reportado por la ECU corresponde a las mediciones realizadas siguiendo protocolos normalizados bajo condiciones de laboratorio (SAE, 2020).

A través de convenios de colaboración con empresas del transporte de carga y pasajeros, y con empresas de telemetría vehicular (métrica móvil a través de su servidor GeoTab, y otros proveedores como Linkerweb, Global Track), se obtuvo acceso al consumo de combustible real de una muestra significativa de vehículos pesados que ha operado en México durante los últimos 3 años. A una frecuencia de 1 dato cada 1-20 minutos se monitorearon más de 81 vehículos operados con diésel de 7 empresas de carga y 4 de pasajeros. Adicionalmente, se realizó el mismo monitoreo a nivel viaje de otros 6.400 vehículos a diésel y 454 a GNV. Los datos recolectados corresponden a más de 536 millones de kilómetros recorridos. Se incluyeron vehículos International, Mercedes, Volvo, Freightliner, Kenworth y Volkswagen. Estos vehículos usaron motores Cummins, Detroit, Mercedes, Navistar, Volvo y Scania. Finalmente, se incluyeron datos de consumo energético de fabricantes de vehículos pesados eléctricos tales como BYD, Yutong y Volvo. La Figura 2 ilustra la forma como se determina el consumo real de combustible con el uso de sistemas de telemetría. Estos sistemas leen los valores registrados por la ECU

(engine computer unit) de los múltiples sensores instalados en el motor, incluyendo consumo de combustible, posición y velocidad, y los envían vía celular a la nube, donde la información es almacenada.

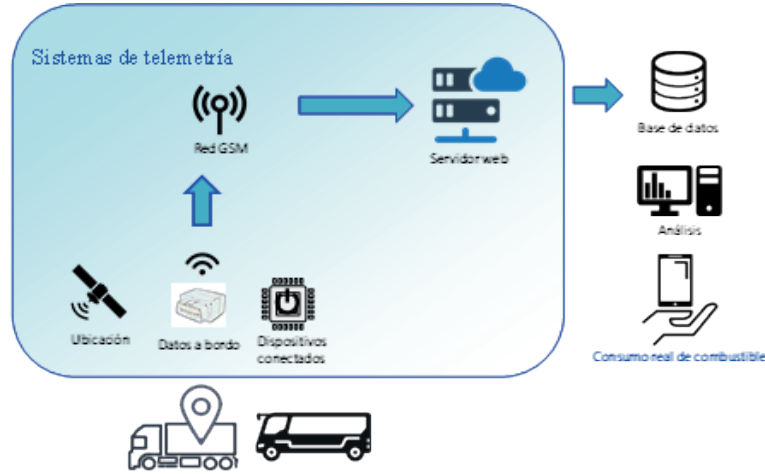


Figura 2. Metodología general para determinación de consumo real de combustible por sistemas de telemetría
Fuente: elaboración propia.

Con el propósito de comparar el desempeño energético de estos vehículos, se escogió diésel como combustible de referencia. El consumo de los vehículos eléctricos y a gas natural vehicular (GNV) se expresó en términos de litros de diésel equivalentes (DEL). Esta es una medida energética que se refiere a la cantidad de energía química contenida en un litro de diésel. Las Ecuaciones 1 y 2 muestran el cálculo de esta medida equivalente, de tal forma que 1,06 m³ de GNV corresponden a 1 DEL y 5,57 kWh de energía eléctrica son similares a 1 DEL.

$$1 \text{ DEL} = \frac{LHV_d \rho_d}{LHV_{GNV} \rho_{GNV} 10^3} \quad (1)$$

$$1 \text{ DEL} = \frac{LHV_d \rho_d \eta_g}{3.6 \times 10^6} \quad (2)$$

Donde:

LHV Poder calorífico inferior

ρ Densidad

η_g Eficiencia del Sistema Nacional de Generación de Electricidad.

Se resalta que, para vehículos eléctricos, esta equivalencia incluye el factor de planta promedio del sistema de generación de energía eléctrica en México y, por ende, la comparación se realiza en términos de la energía química requerida para generar la energía eléctrica consumida por el vehículo eléctrico (Sener, 2018).

c. Determinación de las emisiones de GHG

Los factores de emisión, para gases de efecto invernadero, expresados en gCO₂e/L, dependen de la composición del combustible y su proceso de obtención. Son similares en todo el mundo. Organizaciones como la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (USEPA) o el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) recomiendan los valores a usar. Sin embargo, cuando se tienen en cuenta para propósitos regulatorios, se deben usar los valores especificados por la autoridad local. Los factores de emisión establecidos por la autoridad ambiental mexicana, la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), se enlistan en la Tabla 1, los cuales están basados en los factores de emisión establecidos por la USEPA. Se consideraron CO₂, CH₄ y N₂O como los gases con efecto invernadero emitidos por los vehículos. Se consideró que el CH₄ y el N₂O

tienen un potencial de calentamiento global equivalente a 28 y 265 veces el del CO₂ (IPCC, 2014; SEMARNAT e Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático [INECC], 2019), respectivamente. Se realizó un análisis de ciclo de vida, donde se incluyeron las emisiones durante la producción del combustible (fuente de energía al tanque de combustible, WtT) y las emisiones durante la operación del vehículo (del tanque a la rueda, TtW).

Tabla 1. Factores de emisión para la operación de vehículos a diésel, gas natural y eléctricos

Fuente energética	TtW				WtW
	WtT	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	
	kg CO ₂ e/DEL	kg/DEL	kg/DEL	kg/DEL	KgCO ₂ e /DEL
Diésel	0,61	2,73	0,0001	0,0001	3,42
GNV	0,45	2,18	0,0035	0,0001	2,76
Eléctricos	1,97	0	0	0	1,97

Fuente: elaboración propia.

4. Resultados

A continuación, se presentan los resultados obtenidos monitoreando los vehículos en su normal operación en México y se comparan contra los reportados en otros estudios.

a. Línea base de consumo energético de los vehículos pesados en México

Realizando un análisis estadístico de los datos de consumo energético, se obtuvo la Tabla 2 y la Figura 3, las cuales reportan los consumos promedio de estos vehículos, expresados en términos de DEL/100 km y DEL/100 t-km. Se resalta que los resultados reportados en la Tabla 2 incluyen las marcas abarcadas en la muestra de vehículos descrita anteriormente. Considerando que el 99 % de los vehículos pesados que operan en México son diésel (SCT, 2021), sus valores reportados corresponden con la línea base o valores de referencia de los consumos energéticos reales de los vehículos pesados operando en México.

Los valores de consumo de combustible diésel y GNV observados en México se encuentran entre los reportados en la literatura para vehículos similares operando en otras partes del mundo, excepto para el caso de GNV en autobuses, que exhibe consumos superiores, especialmente cuando es observado en términos de SFC* (DEL/100 t-km). Se subraya que este resultado corresponde al de una única empresa de autobuses en una única ciudad.

También se evidencia que los consumos de los vehículos a GNV y eléctricos son similares a los de los vehículos diésel, con dos excepciones: la operación con GNV en autobuses, a la que se hace referencia en el párrafo anterior, y los autobuses eléctricos, que muestran un consumo sustancialmente menor que su contraparte a diésel o GNV. Se destaca que los datos de consumo de autobuses eléctricos corresponden a los suministrados por los fabricantes y, por ende, esta conclusión debe ser reconfirmada con datos de consumo eléctrico real bajo las condiciones de México.

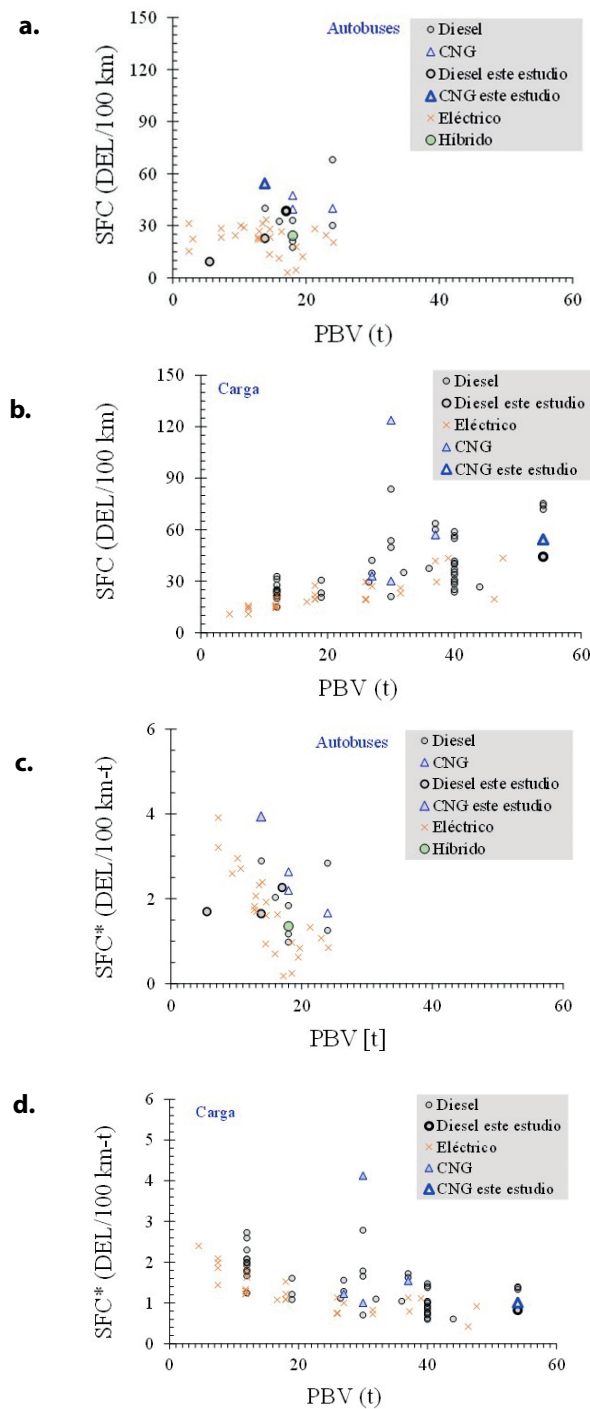


Figura 3. Comparación contra otros estudios de consumo energético real de vehículos para el transporte de pasajeros

(a, b) y de carga (c, d) alimentados con diésel, gas natural y electricidad

Nota. Datos expresados en términos de litros equivalentes a diésel (DEL) por kilómetro transportado (a y b) y por kilómetro tonelada transportada (c y d). Cada punto representa un estudio independiente.

Fuente: elaboración propia.

Tabla 2. Consumo energético expresado como SFC (DEL/100 km) y SFC* (DEL/100 t-km) y emisiones de GHG de ciclo de vida (WtW) expresado como gr CO₂e/100 km de vehículos pesados en México para el año 2021

Segmento Categoría		Número de ejes	Número de ruedas	PBV [t]	Vehículo	% dentro del segmento	Diesel			GNV			Eléctrico ⁺		
							SFC	SFC*	CO ₂ e	SFC	SFC*	CO ₂ e	SFC	SFC*	CO ₂ e
Pasajeros	Van	2	4	6.5		5,0	9.33	1.70	319	N/D	N/D	N/D	5.65	0.86	111
	B-2	2	6	14 – 19		95,0	22.72	1.52	777	56.19	3.75	1,551	22.65	2.72	446
	B-3	3	8 – 10	17 – 27.5		~0,0	38.48	2.26	1,316	N/D	N/D	N/D	30.29	2.09	597
Carga	C-2	2	Depende de la configurac ión	19		20,3	23.02	1.21	787	N/D	N/D	N/D	16.97	1.50	334
	C-3	3		24 – 27.5		15,7	29.39	1.07	1,005	N/D	N/D	N/D	21.88	0.84	431
	T-3	3		46.5 – 54.5		63,2	44.25	0.82	1,513	54.38	1.01	1,501	36.96	0.99	728

* Se refiere a la proporción en vehículos pesados.

N/D: no disponible.

Fuente: elaboración propia.

b. Línea base de emisiones de GHG de vehículos pesados en México

Los factores de emisión reportados en la Tabla 1 y los consumos promedio reportados en la Tabla 2, se obtuvieron los datos de las emisiones de gases de efecto invernadero (gCO₂e/km) de los vehículos monitoreados por tipo de combustible. Los resultados se reportan en la Tabla 2 en términos de emisiones de CO₂ equivalente (CO₂e) por kilómetro recorrido o kilómetro tonelada transportada.

La Tabla 1 muestra que para el caso de vehículos de carga tipo T3, en un análisis de ciclo de vida (WtW) de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), expresadas en términos de CO₂e, cuando un vehículo es propulsado por diésel, independientemente de las condiciones locales y la tecnología específica, este emite 3,42, kg CO₂e/DEL, y las emisiones de GNV y eléctrico son 19 y 42 % menores. Sin embargo, cuando se consideran las condiciones locales de operación en México para el año 2021, La Tabla 2 muestra que las emisiones de GHG de los vehículos diésel, medidas en términos de CO₂e por kilómetro recorrido, fueron 1.513 gr CO₂e/km, las emisiones de los vehículos a GNV fueron 0,8 % menores, y las de los vehículos eléctricos podrían ser 60-70 % menores. Finalmente, cuando se considera la carga transportada, las emisiones de los vehículos diésel son 28,03 gr CO₂e/ t-km y las emisiones de los vehículos a GNV y eléctricos podrían ser 0,8 % menores y 31 % menores., respectivamente, bajo las condiciones locales de México para el año 2021.

5. Conclusiones

Este trabajo se enfocó en determinar el consumo de combustible de los vehículos pesados en México bajo condiciones reales de operación. Se utilizaron los métodos de seguimiento por sistemas telemetría, y el registro en plataformas en línea de combustible durante un largo período de tiempo (> 3 años). En este análisis se

incluyeron los principales fabricantes de vehículos pesados, tanto para carga como para pasajeros, así como vehículos de diferentes edades y configuraciones que se utilizan principalmente en las carreteras y centros urbanos del país.

La Tabla 2 resume los resultados obtenidos. Actualmente, el 99 % de vehículos pesados en México operan con diésel. En promedio los autobuses tipo B2 de 19 t, los cuales son vehículos más usados para el transporte de pasajeros en la ciudad, consumen 22,72 L/100 km y emiten 777 gCO₂/km. Similarmente, los vehículos tipo tractocamión (T3), de 54 t, son los más usados para el transporte de carga de larga distancia. Estos consumen en promedio 40,2 L/100 km y emiten 1063 gCO₂/km. Estos resultados son similares a los reportados en otros estudios similares realizados en diferentes partes del mundo cuando se presentan en función del peso total del vehículo (Figura 3).

En México, pocos vehículos (< 1 %) operan con GNV o electricidad. Los vehículos pesados que operan con GNV se han usado para el transporte de carga y de pasajeros mostrando consumos excesivos con respecto a lo esperado. Los vehículos pesados eléctricos que operan en México se han usado para el transporte de pasajeros en las principales ciudades. Estos reducen un ~ 40 % el consumo energético y de emisiones de GEI.

Los valores reportados en este estudio pueden ser usados por las autoridades como valores de referencia en el proceso de establecer regulaciones de eficiencia energética con el fin de reducir emisiones de GEI.

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo en el desarrollo de este trabajo a las siguientes organizaciones: Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México (Conacyt), Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), Fondo de Asociación Climática Global (GCPF), la Iniciativa Global de Economía de Combustible (GFEI), la Iniciativa Campus City del Tecnológico de Monterrey, la Corporación Métrica Móvil, Grupo Traxion, Grupo SENDA, Transportes Cuauhtémoc, MYM Express, el Grupo de Investigación en Energía y Cambio Climático del Tecnológico de Monterrey (GIECC) y el Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología (CYTED), en el marco de la Red Latinoamericana de Investigación en Energía y Vehículos RELIEVE (Ref. 720RT0014).

Referencias

Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (2022). *Greenhouse Gas Emissions Model (GEM) for Medium- and Heavy-Duty Vehicle Compliance*.

<https://www.epa.gov/regulations-emissions-vehicles-and-engines/greenhouse-gas-emissions-model-gem-medium-and-heavy-duty>

Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos; Administración Nacional de Seguridad del Tráfico en las Carreteras es una agencia dependiente del gobierno de los Estados Unidos; Departamento de Transporte de los Estados Unidos (2016) *Greenhouse Gas Emissions and Fuel Efficiency Standards for Medium- and Heavy-Duty Engines and Vehicles— Phase 2*.

<https://www.epa.gov/regulations-emissions-vehicles-and-engines/final-rule-phase-2-greenhouse-gas-emissions-standards>

Comisión Europea (2021). *Vehicle Energy Consumption calculation TOol - VECTO. R*

https://ec.europa.eu/clima/eu-action/transport-emissions/road-transport-reducing-co2-emissions-vehicles/vehicle-energy-consumption-calculation-tool-vecto_es

- Delgado, Oscar; Rodríguez, Felipe; Muncrief, Rachel (2017). Fuel Efficiency Technology in European Heavy-Duty Vehicles: Baseline and Potential for the 2020-2030 Timeframe. *The International Council on Clean Transportation*.
<https://theicct.org/publication/fuel-efficiency-technology-in-european-heavy-duty-vehicles-baseline-and-potential-for-the-2020-2030-timeframe/>
- Ghaffarpasand, Omid; Talaie, Mohammad; Ahmadikia, Hossein; Khozani, Amirreza; Shalamzari, Maryam; Majidi, Sina (2021). Real-world assessment of urban bus transport in a medium-sized city of the Middle East: Driving behavior, emission performance, and fuel consumption. *Atmospheric Pollution Research*, 12, 113-124.
<https://doi.org/10.1016/j.apr.2021.02.004>
- Huertas, Jose; Serrano-Guevara, Oscar; Díaz-Ramirez, Jenny; Prato, Daniel; Tabares, Lina (2022). Real vehicle fuel consumption in logistic corridors. *Applied Energy*, 314.
<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2022.118921>
- Iniciativa Global para el Ahorro de Combustibles (2022). *Cleaner, more efficient vehicles*.
https://www.globalfueleconomy.org/transport/gfei/autotool/nextsteps/developing_a_baseline.asp
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2022). *Registro Administrativo de la Industria Automotriz de Vehículos Pesados*.
<https://www.inegi.org.mx/datosprimarios/iavp/#Tabulados>
- Lv, Liquan; Ge, Yunshan; Ji, Zhe; Tan, Jianwei; Wang, Xin; Hao, Lijun; Wang, Zhiwei; Zhang, Mengzhu; Wang, Chunjie; Liu, H. (2020). Regulated emission characteristics of in-use LNG and diesel semi-trailer towing vehicles under real driving conditions using PEMS. *Journal of Environmental Sciences*, 88, 155–164.
<https://doi.org/10.1016/j.jes.2019.07.020>
- Panel Intergubernamental de Cambio Climático (2014). Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution. En R. K. Pachauri; L. A. Meyer (Eds.), *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 2-26). Geneva, Switzerland.
- Pavlovic, Jelica; Fontaras, Georgios; Broekaert, Stijn; Ciuffo, Biagio; Ktistakis, Markos; Grigoratos, Theodoros (2021). How accurately can we measure vehicle fuel consumption in real world operation? *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 90, 102666.
<https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102666>
- Pepper, Gary (2010). *Methods and system for determining consumption and fuel efficiency in vehicles*. Patente US7774130B2, Estados Unidos.
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (2022). *What we do?*
<https://www.unep.org/explore-topics/transport/what-we-do/partnership-clean-fuels-and-vehicles/what-we-do>
- Quirama, Luis; Giraldo, Michael; Huertas, José; Jaller, Miguel (2020). Driving cycles that reproduce driving patterns, energy consumptions and tailpipe emissions. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 82, 102294.
<https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102294>

- Quiros, David; Thiruvengadam, Arvind; Pradhan, Saroj; Besch, Mark; Thiruvengadam, Pragalath; Demirgok, Berk; Carder, Daniel; Oshinuga, Adewale; Huai, Tao; Hu, Shaohua (2016). Real-World Emissions from Modern Heavy-Duty Diesel, Natural Gas, and Hybrid Diesel Trucks Operating Along Major California Freight Corridors. *Emission Control Science and Technology*, 2(3), 156-172.
<https://doi.org/10.1007/s40825-016-0044-0>
- Sandhu, Gurdas; Frey, Christopher; Bartelt-Hunt, Shannon; Jones, Elizabeth (2021). Real-world activity, fuel use, and emissions of heavy-duty compressed natural gas refuse trucks. *Science of the Total Environment*, 761.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143323>
- Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes (2017) NORMA Oficial Mexicana NOM-012-SCT-2-2017, *Sobre el peso y dimensiones máximas con los que pueden circular los vehículos de autotransporte que transitan en las vías generales de comunicación de jurisdicción federal*. Mexico.
- Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes (2021). *Estadística Básica del Autotransporte Federal*.
<https://www.sct.gob.mx/transporte-y-medicina-preventiva/autotransporte-federal/estadistica/>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales; Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (2019). *Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero*.
<https://www.gob.mx/inecc/acciones-y-programas/inventario-nacional-de-emisiones-de-gases-y-compuestos-de-efecto-invernadero>
- Sener (2018). *Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional*.
<https://www.gob.mx/sener/articulos/programa-para-el-desarrollo-del-sistema-electrico-nacional>
- Sociedad de Ingenieros Automotrices (2020). *Fuel Consumption Test Procedure - Type II J1321_202010*.
https://www.sae.org/standards/content/j1321_202010
- Zhang, Shaojun; Wu, Ye; Liu, Huan; Huang, Ruikun; Yang, Liuhanzi; Li, Zhenhua; Fu, Lixin; Hao, Jiming (2014). Real-world fuel consumption and CO₂ emissions of urban public buses in Beijing. *Applied Energy*, 113, 1645-1655.
<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.09.017>