

enerLAC

Revista de
Energía de
Latinoamérica
y el Caribe

Integración
ciencia-política
desarrollo eólico
Uruguay

Indicadores
eficiencia energética
transporte de carga
en México

Utilización y
competitividad
gas natural
Perú

Compared Legal
Analysis of Illegal
Oil Bunkering
in Mexico, Colombia
and Nigeria

Generación Distribuida
y Microrredes Eléctricas
en América Latina y
El Caribe



COMITÉ EDITORIAL

Alfonso Blanco
SECRETARIO EJECUTIVO DE OLADE

Pablo Garcés
ASESOR TÉCNICO DE OLADE

Marcelo Vega
COORDINADOR DE LA COMISIÓN ACADÉMICA DE LA
ASOCIACIÓN DE UNIVERSIDADES GRUPO MONTEVIDEO
(AUGM)

COORDINADORES DE LA EDICIÓN

DIRECTOR GENERAL
Alfonso Blanco

DIRECTORES EJECUTIVOS
Pablo Garcés
Marcelo Vega

COORDINADORA DE PRODUCCIÓN
Blanca Guanocunga. Bibliotecaria OLADE

COLABORADORES

Raquel Atiaja. *Técnica de Área Informática OLADE*

Ana María Arroyo. *Diseño y diagramación*

REVISORES

José Javier Alonso Mateos.
Universidad Internacional de Valencia. España.

José Cataldo.
Universidad de la República (UDELAR). Uruguay.

José Cóndor.
Universidad Central del Ecuador (UCE). Ecuador.

Pedro Díaz Fustier. *Universidad Tecnológica de la Habana,
Facultad de Ingeniería Eléctrica. Cuba.*

Henry Espada Romero. *Gobierno Autónomo Departamental
De Chuquisaca (GADCH). Bolivia.*

Luis Felipe Gómez Fernández.
Ministerio de Energía y Minas. Perú.

Francisco Macías Aguilera.
Universidad de Guanajuato. México.

Ojilve Ramón Medrano Pérez. *Consejo Nacional de Ciencia
y Tecnología (CONACyT). Centro del Cambio Global y la
Sustentabilidad (CCGS). México.*

Marcela Reinoso.
Organización Latinoamericana de Energía (OLADE). Ecuador.

Ramiro Rodríguez.
Universidad Nacional de Córdoba. Argentina.

© Copyright Organización Latinoamericana de Energía
(OLADE) 2019. Todos los derechos reservados.

ISSN: 2602-8042 (Impresa)
ISSN: 2631-2522 (Electrónica)

Dirección: Av. Mariscal Antonio José de Sucre N58-63 y
Fernández Salvador.
Quito - Ecuador

Página web Revista ENERLAC: <http://enerlac.olade.org>
Página web OLADE: www.olade.org
Mail ENERLAC: enerlac@olade.org

Teléfonos: (+593 2) 2598-122 / 2598-280 / 2597-995

Fotografías de la portada y contraportada licenciada por
Ingram Image.

NOTA DE RESPONSABILIDAD DE CONTENIDO

Las ideas expresadas en este documento son responsabilidad
de los autores y no comprometen a las organizaciones
mencionadas.



INDICADORES DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DEL TRANSPORTE DE CARGA POR CARRETERA PARA EL DESARROLLO DE UNA POLÍTICA INTEGRAL DE TRANSPORTE EN MÉXICO

Edgar Roberto Sandoval García¹, Yasuhiro Matsumoto Kuwabara², Juan Carlos Pedraza Reyna³

Recibido: 04/09/2019 y Aceptado: 08/11/2019
ENERLAC. Volumen III. Número 2. Diciembre, 2019 (26-43).



1 Doctor en Ciencias en Desarrollo Científico y Tecnológico para la Sociedad, Programa Transdisciplinario. Candidato al Sistema Nacional de Investigadores, CONACYT (2018-2020). Profesor de tiempo completo con perfil deseable acorde a Secretaría de Educación Pública - Tecnológico Nacional de México (2018-2020). Adscrito a la División de Ingeniería en Logística-TESCI. Experiencia profesional de más de diez años en la industria química nacional. rsandovalvg75@tesci.edu.mx

2 Ingeniero en Comunicaciones y Electrónica de la ESIME-IPN, México. Doctor en Ciencias por la Universidad de Osaka, Japón (1990). Profesor titular del Departamento de Ingeniería Eléctrica del Cinvestav-IPN para realizar estudios de los materiales y dispositivos semiconductores, desde 1994. Ha preparado celdas solares (CS) de películas delgadas y contribuido en la fabricación de las CS de silicio cristalino y módulos fotovoltaicos en la planta piloto. Miembro de la Asociación Nacional de Energía Solar, de la *International Solar Energy Society*, de la Academia Mexicana de Ciencias y del IEEE. ymatsumo@cinvestav.mx

3 Licenciado en Contaduría y Maestro en Finanzas Corporativas por la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Cuenta con un diplomado en Logística y Cadena de Suministro. Socio del Colegio de Contadores Públicos de México (CCPM). Director del Despacho contable Balance Consulting Services S.C. Catedrático en el Tecnológico de Estudios Superiores de Cuautitlán Izcalli (TESCI), Universidad UVM y Grupo ENCIP. Jefe de carrera de Ingeniería en Logística en el TESCOI, desde 2016 hasta la presente fecha. cppedraza@tesci.edu.mx

RESUMEN

Durante el período 2013-2016 México cumplió la meta de reducir su intensidad energética al pasar de 0.102 toe/1000 dólares en 2012 a 0.0809 toe/1000 dólares en 2016 acorde a lo establecido en el Plan Nacional de Desarrollo. Sin embargo, en 2017 México presentó un índice de independencia energética de 0.76, es decir, generó 24% menos energía de la necesaria para satisfacer las diversas actividades productivas. Por tal razón, se debe tener claridad sobre qué sector económico es el que más consumo energético presenta y por qué, con la finalidad de lograr definir estrategias de cambio. Esta propuesta de investigación pretende coadyuvar a la definición de indicadores de eficiencia energética para el autotransporte de carga, los cuales podrán ser utilizados para el diseño de políticas integrales de transporte y posteriormente, monitorear su efectividad. El valor de intensidad energética del diésel para el autotransporte de carga ha decrecido en un 2.8% entre el 2012 y el 2017. Para el 2017 se estima un valor de intensidad energética del diésel cercano a 2 MJ/tkm, cifra que aún continúa siendo del doble del valor de intensidad energética de otras economías, siendo la principal causa la baja productividad de capacidad de transporte.

Palabras clave: Indicadores, Eficiencia Energética, Transporte de Carga, Política Integral, Capacidad de Transporte, México.

ABSTRACT

During the period 2013-2016, Mexico met the objective of reducing its energy intensity by decreasing from 0.102 toe / 1000 dollars in 2012 to 0.0809 toe / 1000 dollars in 2016 according to the provisions of the National Development Plan. However, in 2017, Mexico showed an energy independence index of 0.76, that is, it generated 24% less energy than necessary to satisfy the various productive activities. For this reason, it should be clear about which economic sector is the one with the most energy consumption and why, in order to define transformation strategies. This research proposal aims to contribute to the definition of energy efficiency indicators for the road freight transport sub-sector, which can be used to design integral transport policies and subsequently monitor their effectiveness. The energy intensity value of diesel for freight road transport has decreased by 2.8% between 2012 and 2017. For 2017, an energy intensity value of diesel is estimated at close to 2 MJ / tkm, a figure that still remains twice the value of energy intensity from other economies, being the main cause the low productivity of transport capacity.

Keywords: Indicators, Energy Efficiency, Freight Transport, Integral Policy, Transport Capacity, Mexico.

Durante el período 2013-2016 México cumplió la meta de reducir su intensidad energética al pasar de 0.102 toe/1000 dólares en 2012 a 0.0809 toe/1000 dólares en 2016 acorde a lo establecido en el Plan Nacional de Desarrollo. Sin embargo, en 2017 México presentó un índice de independencia energética de 0.76, es decir, generó 24% menos energía de la necesaria para satisfacer las diversas actividades productivas.

INTRODUCCIÓN

En cualquier economía, la eficiencia energética es la forma menos costosa de satisfacer la nueva demanda de energía. Las mejoras en la eficiencia energética reducen la cantidad de uso de energía requerida para proporcionar un servicio. Por lo tanto, los gobiernos que exhortan la inversión en eficiencia energética y diseñan políticas para apoyar su implementación generan múltiples beneficios económicos, sociales y medioambientales. Sin embargo, a nivel mundial, la eficiencia energética no ha sido del todo apropiada a pesar de sus múltiples beneficios comprobados y su potencial para convertirse en el recurso más grande para satisfacer la creciente demanda de energía en todo el mundo (ACEEE, 2019).

A nivel mundial, las cifras muestran que el impacto de la eficiencia energética en la demanda se ha reducido a la mitad en los últimos 20 años en comparación con los 20 años anteriores. Una de las razones más importantes es la falta de datos adecuados para construir los indicadores apropiados. Sin datos no hay indicadores, y sin indicadores resulta complicado hacer una evaluación sólida de una situación. Por lo tanto, este déficit de información conlleva dificultades para optimizar la forma de evaluar y de diseñar políticas, así como para monitorear el progreso y las fallas (IEA, 2018).

En México acorde al Programa Nacional de Desarrollo (PND) 2013-2018, dada la importancia de la energía para el desarrollo de cualquier economía, resultaba indispensable abastecer de energía al país con precios competitivos, calidad y eficiencia a lo largo de la cadena productiva (SEGOB, 2014).

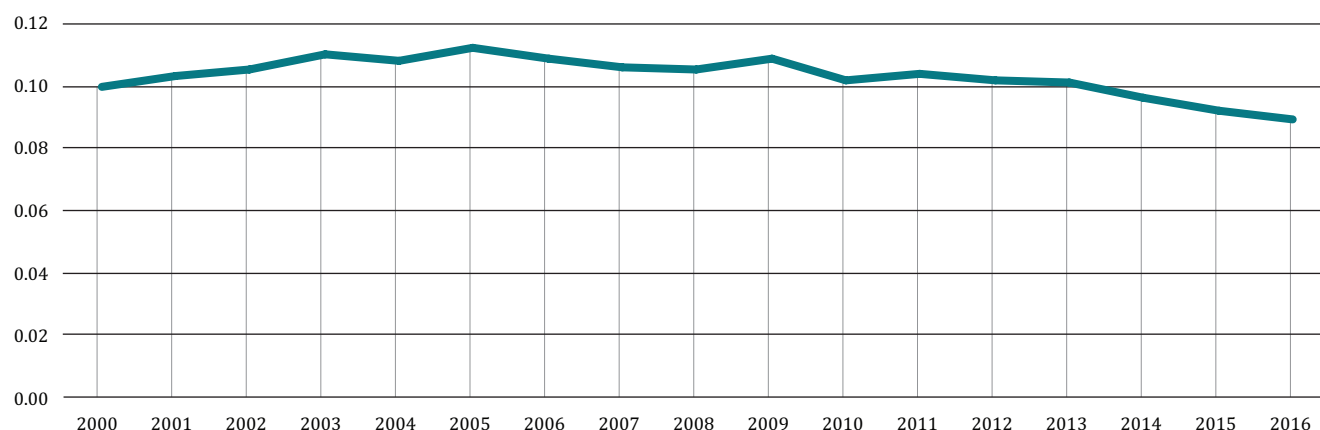
Para lograr lo anterior se establecieron seis objetivos con sus respectivos indicadores de cumplimiento, siendo el principal el “Diseñar y desarrollar programas y acciones que propicien el uso óptimo de energía en procesos y actividades de la cadena energética nacional”, y una meta vinculante de mantener a 2018 una

intensidad energética por lo menos igual a la de 2012 (667.47 kJ/\$ de PIB producido a moneda de 2008) (SEGOB, 2014).

En general, acorde a datos de la Agencia Internacional de Energía (IEA, por sus siglas en inglés) (2019), el desempeño-país en términos

de intensidad energética, considerando la energía primaria, ha mostrado una tendencia decreciente en los últimos años al pasar de 0.102 toe/1000 USD (2010) en 2012 a 0.0809 toe/1000 USD (2010) en 2016 (Figura 1), lo que representa una tasa de crecimiento anual compuesta (CAGR, por sus siglas en inglés) de -3.8%.

Figura 1. Intensidad energética medida en términos de energía primaria y PIB, 2016 (toe/1000 dólares (2010)).

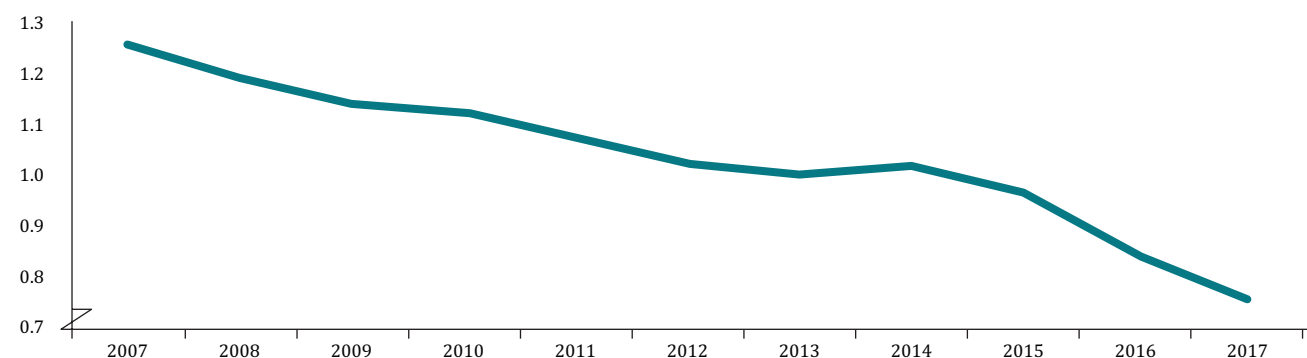


Fuente: Elaboración de los autores con datos de IEA-SDG 7 (<https://www.iea.org/sdg/efficiency/>)

No obstante, lo anterior, en términos de seguridad energética, al cierre de 2017 el país presentó un índice de independencia energética equivalente a 0.76. Es decir, generó 24% menos energía de la necesaria para satisfacer las diversas actividades productivas y de consumo dentro del territorio

nacional (Figura 2). Siendo la independencia energética un índice internacional para medir el grado en que un país puede cubrir su consumo de energía derivado de su producción; si este es mayor a uno, se considera que el país es independiente energéticamente (SENER, 2017).

Figura 2. Índice de independencia energética, 2007-2017.



Fuente: Balance Nacional de Energía, SENER 2017.

Durante los últimos diez años, este indicador ha variado en promedio en -5%, por lo que, de seguir el comportamiento tendencial observado, en 15 años el país se volvería una nación totalmente dependiente de energía primaria.

Por lo anterior, resulta prioritario prestar especial atención a aquellos sectores económicos que presenten una alta demanda energética, para comprender el por qué y así poder definir nuevas vías de descarbonización de la economía en el corto y mediano plazo, tal como el sector transporte, sector que consume el 44% del total de la energía neta del país (SENER, 2017), además de ser el principal emisor de GEI (SEMARNAT, 2015).

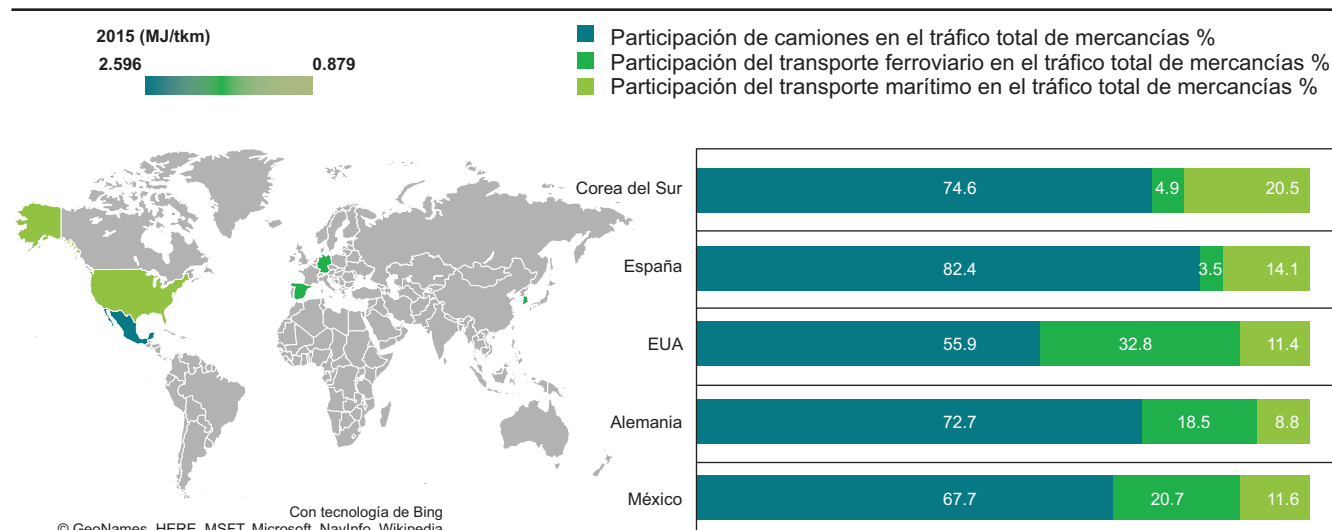
En específico para el subsector autotransporte de carga, actor clave de este estudio al consumir en 2016 el 23.3% de la energía total del sector transporte con una participación de sólo el 2% del total de vehículos en el país (BIEE, 2019), entre las diferentes estrategias y líneas de acción propuestas por el gobierno federal que permitirían incidir en el uso óptimo de la energía a nivel país, se encontraban: el incrementar la eficiencia en el consumo de energía del sector transporte y

fortalecer las capacidades nacionales de investigación relacionada a la eficiencia energética.

En este sentido, en la reciente Evaluación Internacional de Eficiencia Energética elaborada por ACEEE (2018), en donde México ocupó la posición 12 de los 25 países que más consumen energía en el mundo, se reconoce la necesidad de incorporar componentes más rigurosos sobre estándares de ahorro de combustible para el transporte pesado de carga, además de que el país podría verse beneficiado si incrementa la inversión en el tránsito ferroviario. En cuanto a la intensidad energética del autotransporte de carga, el estudio también la muestra como una oportunidad de mejora ya que México tiene un alto consumo de energía por tonelada-km (tkm) recorrido.

De hecho, en base a datos reportados por la BIEE (2019), en el país se consume en promedio 2 veces más combustible por tonelada-km que países con mayor participación del autotransporte de carga en el tráfico total de mercancías, tales como Alemania, Corea del Sur y España, y 2.5 veces más que su principal socio comercial, los Estados Unidos de América (EUA) (Figura 3).

Figura 3. Consumo unitario de transporte de mercancías ajustado al reparto modal, México respecto a diversos países (2015).



Fuente: Elaboración de los autores con base a datos de BIEE (2019). Como el transporte de mercancías por vías navegables o trenes requiere menos energía por unidad de tráfico que por carretera, las diferencias en la distribución modal afectan el consumo unitario de transporte de mercancías. Este gráfico muestra cuál sería el consumo unitario de transporte de mercancías (por tonelada.km) de diversos países suponiendo el mismo reparto modal que México.

Como principal antecedente de investigación en el tema de indicadores de eficiencia energética y su importancia como instrumento para la transición energética, en 2011, la Secretaría de Energía (SENER) (2011) con apoyo financiero y tecnológico de la IEA y la Embajada Británica, publicó el documento “Indicadores de Eficiencia Energética en México: 5 sectores, 5 retos”. Partiendo de la revisión estadística, los autores concluyeron que la información existente del autotransporte era insuficiente para el cálculo de los indicadores; por lo que se llevaron a cabo reuniones con dependencias y organismos vinculados al subsector autotransporte. El resultado obtenido para el autotransporte de carga al utilizar 648.5 PJ en el año 2010, de los cuales predominó el uso de diésel con 49.6%, seguido por 46.3% de gasolina y 4.1% de gas L.P., fue una intensidad energética de 0.5 MJ / tonelada-kilómetro.

Con lo anterior como premisa, esta propuesta de investigación pretende coadyuvar a la definición de indicadores de eficiencia energética (IEE) para el subsector autotransporte de carga, los cuales podrán ser utilizados para el diseño de políticas públicas integrales que consideren y fomenten la interacción entre la infraestructura, el transporte y la logística (CEPAL, 2010), y posteriormente, monitorear su efectividad.

Así, en la primera sección del desarrollo de esta propuesta, se parte del enfoque de utilizar datos institucionales (disponibles hasta 2017), para la recopilación de información acorde a la propuesta metodológica de la Agencia Internacional de Energía (IEA, 2018). En una segunda sección del desarrollo se utilizan, en combinación, datos provenientes de encuestas para validar y soportar la recolección de datos. Posteriormente en la sección de resultados se presentan el conjunto de indicadores obtenidos haciendo una comparación de estos entre el año 2012 y 2017. Finalmente se analiza el impacto de los IEE en la delimitación de políticas integrales de transporte.

La delimitación de este estudio comprende sólo a los bienes transportados en territorio mexicano y en específico por modo terrestre.

DESARROLLO

Bajo los principios de: a) la recopilación de datos y el desarrollo de indicadores no deben verse como un fin en sí mismo, sino más bien como un comienzo para su uso posterior y b) recopilar sólo la información necesaria que permita diseñar y aplicar políticas públicas adecuadas, esta propuesta estima, como primera etapa, los indicadores sugeridos por la Agencia Internacional de Energía (IEA, 2018). Para lo cual se analiza de manera sucinta la información procedente de bases de datos y documentos institucionales de libre acceso disponibles en internet.

Como segunda etapa, se analiza información compartida por la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), procedente del programa piloto “Transporte Limpio”.

Análisis de información institucional

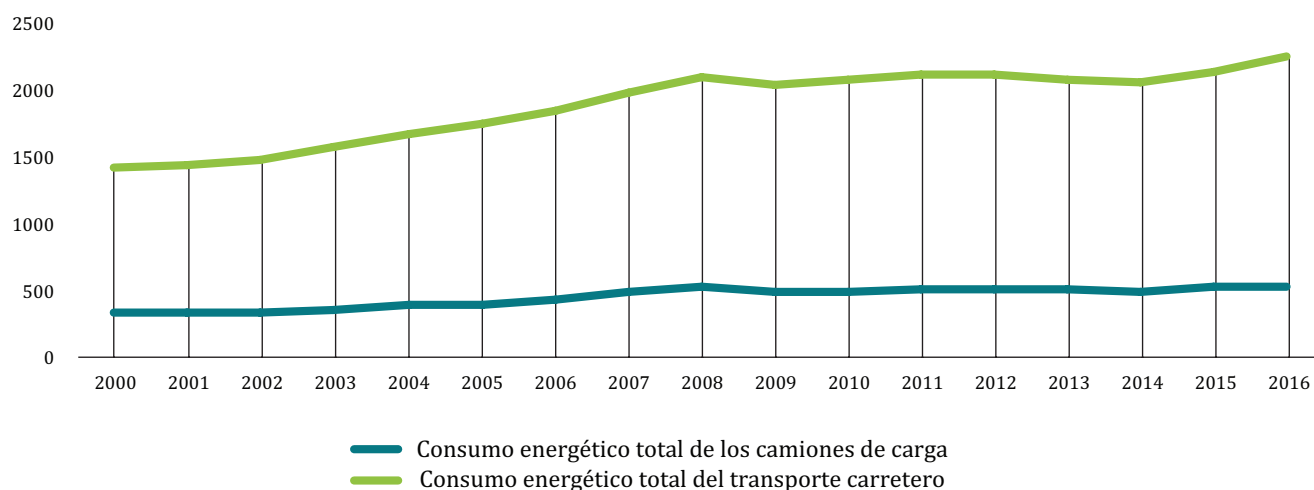
Durante la última década, el PIB nacional ha mostrado una tendencia decreciente al pasar de 1.2 a 0.92 billones de dólares. Durante el mismo período, el aporte del autotransporte de carga paso del 2.87% en 2010 a 3.25% en 2017 (CANACAR, 2018).

Dado que el sector transporte, es el sector que más consume energía en el país y, por ende, el sector que más emisiones de carbono genera, esta propuesta de investigación coadyuva a la definición de indicadores de eficiencia energética para el autotransporte de carga, los cuales podrán ser utilizados posteriormente para el diseño de políticas integrales de transporte.

Entre 2000 y 2016, el consumo energético total de los camiones de carga paso de 339 PJ en el año 2000 a 524.3 PJ en 2016 (Figura 4) lo que

representa una participación, respecto al consumo energético total del transporte carretero, del 23.9% y el 24.9% respectivamente (BIEE, 2019).

Figura 4. Consumo energético total de los camiones de carga respecto al transporte carretero, 2000-2016 (PJ).



Fuente: Elaboración de los autores en base a datos de BIEE (2019).

Acorde a SENER (2018), durante el 2017 la demanda total de petrolíferos fue de 1,543 miles de barriles diarios (mbd), de los cuales el país sólo produjo el 42.7%, destinando el 79.4% del total a las necesidades del sector transporte. Por tipo de motor, el 97.6% del parque vehicular empleo sistemas con base a gasolina, es decir 33,489 miles de vehículos. El mismo año, aproximadamente 1,148 miles de vehículos empleo sistemas con base a diésel (SCT, 2017).

El consumo de gasolinas en 2017 fue de 798.8 miles de barriles diarios, que al dividirlos entre el número de unidades con motor a gasolina se obtiene un consumo promedio de 0.024 barriles día/vehículo y una generación diaria de 294.9 miles de toneladas de CO₂ (considerando un factor de emisión promedio de 2.322 kg CO₂/litro (INECC, 2014)).

Del total del diésel suministrado en 2017 para el sector transporte (344 mbd), 12.9 mbd fueron consumidos por el transporte marítimo y 13.4 mbd por el transporte ferroviario. Por diferencia, se obtiene que el transporte carretero consumió

317.7 mbd, obteniéndose un valor de consumo promedio de 0.277 barriles día/vehículo, 11.5 veces más que los vehículos a gasolina, y una generación diaria de 131.13 miles de toneladas de CO₂ (considerando un factor de emisión promedio de 2.596 kg CO₂/litro (INECC, 2014)).

A mediano plazo, SENER (2018) prevé que las gasolinas continuarán siendo el combustible de mayor demanda en el autotransporte al incrementar 30% su demanda, alcanzando 1 040 mbd al año 2032. Así mismo, durante el período 2018-2032, el consumo de diésel se incrementará en 55%, alcanzando los 492.7 mbd, dado el aumento en el parque vehicular de uso intensivo de dicho combustible.

En la actualidad en México, la demanda de diésel en el autotransporte se destina principalmente al transporte de carga y pasajeros (SENER, 2014). Durante el 2017, la clasificación de unidades vehiculares del autotransporte de carga por clase de vehículo se compone básicamente de cuatro tipos de vehículos, tal como se muestra en la siguiente tabla 1.

Tabla 1. Clasificación de unidades del autotransporte de carga por clase de vehículo y número de unidades en 2017.

Vehículo	Clase	Total
Camión de dos ejes	C-2	84,226
Camión de tres ejes	C-3	73,909
Tractocamión de dos ejes	T-2	2,968
Tractocamión de tres ejes	T-3	301,088
Otros		825

Fuente: Elaboración de los autores en base a SCT (2017).

Dando un total de 463,016 unidades motrices, de los cuales 420,527 (91%) operaron con diésel (Tabla 2). Otro tipo de unidades de carga, tales como grúas, tolvas, revolvedoras, representan 497, 124 unidades. Así mismo, en el mismo año, circularon 231,000 autobuses de pasajeros a diésel (SCT, 2017).

Tabla 2. Unidades motrices del Autotransporte de Carga por Tipo de Combustible, 2017.

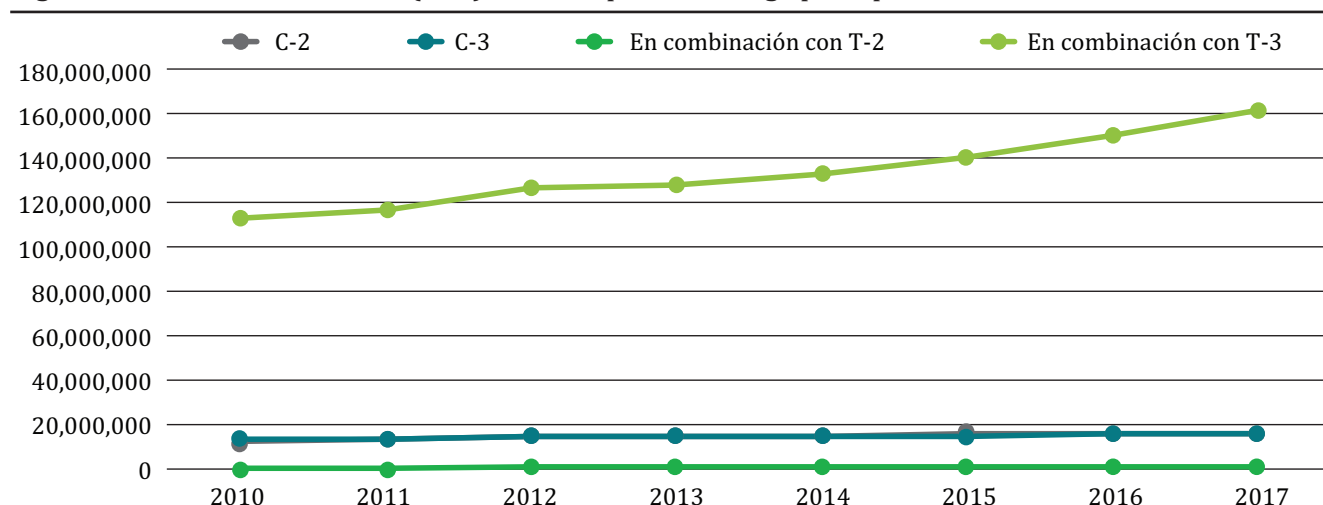
Diésel	Gasolina	Gas	Gas-Gasolina	Electricidad	Total
420,527	35,853	1,862	4,773	1	463,016

Fuente: Elaboración de los autores en base a SCT (2017).

En cuanto al tráfico de toneladas-km desplazadas por el autotransporte de carga durante el período 2010-2017, acorde a datos de SCT (2017), este ha crecido a una tasa anual compuesta de 2.18% en las diferentes modalidades de

transporte, tal como se muestra en la figura siguiente, siendo la clase de vehículo T-3, en sus diferentes combinaciones, la predominante con el 82% de material desplazado en 2017 con un total de 230,952 millones de tkm.

Figura 5. Toneladas-kilómetro (tkm) del transporte de carga por tipo de vehículo.



Fuente: Elaboración de los autores con datos de SCT (2017).

Respecto a las toneladas totales transportadas por clase de vehículo en 2017, el 71.8% o 431.5 millones de toneladas se movilizaron en vehículos clase T-3 (Tabla 3) con una distancia media recorrida por tonelada transportada de 535 km (SCT, 2017).

Tabla 3. Toneladas desplazadas, toneladas-km y distancia media recorrida, por clase de vehículo.

Clase de vehículo	Demanda atendida Toneladas* (miles)	Tráfico, Toneladas-km* (miles)	Distancia media recorrida por tonelada transportada (km)
C-2	37,732	7,238,163	192
C-3	73,206	16,371,699	224
En combinación con T-2	4,149	1,574,249	379
En combinación con T-3	431,501	230,951,889	535
Otros	54,396	25,480,800	468.4
Total	600,984	281,616,800	

Fuente: Elaboración de los autores con datos de SCT (2017).

Otra variable recomendada por la IEA para el cálculo de indicadores de eficiencia energética en el transporte, son los vehículos-km (vkm) totales del autotransporte de carga, que se obtiene de la sumatoria del producto del número de vehículos de las diferentes clases por su distancia media recorrida por tonelada transportada (km), dando un total en 2017 de 427.8 millones vkm (Tabla 4).

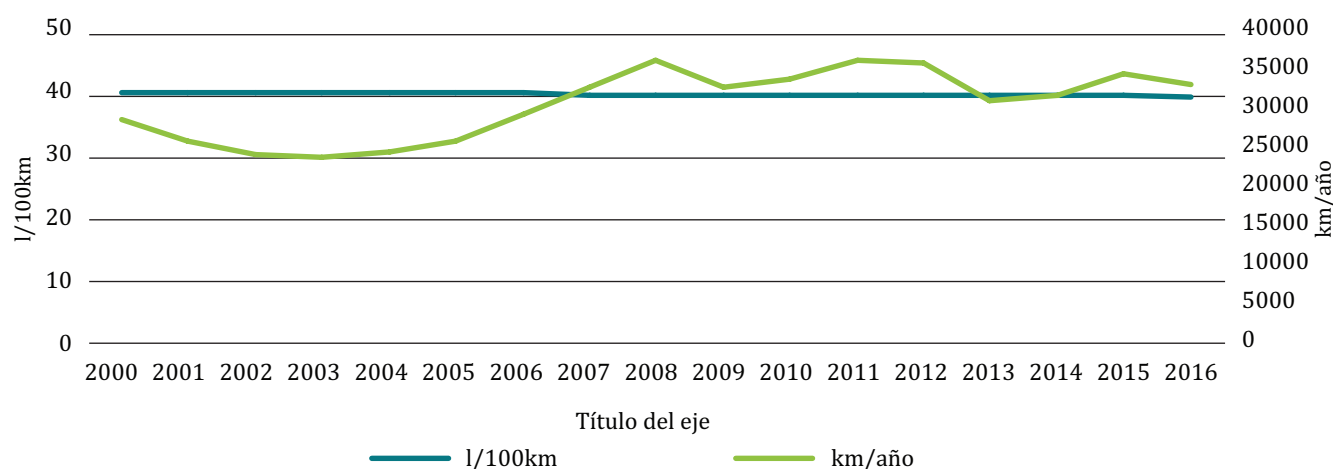
Tabla 4. Estimación de vkm, 2017.

Clase de vehículo	Unidades	km	vkm
C-2	84,226	192	16,136,298
C-3	73,909	224	16,528,693
T-2	2,968	379	1,126,207
T-3	301,088	535	161,150,771
Otros	497,124	468.4	232,852,882
Total			427,794,851

Fuente: Elaboración de los autores con datos de SCT (2017).

Respecto al rendimiento promedio de consumo de combustible de vehículos de carga durante el período 2000-2016 (Figura 6), éste prácticamente se ha mantenido constante al pasar de 40.7 litros / 100 km a 40.1 litros / 100 km (2.46 km/l a 2.49 km/l) (BIEE, 2019).

Figura 6. Kilómetros recorridos del autotransporte de carga VS. consumo específico de combustible (2000-2016).



Fuente: BIEE (2019).

Bajo los principios de:
a) la recopilación de datos y el desarrollo de indicadores no deben verse como un fin en sí mismo, sino como un comienzo para su uso posterior y b) recopilar sólo la información necesaria que permita diseñar y aplicar políticas públicas adecuadas, esta propuesta estima diferentes indicadores de eficiencia energética para el autotransporte de carga en base a la información administrativa disponible y posteriormente se compara con datos estimados provenientes de información recabada por la SEMARNAT, procedente del programa piloto “Transporte Limpio”.

Así mismo, acorde a datos de BIEE (2019), entre el año 2000 y el 2016 el consumo energético de camiones de carga y autobuses de pasajeros ha seguido una relación de 82/18. Aplicando dicha relación al consumo de diésel del transporte carretero (317.7 mbd) y considerando despreciable el consumo de vehículos particulares de pasajeros, se estima que los vehículos de carga a diésel consumieron 260.5 mbd, lo que

representa el 75.7% del consumo de diésel del sector transporte y un consumo energético anual de 539.18 PJ (Densidad promedio= 0.826 kg/l, Poder calorífico promedio= 43.18 MJ/kg (INECC, 2014)).

Análisis de información proveniente de encuestas

Recientemente la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) ha implementado a nivel nacional un programa voluntario que busca que el transporte de carga y pasaje que circula por el país sea más eficiente, seguro, competitivo y amigable con el medio ambiente, al cual ha denominado “Transporte Limpio”.

Para la realización de esta propuesta de investigación se tuvo el apoyo de SEMARNAT, la cual a través de la Subdirección del Sector Transporte se tuvo acceso a 180 cuestionarios aplicados a diversas empresas de transporte de carga con sistemas de propulsión a diésel.

Dado que los datos recibidos incluían una clasificación por tipo de recorrido, corto o largo, los datos promedio resultantes se derivan de una ponderación entre número de unidades y tipo de recorrido.

Así, en las siguientes tablas se muestran los datos resumidos para la categoría de tracto-camión (T2 y T3) y camiones (C2 y C3).

Tabla 5. Valores promedio ponderados sobre desempeño de tractocamiones.

	Promedio
No. Unidades	119
Kilómetro promedio por tractocamión por año	119,265.8
Litros de combustible consumido por tractocamión por año	49,179.9
Rendimiento promedio (km/l)	2.4
Promedio de carga útil (en toneladas) por tractocamión por viaje	24.1
Promedio de horas de marcha mínima por tractocamión por año	487.5
Vida útil promedio (años)	8.1

Fuente: Elaboración de los autores en base a encuestas aplicadas por SEMARNAT.

Tomando en cuenta el número de unidades T2 y T3 mostradas en la Tabla 1 y las tkm desplazadas durante el 2017, se obtiene una intensidad energética para tractocamiones de 2.2937 MJ/tkm, considerando solo al diésel como combustible.

Tabla 6. Valores promedio ponderados sobre desempeño de camiones a diésel.

	Promedio
No. Unidades	409
Kilómetro promedio por camión por año	86,552.8
Litros de combustible consumido por camión por año	29,122.5
Rendimiento promedio (km/l)	3.5
Promedio de carga útil (en toneladas) por camión por viaje	9.7
Promedio de horas de marcha mínima por camión por año	324.3
Vida útil promedio (años)	9.1

Fuente: Elaboración de los autores en base a encuestas aplicadas por SEMARNAT.

Respecto a la intensidad energética de camiones C2 y C3, considerando el número de unidades mostradas en la Tabla 1 y las tkm desplazadas durante el 2017, se obtiene una intensidad energética para camiones de 6.957 MJ/tkm.

Para calcular la intensidad energética tomando en cuenta tanto camiones como tractocamiones a diésel, en la siguiente Tabla 7, se muestran los valores promedio de todos los datos recabados en las encuestas.

Tabla 7. Valores promedio sobre desempeño de tractocamiones y camiones a diésel.

	Promedio
No. Unidades	249
Kilómetro promedio por camión por año	104,613.1
Litros de combustible consumido por camión por año	40,195.9
Rendimiento promedio (km/l)	2.89
Promedio de carga útil (en toneladas) por camión por viaje	17.7
Promedio de horas de marcha mínima por camión por año	414.4
Vida útil promedio (años)	8.6

Fuente: Elaboración de los autores en base a encuestas aplicadas por SEMARNAT.

Así, al multiplicar los 420,427 vehículos a diésel que circularon en 2017 por los 40,195.9 litros promedio de diésel consumido por camión por año, es posible estimar un consumo de energía de 602.89 PJ sólo de vehículos destinados a transporte de mercancía (C2, C3, T2 y T3).

Considerando la misma proporción de vehículos a diésel sobre el total de vehículos por tipo de combustible del 91% en el total de tkm transportadas en 2017, se estima que los vehículos a diésel desplazaron 233,083,760 miles de tkm, con lo cual se obtiene un valor de intensidad energética de 2.5866 MJ / tkm. Cabe hacer notar que la capacidad de transporte en términos de carga útil es aprovechada al 50% ya que el viaje representa el desplazamiento de ida y vuelta, influyendo así en el consumo de energía.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Si bien la metodología planteada por la IEA propone el cálculo de indicadores para el transporte de carga considerando todas las modalidades de transporte, en esta propuesta sólo se estiman los indicadores de eficiencia energética para el transporte de carga por carretera, dada la importancia y participación del modo de transporte en el sector del país, además de la disponibilidad limitada de datos. Para el cálculo

de los indicadores F2a y F2c, dado que más del 90% de las unidades que desplazan mercancías utilizan sistemas de combustión a diésel y por falta de información disponible, se consideró sólo el aporte energético de dicho combustible. Así mismo se hace una comparación de los valores resultantes respecto a valores estimados del 2012, utilizando el mismo procedimiento con datos de BIEE (2019), SENER (2013) y SCT (2012).

F1c= Consumo de combustible del transporte de carga

$$F1c_{\text{diésel}} = 260.5 \text{ mbd}$$

IEE / Año	2012	2017
F1c _{diésel}	247.24	260.5

F2a= Por cada modo de carga/tipo de vehículo:
consumo de energía por vkm

$$F2a_{\text{diésel}} = 539,180 \times 10^3 \text{ GJ} / 427,794,851 \text{ vkm}$$

$$F2a_{\text{diésel}} = 1.2604 \text{ GJ/vkm}$$

IEE / Año	2012	2017
F2a _{diésel}	1.632	1.2604

F2c= Consumo de energía del transporte de carga / total de toneladas-kilómetro desplazadas (tkm)

$$F2c_{\text{diésel}} = 539,180 \times 10^6 \text{ MJ} / 281,616.8 \times 10^6 \text{ tkm}$$

$$F2c_{\text{diésel}} = 1.915 \text{ MJ} / \text{tkm}$$

IEE / Año	2012	2017
F2c _{diésel}	1.97	1.915

F3a= Consumo de energía del transporte de carga / Producto Interno Bruto

$$F3a_{\text{diésel}} = 539,180 \text{ TJ} / 917,018 \text{ millones de dólares}$$

$$F3a_{\text{diésel}} = 0.5879 \text{ TJ} / \text{millones de dólares}$$

IEE / Año	2012	2017
F3a _{diésel}	0.4167	0.5879

Acorde a los resultados obtenidos, el valor de intensidad energética del diésel para el autotransporte de carga ha decrecido en un 2.8% entre el 2012 y el 2017 (CAGR= - 0.0056) alcanzando un valor de 1.915 MJ/tkm estimado por el método de análisis de datos institucionales. Aún no es posible contrastar este valor con el derivado del análisis de información procedente de encuestas, ya que, considerando el número de empresas establecidas en el país, 145,265, el número de cuestionarios compartidos por SEMARNAT no representa una muestra representativa, pero en términos generales corrobora un valor de intensidad energética del diésel cercano a 2 MJ/tkm. Valor que aún continúa siendo el doble del valor de intensidad energética de otras economías, ajustado al reparto modal del país (ver Figura 3). Y que, de acuerdo con la tendencia de decrecimiento mostrada, se alcanzaría una reducción sólo del 25% en la intensidad energética al año 2068.

Por otra parte, la relación consumo de energía del transporte de carga / PIB, muestra un incre-

mento del 41% al 2017 respecto del 2012, lo que demuestra la importancia del autotransporte de carga en el desempeño del país en los últimos años.

Además, al hacer una comparación del valor de intensidad energética estimado en 2010 al calculado en este trabajo (sólo para el diésel), existe un crecimiento de 7.7 veces al pasar de 0.248 MJ/tkm a 1.915 MJ/tkm.

Delimitación de una nueva política integral de transporte

Realizando un análisis de las variables que componen a la intensidad energética (IE) del autotransporte de carga, esta es igual a la relación entre energía consumida (MJ) en un período de tiempo y las toneladas-kilómetro (tkm) desplazadas. Por lo tanto, si se considera como objetivo principal de una nueva política integral del transporte de carga el crear una red logística nacional eficiente y eficaz, se requiere que en el corto plazo el valor de intensidad energética del transporte carretero se reduzca, con lo cual se pueden identificar los siguientes escenarios de actuación:

1) Que la energía consumida se reduzca y que las toneladas-kilómetro desplazadas se mantengan constantes. Esto requeriría de acciones como capacitar a los operadores de vehículos de carga en programas de conducción eficiente o instalar tecnologías que reduzcan el consumo de combustible o renovar la flota a unidades que ofrezcan mejores condiciones de rendimiento de consumo de combustible. Además de programas adecuados de mantenimiento a las unidades, reducir la vida útil de los vehículos, entre otros.

2) Que la energía consumida se reduzca y que las toneladas-kilómetro desplazadas se incrementen. De manera similar al punto anterior, pero además se deben implementar programas de gestión de carga

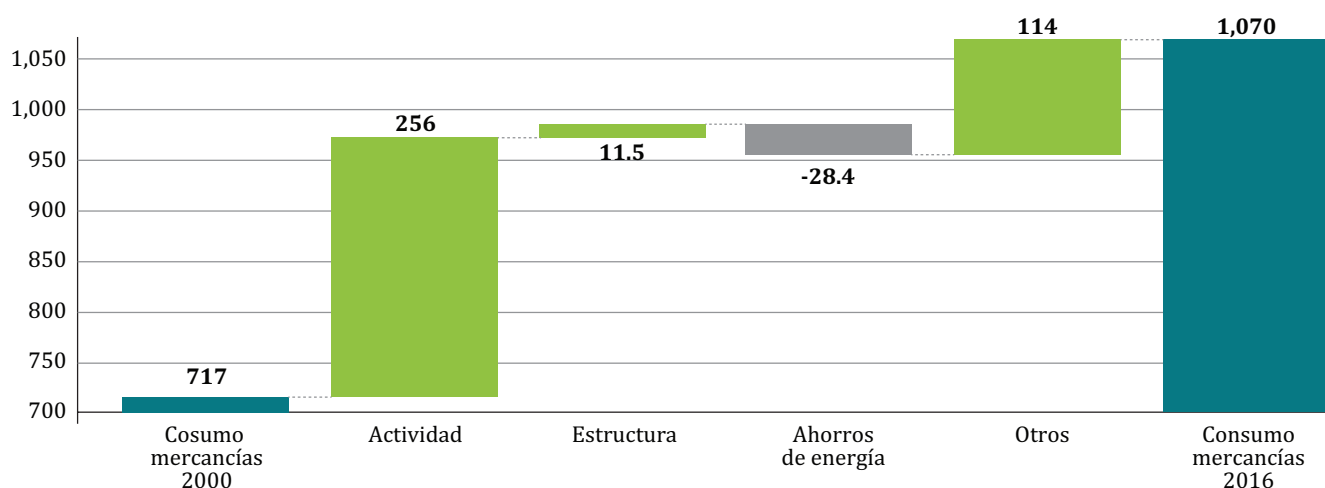
para incrementar la productividad de la capacidad de transporte y seleccionar el tipo de transporte adecuado acorde a los requerimientos de embarque.

3) Que la energía consumida se mantenga constante y que las toneladas-kilómetro desplazadas se incrementen. Si bien el rendimiento de combustible de los camiones de carga se ha mantenido constante en la última década, no significa que la relación de km/l sea la más adecuada. Este escenario requeriría de maximizar la capacidad de transporte, así como impulsar la multimo-

dalidad con sistemas de transporte impulsados por energías alternas.

De hecho, al hacer una revisión sobre la variación del consumo de energía en el transporte de mercancías entre el año 2000 y el 2016, de los 353 PJ de crecimiento en el consumo energético, el 72.5% se debió al incremento por la propia actividad de transporte, pero el 32.3% es atribuible a “otros” efectos, derivados del comportamiento y “ahorros negativos” y debido a la baja utilización de la capacidad de transporte, tal como se muestra en la figura siguiente (BIEE, 2019).

Figura 7. Variación del consumo del transporte de mercancías- PJ (2000-2016).



Fuente: BIEE, 2019.

Dado lo anterior, algunas estrategias identificadas (Smart Freight Centre, 2017; Tavasszy et al., 2019), que permitirían reducir la intensidad energética del autotransporte de carga y que deberían ser consideradas en el diseño de una política integral de transporte, se comentan a continuación de manera sucinta:

- **Consolidación y transbordo de carga.** La consolidación es un tema habitual en la gestión logística debido a la posibilidad de aumentar la utilización y la eficiencia de los vehículos. Esto involucra la creación Centros de Consolidación Urbana (UCC, por sus siglas en inglés), que son

instalaciones logísticas que reciben transporte entrante y sirven como depósito para las entregas de última milla. Se pueden hacer más paradas por vehículo y se pueden combinar rutas o tiempos. Además, que los viajes de última milla podrían ejecutarse con vehículos cero emisiones, como camionetas eléctricas o vehículos ligeros de carga eléctrica.

- **Logística compartida.** Un enfoque importante para hacer frente a las ineficiencias en el sistema de transporte es que las empresas cooperen entre sí. Se debe incentivar la cooperación tipo logística horizontal, en lugar de la cooperación

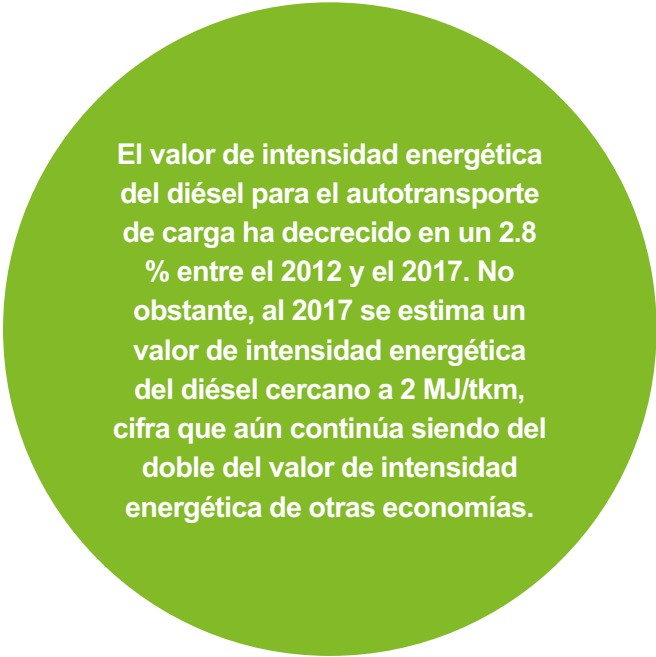
tipo logística vertical (como la integración a lo largo de la cadena de suministro o la subcontratación). La cooperación logística horizontal se puede definir como: cooperación entre dos o más empresas que están activas en el mismo nivel de la cadena de suministro y realizan una función logística comparable. En el transporte de carga se pueden identificar tres tipos de objetos compartidos entre empresas cooperantes: intercambio de pedidos, capacidad compartida y el intercambio de información.

- **Gestión mejorada de la flota con Sistemas de Transporte Inteligentes** (ITS, por sus siglas en inglés). Los proveedores de servicios de logística requieren coordinar su parque vehicular mediante un sistema de gestión de flota para operar de manera más eficiente.

- **Gestión de la Demanda** (FDM, por sus siglas en inglés), como su nombre lo indica, son políticas de transporte que gestionan la demanda de carga en establecimientos comerciales y residencias, al alterar la frecuencia, el tiempo y el modo de entregas. Tales iniciativas se centran en cambiar el comportamiento de los receptores (es decir, la demanda del servicio de carga), que indirectamente cambian el comportamiento de los transportistas y el tráfico de carga (es decir, el suministro de transporte utilizado para satisfacer la demanda de carga). Algunos ejemplos son las entregas fuera de horario, antes de las horas pico de tráfico urbano. En este caso, los transportistas evitan la congestión del tráfico, lo que aumenta la fiabilidad de su llegada.

Además, es conveniente incentivar la economía de combustible y limitar los estándares de emisión de gases de efecto invernadero para vehículos pesados para facilitar la transición a vehículos más eficientes en combustible, dado que aquellos camiones renovados o restaurados con carrocerías nuevas, pero con motores y transmisiones viejas, suelen emitir entre 20 y 40 veces más emisiones que los nuevos motores diésel (Khan, 2019).

Por otro lado, también se debe tener en cuenta el tipo de empresa predominante en el sector autotransporte de carga. Solo en 2017, la flota de vehículos de carga en México (463,016 unidades motrices y 453,916 unidades de arrastre), con una antigüedad promedio de 15.11 años, se distribuyó entre 145,265 empresas, de las cuales el 81% fueron microempresas hombre-camión (1-5 unidades) y solo 970 empresas grandes (más de 100 unidades) (SCT, 2017).



El valor de intensidad energética del diésel para el autotransporte de carga ha decrecido en un 2.8 % entre el 2012 y el 2017. No obstante, al 2017 se estima un valor de intensidad energética del diésel cercano a 2 MJ/tkm, cifra que aún continúa siendo del doble del valor de intensidad energética de otras economías.

Tal cantidad de microempresas en el autotransporte federal, ha sido derivado por la desregulación y la facilidad de acceso al mercado de transporte de carga, propiciando así una fuerte competencia para dar el servicio, incentivando el uso de camiones de segunda mano y la importación de camiones usados procedentes de los EUA, lo cual ha agudizado la situación, apareciendo la depredación de tarifas por el segmento hombre-camión que ha visto una oportunidad de negocio sin entrar a la economía formal ofreciendo el servicio a precios por debajo del costo de operación promedio (Quintero, 2014).

Estudios previos realizados por Padilla y Solís (2012), han reconocido que las barreras que impiden al hombre-camión y al pequeño transportista incrementar su eficiencia pueden resumirse en:

- Dificultad de acceder a los créditos para la renovación de sus vehículos, dada su condición de informalidad y de personas con ingresos irregulares.
- Baja exigencia de seguimiento de normas ya sea por la poca capacidad de verificación por parte de la autoridad, o bien, por la inexistencia de normas estrictas que los impulsen a mantener camiones que brinden seguridad y desempeño aceptables.

Además, las barreras antes mencionadas se ven acentuadas en primer lugar, por el desconocimiento de los hombres-camión tanto de sus costos de operación, como de los beneficios que pueden obtener al renovar sus unidades y en segundo término la estructura oligopólica que caracteriza al sector, en la que unos cuantos participantes despliegan conductas de mercado que buscan disuadir, excluir o restringir la operación de los demás concurrentes e impedir la entrada de nuevos competidores (CCA-MCE2, 2011, mencionado por (Padilla y Solís, 2012)).

Así mismo, es fundamental considerar el impacto de la calidad en la infraestructura para el transporte de carga y como esta permite crear condiciones de combinación de diferentes modalidades de transporte.

CONCLUSIONES

Ante el inminente crecimiento de demanda de hidrocarburos en México y el escenario de dependencia energética en el corto plazo, resulta necesario tener claridad en la manera en que se consumen dichos combustibles para definir e implementar las medidas necesarias que permitan hacer más eficiente su consumo o inclusive reducirlo. El vehículo T3 es el medio

predominante para desplazar mercancías en el país con el 82% de tkm en 2017, utilizando como principal combustible el diésel y con un rendimiento de combustible casi constante en más de una década. Así mismo, se identifica el comportamiento de la intensidad energética del autotransporte de carga en los últimos años, que si bien presenta una tendencia negativa de 2.8 puntos porcentuales entre el 2012 y el 2017, es insuficiente para alcanzar valores de desempeño internacional, con la posibilidad de alcanzar sólo una reducción del 25% al año 2068 ante un escenario tendencial, razón por la cual es necesario implementar políticas integrales que permitan incrementar la productividad del sector, teniendo en cuenta las necesidades de los diferentes actores involucrados y provocando la interacción entre la infraestructura, el transporte y la logística. Tal situación representa diversas oportunidades de mejora a través de la identificación de las tecnologías más adecuadas, cambios de comportamiento y hábitos, optimización de procesos de manejo y distribución de materiales, así como, la flexibilidad política y presupuestal que permitirían hacer eficiente el consumo de combustible incidiendo en la reducción de emisiones contaminantes y la descarbonización de la economía. Es indudable la realización de un estudio posterior que identifique el impacto de las diferentes estrategias de solución entre los diferentes actores involucrados en el sector transporte de carga, considerando el costo-beneficio de su implementación.

Analizando la variación del consumo de energía en el transporte de mercancías entre el año 2000 y el 2016, de los 353 PJ de crecimiento en el consumo energético, el 72.5% se debió al incremento por la propia actividad de transporte, pero el 32.3% es atribuible a "otros" efectos, derivados del comportamiento y "ahorros negativos" debidos a la baja utilización de la capacidad de transporte.

REFERENCIAS

- ACEEE (2019). The 2018 International Energy Efficiency Scorecard. American Council for an Energy-Efficient Economy [en línea]. <https://aceee.org/research-report/i1801> 13/02/2019
- BIEE (2019). Base de datos. Base de Indicadores de Eficiencia Energética de México, Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía [en línea]. <http://www.biee-conuee.enerdata.net/> 03/05/2019
- CANACAR (2018). Indicadores Económicos Nacionales. Cámara Nacional del Autotransporte de Carga [en línea]. https://canacar.com.mx/app/uploads/2019/01/Nacionales_Economica_2018_Web.pdf 12/03/2019
- CEPAL (2010). Hacia una política integral de transporte: institucionalidad, infraestructura y logística- el caso de Chile. Comisión Económica para América Latina y el Caribe [en línea]. https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/36213/1/FAL-282-WEB_es.pdf 18/11/2018
- IEA (2018). Energy Efficiency Indicators: Fundamentals on Statistics. International Energy Agency [en línea]. <https://webstore.iea.org/energy-efficiency-indicators-fundamentals-on-statistics> 22/01/2019
- IEA (2019). Sustainable Development Goal 7. Energy Efficiency. International Energy Agency [en línea]. <https://www.iea.org/sdg/efficiency/> 22/03/2019
- INECC (2014). Factores de emisión para los diferentes tipos de combustibles fósiles y alternativos que se consumen en México. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático [en línea]. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/110131/CGCCDBC_2014_FE_tipos_combustibles_fosiles.pdf 03/05/2019
- Khan, S. (2019). At risk: Heavy-duty vehicle fuel economy. American Council for an Energy-Efficient Economy [en línea]. <https://aceee.org/blog/2019/08/epa-stalls-progress-heavy-duty> 21/08/19
- Padilla, X. y Solís, J. (2012). Recopilación de información de los estudios existentes sobre las acciones y programas que impulsan una modernización de la flota de carga y su uso más eficiente en México. Instituto de Políticas para el Transporte y Desarrollo México [en línea]. <http://transferproject.org/wp-content/uploads/2014/04/DIAGNO--STICO.Recopilacion-de-la-informacion.pdf> 17/03/2019
- Quintero, E. (2014). Índices de precios en el transporte por carretera. Instituto Mexicano del Transporte [en línea]. <http://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt424.pdf> 10/01/2019
- SCT (2012). Estadística básica 2012. Secretaría de Comunicaciones y Transporte [en línea]. <http://www.sct.gob.mx/transporte-y-medicina-preventiva/autotransporte-federal/estadistica/2012/> 18/04/2019
- SCT (2017). Estadística básica 2017. Secretaría de Comunicaciones y Transporte [en línea]. <http://www.sct.gob.mx/transporte-y-medicina-preventiva/autotransporte-federal/estadistica/2017/> 18/04/2019
- SEGOB (2014). Programa Nacional para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía 2014-2018. Secretaría de Gobernación [en línea]. http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5342503&fecha=28/04/2014 07/04/2019
- SEMARNAT (2015). México rumbo a la COP-21. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [en línea]. <http://www.depfe.unam.mx/actividades/15/Paris2015sem-SEMARNAT.pdf> 15/06/2018
- SENER (2011). Indicadores de eficiencia energética en México: 5 sectores, 5 retos. Secretaría de Energía [en línea]. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/85305/Bibliograf_a_6.pdf 12/06/19
- SENER (2013). Prospectiva de petróleo crudo y petrolíferos 2013-2027. Secretaría de Energía [en línea]. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/62951/Prospectiva_de_Petr_leo_y_Petrol_feros_2013-2027.pdf 17/01/2019

SENER (2014). Prospectiva de petróleo crudo y petrolíferos 2014-2028. Secretaría de Energía [en línea]. http://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/62946/Petr_leo_y_Petrol_feros_2014-2028.pdf 17/01/2019

SENER (2017). Balance Nacional de Energía 2017. Secretaría de Energía [en línea]. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/414843/Balance_Nacional_de_Energ_a_2017.pdf 13/02/2019

SENER (2018). Prospectiva del Petróleo Crudo y Petrolíferos. Secretaría de Energía [en línea]. http://base.energia.gob.mx/Prospectivas18-32/PPP_2018_2032_F.pdf 13/02/2019

Smart Freight Centre (2017). Developing a Sustainable Urban Freight Plan –a review of good practices [en línea]. <https://www.smartfreightcentre.org/pdf/Developing-a-Sustainable-Urban-Freight-Plan-a-review-of-good-practices-SFC-Final-June2017.pdf> 26/01/2019

Tavasszy, L., Van Duin, R., Taniguchi, E., Thompson, R., Joubert, J., Teoh, T., Qureshi, A. (2019). Sustainable Urban Freight Transport: A Global Perspective. MOOC Course. Delft University of Technologies [en línea]. <https://www.edx.org/course/sustainable-urban-freight-transport-a-global-perspective>