

Retos y estrategias gubernamentales para mitigar las emisiones de GEI del autotransporte de carga en México.

Governmental strategies and challenges to mitigate GHG emissions from freight carriers in Mexico.

Dr. Edgar Roberto Sandoval García, Dra. Rosa Laura Patricia Edith Franco

González, Ing. Juan Manuel Fernández Morales

rsandovg75@gmail.com, pfranco.cpem@gmail.com, j_m_fer@hotmail.com

Tecnológico de Estudios Superiores de Cuautitlán Izcalli, Estado de México, México.

Resumen.

De manera global se estima que a 2030 el autotransporte de carga será el principal emisor de gases de efecto invernadero del sector transporte. En México, la creciente movilidad de materiales, productos y personas durante las últimas décadas han sido factores clave para posicionar al sector económico del transporte como el de mayor intensidad energética y de carbono en el país. Con la intención de reconocer el impacto de las estrategias gubernamentales para mitigar los compuestos de efecto invernadero (CEI) y los retos involucrados, en específico para el subsector autotransporte de carga, se plantea un análisis con la intención de anticipar oportunidades y posibles barreras para cada escenario de implementación, donde la promoción del transporte multimodal y el aprovechamiento de combustibles alternos tendrían que ser factores clave para alcanzar las metas planeadas. Sin embargo, se requiere plantear metodologías de optimización que tomen en cuenta las ventajas y desventajas de cada línea estratégica, así como los costos de implementación y externalidades.

Abstract

Globally it is estimated that medium and heavy-duty trucking will be the largest emitter of greenhouse gases in the transport sector. In Mexico, the increasing mobility of materials, products and people during the last decades have been key factors to position the transport industry as the most energy and carbon intensity sector in the country. Intending to recognize the impact of government strategies to mitigate greenhouse compounds and the challenges involved, specifically for the trucking subsector, an analysis is proposed with the intention of anticipating opportunities and possible barriers for each implementation scenario, where the promotion of multimodal transport and use of alternative fuels would have to be key factors in achieving the planned goals. However, it is necessary to propose an holistic optimization methodology that take into account advantages and disadvantages of each strategic path as well as implementation of costs and externalities.

Palabras Clave: estrategias gubernamentales, compuestos de efecto invernadero, autotransporte de carga.

Key words: governmental strategies, greenhouse effect compounds, heavy-duty trucks.

Introducción.

Durante las últimas décadas, el transporte de materiales, bienes y personas en México ha sido un sector en franco crecimiento, con una flota vehicular que se multiplicó más de tres veces entre 1996 y el primer semestre de 2016, pasando de 7.5 a 26.9 millones de unidades (INEGI, 2016).

Además de que dicho sector es el mayor consumidor de energía y generador de gases de efecto invernadero en el país (22.2% del total), donde más del 94% de dichas emisiones del sector provinieron del subsector autotransporte (INECC, 2010). De hecho, al cierre del 2014, el sector transporte consumió el 45.9% de la energía destinada a satisfacer las necesidades del país con 2,246.4 PJ, en donde la gasolina fue el energético de mayor consumo con 1,448.2 PJ (SENER, 2014).

Estimaciones previas del Centro de Transporte Sustentable de México (IMT, 2012), revelaron que el 25% de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) del sector transporte son generados por el autotransporte de carga, subsector con sólo el 1.3% del total de vehículos en circulación durante 2014. A nivel mundial se estima que las emisiones de GEI a ser emitidas por el subsector autotransporte de carga sobrepasen a las provenientes de los vehículos particulares en 2030 (EPA, 2015).

Por lo anterior, como premisa, resulta importante analizar las estrategias propuestas por el Gobierno Federal para hacer frente a la problemática global de cambio climático, respecto a su capacidad de mitigar y revertir las emisiones de carbono equivalente del sector transporte y, en específico, del subsector autotransporte de carga al 2030, dada su potencialidad de convertirse en el principal emisor del sector.

En este sentido, con el objetivo de identificar los retos y oportunidades que ofrece cada una de las líneas de acción en la consecución del 21% de reducción de GEI provenientes del autotransporte de carga nacional, en esta propuesta se parte de las líneas estratégicas propuestas por el Gobierno Federal para mitigar las emisiones de carbono equivalente del sector transporte nacional, enfocándolas a las acciones a realizar en el subsector autotransporte de carga a mediano y largo plazo. Posteriormente se hace un análisis de cada estrategia planteada, para finalmente discutir los resultados encontrados.

Estrategias gubernamentales de México para la reducción de los compuestos de efecto invernadero en el sector transporte.

Acorde a la Organización de Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE), México es el cuarto país miembro que más emitió dióxido de carbono equivalente (CO₂e) durante el 2010, con 701,360 miles de toneladas sólo por debajo de los Estados Unidos de América (EUA)¹, Japón y Alemania (OCDE, 2016).

Dado lo anterior, y como parte del compromiso global de reducción de emisiones de GEI, los acuerdos bajo la Convención de Cambio Climático de 2015 y, siguiendo el principio de responsabilidades comunes pero diferenciadas, México ha propuesto una serie de Contribuciones Nacionalmente Determinadas (iNDC, por sus siglas en inglés) como principales medidas de mitigación y adaptación al cambio climático, con un período de implementación entre 2020 y el 2030 (SEMARNAT, 2015).

En específico para el sector transporte, México se ha planteado reducir en un 21%, de manera no condicionada, los compuestos de GEI respecto a la línea base (Tabla N°1).

Tabla 1. Reducción de emisiones de GEI para el sector transporte, 2013-2030 (Mt CO₂e).

Año	Línea base (Mt CO ₂ e)				Meta no condicionada (Mt CO ₂ e)
	2013	2020	2025	2030	2030
Sector Transporte	148	185	205	229	181

Fuente: Sandoval, Edgar, sobre la base de datos de SEMARNAT (2015), México rumbo a la COP-21.

En este sentido, el Gobierno Federal ha planteado cinco estrategias principales de mitigación (SEMARNAT, 2015), para conseguir los valores meta planteados de reducción de emisiones de no más de 181 Mt CO₂e al año 2030, siendo éstas:

- Homologar en el Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN) la normatividad ambiental para vehículos.
- Dotación de gasolinas y diésel de ultra bajo azufre.
- Incrementar la flota vehicular a gas natural y disponer de combustibles limpios.
- Modernización de parque vehicular y reducción en la importación de usados.
- Impulsar el transporte multimodal de carga y pasajeros.

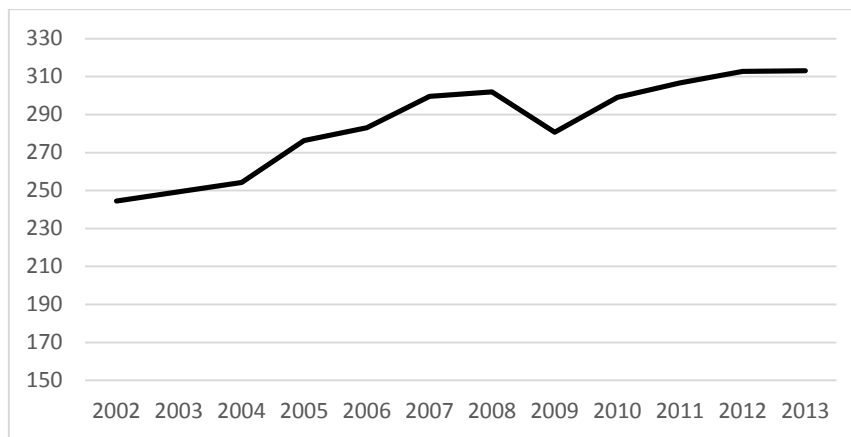
¹ Si bien el país ocupó el 4º lugar, las emisiones generadas representaron sólo el 10% de las emitidas por los EUA, país emisor número 1 de la OCDE.

Aunque dichas estrategias aplican tanto al transporte privado, de pasajeros y de carga; en las siguientes secciones se analizarán sólo las implicaciones para el sector autotransporte de carga, dada la dominancia del sector en el manejo de bienes y mercancías en el país, donde tan sólo en 2015 el 63.3% de las exportaciones totales del país se realizaron por este medio de transporte (BANCOMEXT, 2016) y por ende su potencial impactó en las emisiones totales de dióxido de carbono equivalente.

Homologar en el TLCAN la normatividad ambiental para vehículos.

Con el fin de analizar esta estrategia gubernamental, uno de los principales indicadores de productividad del sector transporte de carga a nivel internacional, las toneladas-kilómetro (t-km) representan las toneladas transportadas en un país en un determinado tiempo por la variable de kilómetros, dividido por una unidad promedio (número de viajes) (Fig. N°1). A este respecto en México durante 2012, el tráfico doméstico de carga calculado en función del tonelaje de mercancías transportadas y del recorrido promedio en cada modo de transporte fue de 299 mil millones de toneladas-kilómetro (IMT, 2012).

Figura 1. Bienes transportados por sistemas tierra-adentro (autotransporte, tren, corrientes fluviales, ductos) en México, 2002-2013 (miles de millones de t-km).



Fuente: Sandoval, Edgar, sobre la base de datos de la OCDE (2016), OECD Factbook 2015-2016.

Conforme a un estudio conservador, el Instituto Mexicano del Transporte (2012) estimó que el autotransporte de carga incrementaría su participación en el manejo de mercancía al pasar de 233,464 millones de t-km en 2012 a 248,301 millones de toneladas-kilómetro en 2014, incremento que representaría una tasa anual acumulada de crecimiento (CAGR, por sus siglas en inglés) del 3.13%.

Considerando la tasa acumulada anual anteriormente calculada, se estima que el tráfico doméstico de carga desplazado por el autotransporte en 2013 fue de aproximadamente 240.8 mil millones de t-km. No obstante, datos publicados por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT, 2017) muestran que en 2013 el autotransporte de carga desplazó sólo 235.4 mil millones de t-km.

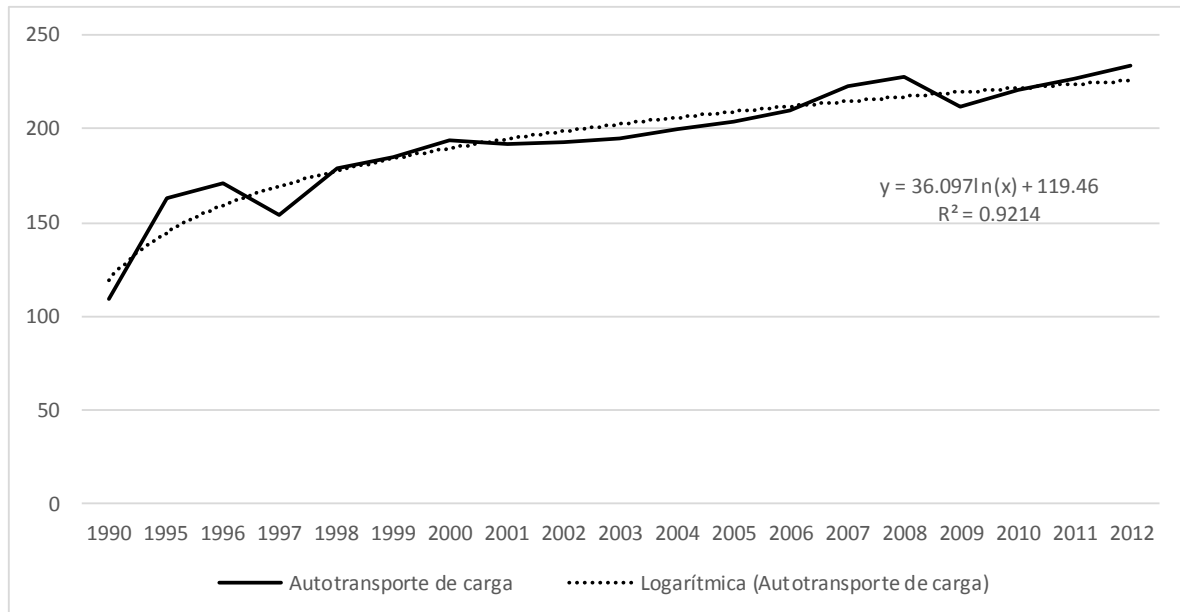
Por otra parte, durante 2013 el sector transporte emitió 148 Mt CO₂e (SEMARNAT, 2015). Tomando en cuenta información previa (IMT, 2012), donde se estima que el autotransporte de carga participó con aproximadamente el 25% del total de las emisiones de GEI del sector transporte nacional, es posible inferir que, durante el 2013, 37 Mt CO₂e provinieron del subsector autotransporte. Emisiones que al dividirse por el valor publicado de 235.4 mil millones de t-km desplazadas en el mismo año, se obtiene una intensidad de carbono equivalente (ICe) del sector autotransporte de carga de 157.18 tCO₂e / Mt-km durante 2013.

Cabe mencionar que la ICe del sector autotransporte de carga en los EUA fue de 180 tCO₂e / Mt-km (Cleveland y Morris, 2013). Lo cual representa una ICe nacional 12.7% por debajo de la de su principal socio comercial. Sin embargo, hay que considerar que recientemente, la Agencia de Protección Ambiental de los EUA (EPA, por sus siglas en inglés) ha anunciado que antes del 2030, en dicho país, se tiene planeado abatir en más de 24% las emisiones de carbono para diferentes modalidades del autotransporte de carga (EPA, 2015).

Si bien la ICe puede depender de diversos factores tales como: la calidad de la infraestructura carretera, la vida útil y el nivel de mantenimiento de las unidades, la orografía de cada país, las toneladas transportadas-viaje acorde a la normatividad, la calidad de los combustibles, intensidad de tráfico, entre otros, la ICe del autotransporte nacional estará por encima de la reportada en los EUA a mediano plazo, razón por la cual es necesario aplicar drásticas medidas de diferente índole (innovadores sistemas logísticos, plan de renovación de unidades, mejoras tecnológicas, estándares de emisiones, etc.), para poder reducir la cantidad de carbono equivalente por cada tonelada-km transportada en el país y de esta manera alcanzar la homologación en la normatividad ambiental a mediano plazo.

Además, al proyectar para el sector autotransporte nacional el crecimiento del tráfico doméstico de carga al año 2030 (aplicando una regresión logarítmica, Fig. N°2), éste podría alcanzar un valor de 394.4 mil millones de toneladas-kilómetro. Asimismo, la meta gubernamental de emisiones totales del sector transporte al 2030 es de 181 Mt CO₂e (-21% respecto a la línea base).

Figura 2. Bienes transportados por el autotransporte de carga en México, 1990-2015 (miles de millones de t-km).



Fuente: Sandoval, Edgar, sobre la base de datos de North American Transportation Statistics (2017), disponible en: <http://nats.sct.gob.mx>

Bajo el supuesto de que el sector autotransporte continuará participando con el 25% de las emisiones del sector, entonces la ICe-2030 sería del orden de 119.8 tCO₂e/Mt-km, lo cual representa una disminución de más del 23% respecto a la ICe-2013 estimada. Esta situación significa un gran reto para el país en donde la innovación (provocada por estándares de emisiones, normas y regulación cada vez más estrictos), un nuevo comportamiento empresarial y de consumo, podrían ser estrategias clave para lograrlo.

Cabe aclarar que en caso de no lograr las metas de reducción de emisiones y se continúe con la línea tendencial de generación de emisiones, al 2030, el sector transporte estaría emitiendo 229 Mt CO₂e, lo que significa una posible Ice de 145.16 tCO₂e/Mt-km, lo que significa una reducción de aproximadamente 8% sólo por incremento de carga desplazada.

Dotación de gasolinas y diésel de ultra bajo azufre.

Otra estrategia gubernamental a analizar es la dotación de gasolinas y diésel de ultra bajo azufre; misma que desde hace varias décadas se ha documentado, dado el alto rendimiento energético mostrado, que los motores a diésel pueden reducir hasta 30% las emisiones de dióxido de carbono sobre vehículos convencionales a gasolina.

No obstante, dadas las exigencias de mitigación de GEI a nivel global, y ante el inminente impacto de los vehículos de carga sobre el nivel de emisiones de carbono equivalente a mediano plazo, es necesario impulsar nuevas medidas que permitan reducir y controlar las emisiones contaminantes al medio ambiente.

Este entorno no resulta tan simple, dado que la presencia de azufre en los combustibles y sus posteriores compuestos formados durante la combustión provocan un potencial efecto inhibitor de las diferentes tecnologías para el control de contaminantes vehiculares, incluyendo material particulado (PM, del inglés Particulate Matter), óxidos de nitrógeno (NOx) e hidrocarburos, razón por la cual resulta clave el cambio inmediato a combustibles catalogados como de ultra bajo contenido de azufre (UBA), (Blumberg et al., 2003).

Así, acorde al autor antes citado, entre la principal aportación de los combustibles UBA (10-15 ppm) a los sistemas de combustión está permitir el uso de equipo de absorción de NOx incrementando su control hasta niveles superiores al 90%, tanto en vehículos a diésel como de gasolina, además que con este tipo de combustibles es posible alcanzar valores de eficiencia máxima de los sistemas de filtración a valores cercanos al 100% de reducción de PM.

De ahí la importancia de contar con suministro pronto y oportuno de Diésel UBA en el país, ya que tendría un impacto de gran alcance en los beneficios para la salud y el medio ambiente causado principalmente por el material particulado y otras emisiones contaminantes provenientes del transporte.

Para lograr tal transición hacia un uso total de Diésel UBA en el país, se deberá concluir la actualización de la Norma Oficial Mexicana-044, prevista para el 2018, ya que esta establece los límites máximos permisibles de emisiones contaminantes provenientes de motores nuevos que usan diésel y que se utilizarán para vehículos automotores nuevos con peso bruto vehicular mayor de 3,857 kilogramos, donde el principal requisito para la aplicación de esta norma es la disponibilidad de diésel menor a 15 ppm (Martínez, 2015).

En México, la demanda de diésel en el autotransporte se destina principalmente al transporte de carga y pasajeros. En 2014 se contabilizó un parque vehicular con motor a diésel de 854.5 miles de vehículos, lo que representa una participación de 2.8% del parque vehicular total nacional (SENER, 2014).

En específico, para el subsector autotransporte de carga, con 395,552 unidades, 89.2% de las unidades utilizaron diésel y 9.2% utilizaron gasolina (SCT, 2015). Diésel

que, acorde a la NOM-086-SEMARNAT-SENER-SCFI-2005 (DOF, 2005), se continúa comercializando en el país con un contenido máximo de azufre de 500 ppm. En cambio, desde diciembre del 2010, todo el combustible diésel vendido en los EUA ha sido UBA.

Incrementar la flota vehicular a gas natural y disponer de combustibles limpios.

La quema de combustibles fósiles representa el principal aporte de GEI a nivel mundial; por lo que se analizará una de las líneas estratégicas gubernamentales de mitigación es el uso del gas natural licuado (GNL) como combustible alternativo para el sector autotransporte de carga; donde las principales ventajas que ofrece la tecnología de combustión basada en GNL respecto al uso del diésel son: 20% de reducción de GEI y 33% de reducción de NOx, manteniendo la potencia, el torque y la eficiencia en el uso de combustible (CEC, 2009).

Además de que durante el ciclo de vida total del GNL en el sector autotransporte de carga existe una disminución del 21% en las emisiones de GEI respecto al diésel (Tabla N°2).

Tabla 2. Emisiones de GEI durante el ciclo de vida de un tracto-camión, por tipo de combustible (gCO₂e/galón de diésel equivalente).

Combustible	Extracción	Proceso	Transporte y almacenamiento	Emisiones durante su uso	Ciclo de vida total
LNG	447	1397	259	7954	10,057
Diésel	888	1480	336	9966	12,669

Fuente: Sandoval, Edgar, sobre la base de la Comisión de Energía de California, EUA (2009). Tecnología LNG-Kenworth, disponible en <http://www.energy.ca.gov>.

Sin embargo, considerando el potencial como GEI del metano y su alta volatilidad habría que tomar en cuenta la magnitud de pérdidas durante la cadena de distribución del gas natural e inclusive durante su uso, lo cual podría representar un aporte negativo a las propuestas de mitigación del cambio climático (Camuzeaux, Alvarez, Brooks, Browne, Sterner, 2015).

Por lo que, ante un escenario de transición para el país, en el cual se considera reemplazar al menos el 10% de los 251,456 tracto camiones a diésel que circularon en el país durante el 2014 con 15.1 años de vida promedio (SCT, 2015), a nuevas unidades basadas a GNL, significaría dejar de emitir aproximadamente 4.93 millones

de toneladas de CO₂e, durante un período de siete años de uso², lo cual equivaldría al 6.66% de la meta total del sector a reducir al 2030.

Ante el escenario anteriormente planteado, las principales barreras a enfrentar serían:

- a. La capacidad limitada de fabricación instalada de tracto camiones en el país; pero que, a su vez, de instalarse representaría una fuente alternativa de empleos de personal altamente capacitado. Se estima que para el reemplazo de 8,400 tracto camiones a tecnología GNL en los EUA, se podrían generar 10,300 empleos directos (CEC, 2009).
- b. Dependencia tecnológica del sistema de combustión a GNL; lo cual permite explorar nuevas oportunidades de innovación y transferencia tecnológica, y de participación de capital humano especializado, lo cual motivaría la vinculación academia-gobierno-industria ante un requerimiento tecnológico.
- c. Dependencia del gas natural de importación. Si bien con la Reforma Energética de 2013 se preveía una autosuficiencia de gas natural a mediano y largo plazos, al cierre de 2014, aproximadamente 40% de la demanda nacional se cubrió con gas natural de importación, además de que los bajos precios de importación actuales y estimados a mediano plazo desalientan el desarrollo de proyectos de explotación de yacimientos de gas natural nacional. Una alternativa que tendría que ser evaluada y explotada ampliamente, con los instrumentos adecuados de fomento, sería el gas natural procedente del biogás³, con un potencial de 309.66 PJ (13.8% del consumo total del sector transporte en 2014) (SENER, 2011), generado a partir de rellenos sanitarios y residuos animales del país⁴.
- d. Mecanismos de financiamiento para la renovación de la flota vehicular, dado que la estructura empresarial de carga en México está dominada por la estructura Hombre-camión (1-5 unidades), se tendrían que explorar nuevos mecanismos de colaboración como las actividades cooperativas y atractivos esquemas de financiamiento, acorde a las necesidades del sector, para poder reducir costos de operación y tasas crediticias. Otra posibilidad que se tendría que explorar es la de poder utilizar los recursos que entran al país como remesas de los connacionales en los EUA, bajo esquemas ganar-ganar, y que

² Pruebas realizadas por los principales fabricantes de tracto camiones en EUA estiman que, durante un período de siete años de uso, una unidad que utilice LNG dejará de emitir 3.6 ton de NO_x y 196 ton de GEI.

³ Recurso renovable procedente de desechos sólidos y líquidos con una composición entre 60-80% de metano, del cual su uso actual para la generación de energía es casi nulo en el país.

⁴ Considerando un potencial de 5.4 millones de toneladas de gas natural/año procedente en su mayoría de excretas porcícolas y bovinas, así como de 186 rellenos sanitarios en México.

desde hace varias décadas representan una de las principales fuentes de divisas del país.

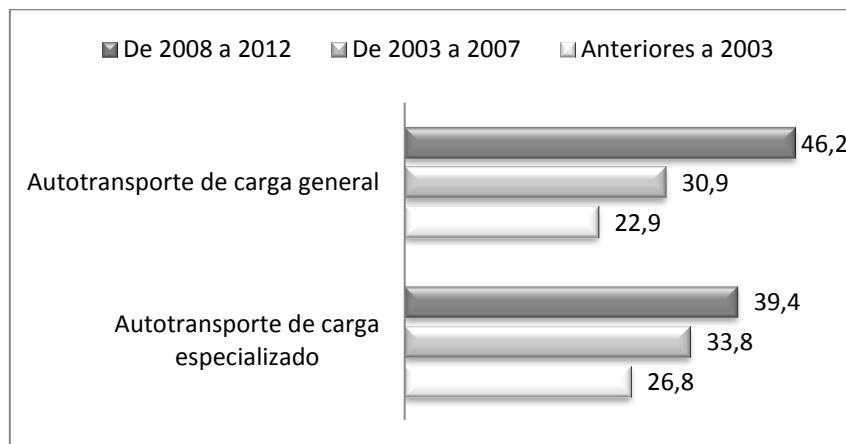
- e. El GNL no está considerado como un combustible de impacto en los estudios prospectivos de la Secretaría de Energía, al pasar sólo de 400 a 600 barriles diarios de petróleo equivalente entre 2014 y 2029 (SENER 2015), lo que predice falta de apoyo, difusión y creación de políticas públicas que incentiven su uso en el sector transporte.
- f. Carencia de infraestructura de distribución de GNL para transporte.

Modernización de parque vehicular y reducción en la importación de usados.

Una de las grandes afectaciones en el sector transporte, y en específico para los vehículos ligeros, es la importación de vehículos usados de bajo costo procedentes de los EUA, lo que implica un bajo desempeño en la eficiencia de uso del combustible y altas emisiones de GEI. Situación que no es tan común en las empresas de autotransporte de carga. No obstante, existe un amplio diferencial entre los valores oficiales reportados de vida útil de las unidades entre diferentes organismos analistas del sector.

Por ejemplo, acorde a datos de INEGI (2014), el sector autotransporte de carga presentó una de las flotas con mayor cantidad de vehículos con modelos entre 2008-2012: 46.2% de unidades para el autotransporte de carga general y 39.4% para el autotransporte de carga especializado (Fig. N°3).

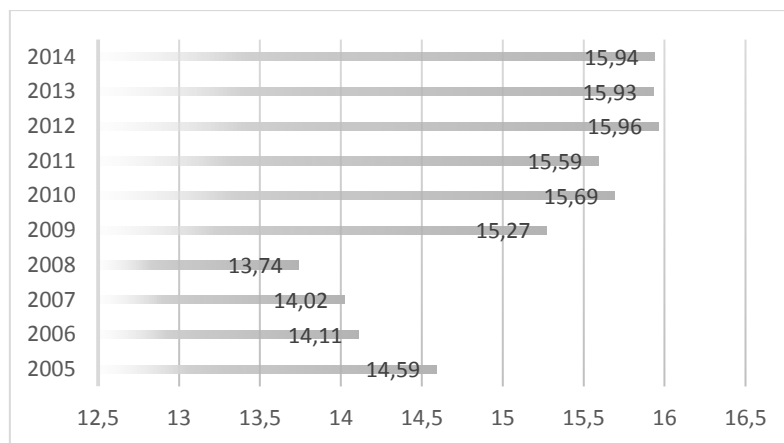
Figura 3. Parque vehicular según año de fabricación, 2012 (%).



Fuente. Sandoval, Edgar, sobre la base de INEGI (2014), Perfil de los transportes de México.

Por otro lado, los datos que presenta la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT 2015), muestra que desde 2009 hasta el 2014 la edad promedio de la flota vehicular para el autotransporte de carga está por encima de los 15 años (Fig. N°4).

Figura 4. Edad promedio (en años) de los vehículos de carga en México, 2005-2014.



Fuente: Sandoval, Edgar, sobre la base de la SCT (2015). Estadísticas del Autotransporte Federal 2005-2014.

Lo anterior podría provocar diversas confusiones al momento de diseñar políticas públicas que incentiven la modernización del parque vehicular o al tratar de optimizar el ciclo de vida útil de las unidades de carga. Sería adecuado contar con datos que reflejen la realidad del sector y proponer metodologías de optimización de vida útil considerando diferentes escenarios de operación.

Impulsar el transporte multimodal de carga y pasajeros.

Ante las metas globales de desarrollo sostenible que involucran el crecimiento económico, inclusión social y protección medioambiental, resulta clave establecer un sistema de transporte con menor intensidad energética y de carbono, tal como podría ser el transporte ferroviario y/o el marítimo (Tabla N°3). Medida que no sólo permitiría incrementar la resiliencia del sector transporte a la variabilidad de los costos de los combustibles, sino que además contribuiría ampliamente a cumplir las metas de descarbonización del sector.

Tabla 3. Intensidad energética y de carbono equivalente por modo de transporte, 2013.

Tipo de transporte	Intensidad energética (MJ/t-km)	Intensidad de carbono equivalente (t CO ₂ e/t-km x 10E ⁶)
Tren (EUA)	0.3	18

Camiones (EUA)	2.7	180
Aéreo (EUA)	10	680
Ductos de gas (EUA)	1.7	180
Aéreo internacional	10	680
Marítimo internacional, contenedor	0.2	14
Marítimo internacional, granel	0.2	11
Marítimo internacional, tanque	0.1	7

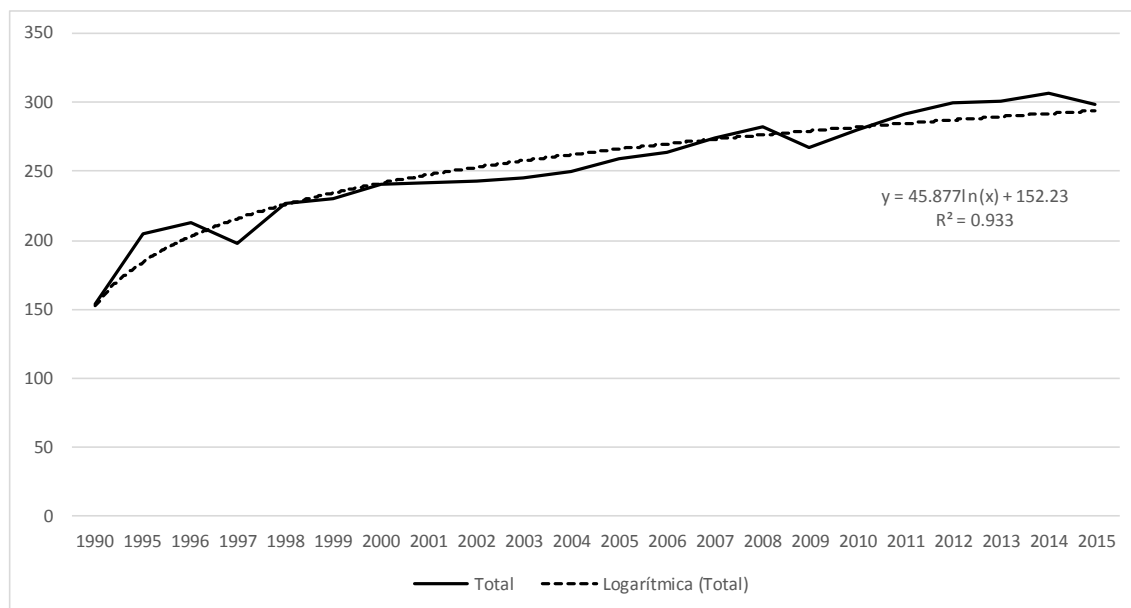
Fuente: Sandoval, Edgar, sobre la base del Handbook of Energy, Elsevier, 2013.

Con el objetivo de determinar la participación modal óptima a 2030 que podría contribuir a la meta estimada de 21% de reducción de GEI para el sector transporte, se realizó un ejercicio de optimización mediante la herramienta Solver de Microsoft Excel, basado en el algoritmo Simplex, suponiendo la homologación de Ice a 2030 entre México y los EUA con un valor de 136.8 Mt CO₂e/t-km, considerando los mismos valores de Ice mostrados en la Tabla N°3 para el transporte ferroviario y marítimo, y tomando en cuenta, como principales limitaciones del sistema, los valores de: 501,619.6 millones de toneladas-km a ser trasladadas por el sector transporte (en base a proyección logarítmica del comportamiento del sector entre 1990 y 2015, Fig. N°5), 47.25 Mton de CO₂e (presumiendo que 25% de las emisiones de carbono equivalente del sector transporte continúan proviniendo del transporte de carga) y una participación máxima del transporte marítimo del 8.8%⁵ del total de t-km desplazadas (valor promedio de participación entre 1990 y 2015), de lo cual se obtiene que la proporción óptima de participación por tipo de transporte debería ser: 61.1% autotransporte, 30.1% ferroviario y 8.8% marítimo.

Ante el escenario tendencial de alcanzar una Ice de 145.16 Mt CO₂e/t-km, al 2030, la proporción óptima de participación por tipo de transporte debería ser: 57.1% autotransporte, 34.1% ferroviario y 8.8% marítimo.

⁵ El transporte de carga marítimo ha reducido su participación del 12.6% en 1990 a 7.8% en 2015, con una ligera tendencia de recuperación desde un valor mínimo de 7.5% en 2012.

Figura 5. Bienes transportados por el transporte de carga en México, 1990-2015 (miles de millones de t-km).



Fuente: Sandoval, Edgar, sobre la base de datos de North American Transportation Statistics (2017), disponible en: <http://nats.sct.gob.mx>

En este sentido, estudios previos para México sobre la disminución de emisiones de carbono (Johnson, 2010), sugieren establecer como meta un 37% de la carga transportada por ferrocarril al 2030. Valor similar al estimado en esta propuesta de optimización con un rango entre 30.1% y 34.1%, considerando las metas de reducción de emisiones y la homologación en la intensidad de carbono equivalente a mediano plazo.

Dada la cultura del transporte de carga en el país de utilizar mayoritariamente transportes terrestres, el incremento en la participación del ferrocarril para la movilidad de mercancías sería la vía natural hacia una transición multimodal, además de que tendría un impacto directo en la disminución de emisiones al ser entre 8 y diez veces menos contaminante que el sector autotransporte, siempre y cuando represente nueva demanda de carga a ser trasladada.

Para esto, desde finales del siglo pasado, los concesionarios del ferrocarril de carga han llevado a cabo inversiones destinadas a la modernización de la infraestructura ferroviaria nacional e implementación de mayor tecnología en sus sistemas y trenes, lo que se ha reflejado en la disminución de la intensidad energética del subsector, lo anterior derivado de mejores condiciones de operación, así como la disminución de costos y al incremento de velocidad promedio en sus traslados (SENER, 2015).

Para alcanzar un cambio modal sustancial del autotransporte carretero hacia el transporte ferroviario resulta necesario un estudio de optimización de cadenas logísticas y del tipo de carga que pueda ser transferido del transporte carretero al ferroviario, tal como lo ha recomendado el Instituto Mexicano del Transporte (IMT, 2012).

En dicho estudio se tendrían que tomar en cuenta diferentes factores tales como: uso óptimo de la infraestructura existente, mayor tasa de utilización de los vehículos, ajuste en el flujo de tráfico a horarios donde no exista alto congestionamiento, coordinación entre usuarios y proveedores de servicios de transporte de carga, uso de vehículos de carga eléctricos para la distribución en ciudades y sistemas e infraestructura inteligente de transporte.

A la par, acorde al estudio anteriormente citado, sería prudente aplicar medidas que desincentiven el uso del autotransporte para el flujo de carga de largo itinerario, en aquellos corredores en que se puede usar el ferrocarril para la mayor parte del trayecto, tales como la internalización del costo de las externalidades negativas (costo por emisiones de carbono, costos por congestionamiento vial, accidentes viales, etc.).

De forma alterna, ante una visión de mediano plazo, tendría que revisarse ampliamente el nexo Energía Renovable-Red Eléctrica de Transporte, dado el gran avance tecnológico en la generación de energía eléctrica mediante fuentes renovables de energía, la situación geográfica privilegiada del país para la implementación de sistemas de generación de energía renovable como la solar fotovoltaica, eólica, geotermia, biomasa, y los costos altamente competitivos de la electricidad generada por esta vía; además del avance tecnológico en sistemas híbridos de propulsión o totalmente eléctricos.

Resulta también necesario crear una serie de indicadores que nos permitan medir el avance de la transición hacia un sistema multimodal de carga, lo que permitiría evaluar de manera continua las políticas públicas diseñadas para tal finalidad. Una de las propuestas de este estudio es utilizar el nivel de inversión en infraestructura del sector transporte como indicador de transición. Por ejemplo, conforme al Programa de Egresos de la Federación (PEF) de la presente administración (Canto, 2016), se puede resumir, por modo de transporte, que el nivel de inversión ha sido:

- a. Inversión en carreteras: entre 2013 y 2016 se han invertido 224,834.3 millones de pesos (mdp), de los cuales, el 80% se ha utilizado para construir 18 de las 52 autopistas proyectadas para el 2018, además de que en el proyecto de presupuesto 2016 se tienen considerados más de 50,000 mdp, monto a

utilizarse para la construcción y modernización de autopistas, caminos rurales y carreteras.

- b. En ferrocarriles de carga: hasta el primer trimestre del 2016 se realizan inversiones de carácter público privado por más de 22,000 mdp; sin embargo, en el Programa Nacional de Infraestructura (PNI) se tienen trece proyectos programados con una inversión total de 54,000 mdp, con el fin de incrementar la velocidad y seguridad de las unidades.
- c. En cuanto al subsector de puertos: se tiene programado duplicar la capacidad operativa al pasar de 260 millones de toneladas de carga anuales a más de 500 millones, capacidad que al cierre del 2015 era de 380 millones de toneladas, de lo cual al primer trimestre del 2016 se habían invertido 67,000 mdp en total.
- d. Respecto a la infraestructura aeroportuaria: se han realizado modernizaciones que representan inversiones del orden de los 23,000 mdp.

Lo anterior demuestra que, durante los tres primeros años de la actual administración, el 67% del monto presupuestado ha tenido impacto directo al subsector autotransporte de carga, 20% del monto tendría impacto a nueva oferta marítima y un 14% de la inversión total se ha destinado en partes iguales al subsector ferroviario y aeroportuario, lo cual implicaría un indicador de bajo nivel de transición a sistemas multimodales de transporte.

Otro indicador adecuado para medir el grado de transición a un sistema multimodal de carga, podría ser el grado de integración de la plataforma logística del país (Villareal, 2012), lo cual involucraría la combinación de diferentes tipos de desarrollos inmobiliarios y de servicios, tales como: a) Parques logísticos (zona de actividad logística), b) Puertos secos (centro de distribución de gran tamaño, que facilita la conexión de los operadores con uno o más puertos convencionales) y c) Ciudades del transporte (espacio destinado al servicio mecánico, consolidación de carga, direccionamiento de unidades, evita el ingreso de las grandes unidades de carga a zonas urbanas).

Retos y oportunidades para el sector autotransporte de carga mexicano.

La definición de nuevos estándares de emisiones podría convertirse en un eficaz catalizador ante las metas planteadas de mitigación, siempre y cuando tengan una aplicación equitativa, en tiempo y forma, para todos los actores involucrados, así como una definición inmediata de inicio de operación. A su vez se tendrían que plantear

indicadores de avance de implementación y, durante su diseño, tomar en cuenta a los actores directos e indirectos a ser afectados.

Los combustibles UBA resultan ser un imperativo para poder acceder a los beneficios del avance tecnológico en materia de control de partículas suspendidas. De hecho, como en otros ámbitos de productividad, México ha tenido acceso a tecnologías de punta, pero si no son aprovechados a toda su capacidad o bajo las condiciones de diseño, el resultado es mínimo o inclusive perjudicial, al tener tecnología mal utilizada o aprovechada.

Además, se debe considerar que ante condiciones como las de hoy en día, de bajo presupuesto gubernamental e incertidumbre geo-política, el no contar con plantas de refinación de crudo con procesos alternos de eliminación de azufre podría poner en cuestionamiento el suministro confiable del combustible para todos los usuarios del país. Sin embargo, esto podría detonar la innovación de nuevos sistemas fisicoquímicos de eliminación de contaminantes en los centros de investigación y desarrollo con los que cuenta el país.

Ante el escenario de migrar a unidades de transporte basadas en GNL, si bien es una de las propuestas con gran posibilidad de impacto, también representa serios retos en materia de suministro confiable de combustible procedente de fuentes convencionales, dado los problemas de desabasto en años anteriores y el uso casi exclusivo por el sector industrial, así como de continuar con la dependencia tecnológica a pesar de ser una nación con gran experiencia en el sector automotriz. Otro punto en contra del uso masivo del GNL convencional es su alto nivel de fugas, dado el tamaño de la molécula del metano, desde las zonas de producción, transporte, hasta los puntos de consumo y su potencial efecto de GEI.

He aquí la importancia de explotar el gas natural procedente de desechos ganaderos y urbanos, ya que en la actualidad su uso productivo es mínimo, y en su gran mayoría termina liberándose a la atmosfera, con un efecto de GEI mayor al del dióxido de carbono resultante de su combustión.

Resulta también indispensable optimizar, acorde al nivel socioeconómico del país, el ciclo de vida útil de las unidades de transporte, considerando el acceso a fuentes de financiamiento acorde al perfil de los diferentes sectores empresariales.

Transitar a un sistema multimodal de transporte de carga es sin duda, una de las grandes respuestas planteadas desde hace varias décadas para reducir las emisiones de carbono del sector; sin embargo, dado el diseño actual del sistema de distribución y

transporte de los diferentes tipos de bienes y productos, resulta un tanto ineficiente. Por lo que, ante esta estrategia gubernamental, es necesario invertir en el desarrollo de infraestructura que permita una sincronización adecuada entre las necesidades de consumo y los diferentes sistemas de transporte involucrados, tales como ciudades de transporte, centros urbanos de distribución, entre otros.

Conclusiones.

Ante el gran reto que enfrenta el país de disminuir sus emisiones de GEI, las estrategias planteadas para el sector económico más contaminante del país, y en especial para el subsector de autotransporte de carga que se estima sea el de mayor participación a mediano plazo a nivel mundial, como se muestra en el anterior análisis, son consideradas las adecuadas para lograrlo.

No obstante, el poder aplicar cada una de las estrategias representa a su vez una serie de retos y posibles barreras a vencer como: suministro confiable de Diésel UBA, reducción de vida útil de la flota de autotransporte de carga, homologación de intensidad de carbono equivalente, la aplicación del multimodalismo y combustibles no convencionales.

En donde indiscutiblemente la innovación tecnológica vinculada a estándares de emisiones, normas y regulación cada vez más estrictos; jugarán un rol de gran importancia para poder alcanzar las metas planteadas, así como el de utilizar al máximo todos los recursos disponibles con los que cuenta el país, como es el caso del gas natural licuado que podría derivarse de fuentes renovables, como la biomasa procedente de excretas de diferentes animales de granja.

También resulta una prioridad explorar nuevos esquemas multimodales de transporte de carga tomando en cuenta la optimización de cadenas logísticas y del tipo de carga que pueda ser transferido del autotransporte carretero al ferroviario, logrando una participación óptima de 30.1% con base a los resultados mostrados en esta investigación, para ello se propone involucrar al sector logístico nacional.

Asimismo, será necesario diseñar políticas públicas que permitan ofrecer soluciones integrales tomando en consideración las opiniones de los diferentes actores involucrados, directa e indirectamente, y los riesgos al medio ambiente ante cualquier escenario de solución.

Si bien en este estudio se analiza, de manera sucinta, cada estrategia para la reducción de emisiones, resulta necesario abordar otros temas de impacto directo e

Sandoval García, Franco González, Fernández Morales
Retos y estrategias gubernamentales para mitigar las emisiones de GEI del autotransporte de carga en México

indirecto tales como: costo-beneficio, factores económicos, energéticos y ambientales, y proponer modelos de optimización para determinar el alcance de cada una de ellas desde un punto de vista holístico, considerando externalidades y costos de implementación y aplicación.

Referencias bibliográficas y bibliografía

BANCOMEXT (2016): "Transporte y Logística" [En Línea], disponible en: <http://www.bancomext.com/wp-content/uploads/2016/04/EES-Logistica-2016-1.pdf> [Acceso el 12 de noviembre de 2016].

Blumberg, K., Walsh, M., Pera, C. (2003). Gasolina y diésel de bajo azufre: la clave para disminuir las emisiones vehiculares, en The International Council on Clean Transportation [En Línea]. Disponible en: http://www.theicct.org/sites/default/files/Bajo_Azufre_ICCT_2003.pdf [Accedido el 07 de enero de 2017].

Camuzeaux, J., Alvarez, R., Brooks, S., Browne, J., Sterner, T. (2015). Influence of Methane Emissions and Vehicle Efficiency on the Climate Implications of Heavy-Duty Natural Gas Trucks, en Environmental Science & Technology [En Línea]. Disponible en: <http://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/acs.est.5b00412> [Accedido el 12 de enero de 2017].

Canto, E. (2016). Comunicaciones y Transportes. Perspectivas, retos y oportunidades. Revista Mexicana de la Construcción, 4-10.

CEC (2009). Kenworth Trucks Workshop, en California Energy Commission [En Línea], disponible en: http://www.energy.ca.gov/proceedings/2008-ALT-1/documents/2009-02-18_workshop/presentations/Kenworth_Trucks.PDF [Acceso el 17 de diciembre de 2016].

Cleveland, C., y Morris, C. (2013). Handbook of Energy, Section 24- Transportation. Oxford: Elsevier, pp. 773-825.

DOF (2005). PROY-NOM-086-SEMARNAT-SENER-SCFI-2005, Especificaciones de los combustibles fósiles para la protección ambiental, en Diario Oficial de la Federación [En Línea], disponible en: http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=2092335&fecha=20/09/2005 [Acceso el 15 de diciembre de 2016].

EPA (2015). EPA and NHTSA Propose Greenhouse Gas and Fuel Efficiency Standards for Medium- and Heavy-Duty Trucks: By the Numbers, en Environmental Protection Agency [En Línea], disponible en: <https://www3.epa.gov/otaq/climate/documents/420f15901.pdf> [Acceso el 14 de enero de 2017].

ESMAP (2010). Low-Carbon Development for Mexico, en UN Sustainable Development [En Línea], disponible en:

<https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/851mexico.pdf> [Acceso el 22 de enero de 2017].

IMT (2013). Manual estadístico del sector transporte, en Instituto Mexicano del Transporte [En Línea], disponible en: <http://imt.mx/archivos/Publicaciones/Manual/mn2013.pdf> [Acceso el 09 de enero de 2017].

IMT (2012). Transporte de carga en México: transición hacia un sistema sustentable, en Instituto Mexicano del Transporte [En Línea], disponible en: <http://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt383.pdf> [Acceso el 02 de febrero de 2017].

INECC (2010). Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero 1990-2010, en Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático [En Línea]. Recuperado de http://www.inecc.gob.mx/descargas/cclimatico/inf_inegei_public_2010.pdf [Acceso el 19 de enero de 2017].

INEGI (2014). Perfil de los transportes de México. Sistema integrado de encuestas en unidades económicas, en Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática [En Línea], disponible en: <http://cuentame.inegi.org.mx/> 10/07/2016 [Acceso el 10 de diciembre de 2016].

INEGI (2016). Banco de Información. Vehículos de motor registrados en circulación, en Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática [En Línea], disponible en: <http://www.inegi.org.mx/sistemas/bie/?idserpadre=10900530&d10900530#D10900530> [Acceso el 17 de enero de 2017].

Johnson, T., Alatorre, C., Romo, Z., Liu, F. (2010). México: Estudio sobre la disminución de emisiones de carbono (MEDEC), en Energy Sector Management Assistance Program [En Línea]. Disponible en: http://awsassets.panda.org/downloads/estudio_sobre_la_disminucion_de_emisiones_de_carbono.pdf [Accesado el 14 de diciembre de 2016].

Martínez, K. (2015). PEMEX planea abastecimiento de Diésel Ultra Bajo en Azufre para todo el país en los próximos años, en Alianza Cambio Climático México-Alemania [En Línea]. Disponible en: <http://climate.blue/pemex-planea-abastecimiento-de-diesel-ultra-bajo-en-azufre-para-todo-el-pais-en-los-proximos-anos/> [Accesado el 14 de marzo de 2016].

OCDE (2016). Economic, Environmental and Social Statistics 2015-2016, en Organisation for Economic Co-operation and Development Factbook [En Línea],

disponible en: http://www.oecd-ilibrary.org/economics/oecd-factbook-2015-2016_factbook-2015-en [Acceso el 13 de febrero de 2016]

Schipper, et. al. (2009). Carbon Dioxide Emissions from Road Transport, en The University of Melbourne [En Línea]. Disponible en: <http://www.abp.unimelb.edu.au/files/miabp/23leeschipperFP.pdf> [Accesado el 18 de diciembre de 2016].

SCT (2015). Estadísticas del Autotransporte Federal 2005-2014, en Secretaría de Comunicaciones y Transporte [En Línea], disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/85050/2_lic_rosaEstadisticas_8_foro.pdf [Acceso el 16 de diciembre de 2016].

SCT (2017). Domestic Freight Activity by Mode (ton-kilometres) (Billions [Thousand millions] of metric ton-kilometers), en North America Transport Statistics [En Línea], disponible en: <http://nats.sct.gob.mx/go-to-tables/table-5-domestic-freight-activity/table-5-2-domestic-freight-activity-by-mode-ton-kilometres/> [Acceso el 12 de febrero de 2017].

SEMARNAT (2015). México rumbo a la COP-21, en Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [En Línea], disponible en: <http://www.depfe.unam.mx/actividades/15/Paris2015sem-SEMARNAT.pdf> [Acceso el 10 de diciembre de 2016].

SENER (2011). Prospectiva de Energías Renovables 2011-2025, en Secretaría de Energía [En Línea], disponible en: <http://www.gob.mx/sener/documentos/prospectivas-del-sector-energetico> [Accesado el 23 de julio de 2015]

SENER (2014). Balance Nacional de Energía 2014, en Secretaría de Energía [En Línea], disponible en: http://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/89382/Balance_Nacional_de_Energ_a_2014.pdf [Acceso el 15 de octubre de 2016]

SENER (2014). Prospectiva de petróleo crudo y petrolíferos 2014-2028, en Secretaría de Energía [En Línea], disponible en: http://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/62946/Petr_leo_y_Petrol_feros_2014-2028.pdf [Acceso el 17 de noviembre de 2016]

SENER (2015). Prospectiva de petróleo crudo y petrolíferos 2015-2029, en Secretaría de Energía [En Línea], disponible en: http://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/44327/Prospectiva_Petroleo_Crudo_y_Petroliferos.pdf [Acceso el 12 de enero de 2017]

Sandoval García, Franco González, Fernández Morales
Retos y estrategias gubernamentales para mitigar las emisiones de GEI del autotransporte de carga en México

Villareal, A. (2012). Oportunidades para el sector público y privado. Logística, clave para el desarrollo económico de un país, en KPMG México [En Línea]. Disponible en: http://www.kpmg.com/MX/es/Documents/Delineando/DE_Logistica_050612.pdf [Accesado el 14 de julio de 2016].