Rev. Int. Contam. Ambie. 32 (1) 7-23, 2016

CONSUMO DE ENERGÍA Y EMISIONES DE CO_2 DEL AUTRANSPORTE EN MÉXICO Y ESCENARIOS DE MITIGACIÓN

Juan Carlos SOLÍS ÁVILA y Claudia SHEINBAUM PARDO*

Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma De México, Circuito Escolar s/n, Ciudad Universitaria, Delegación Coyoacán, Distrito Federal, México, C.P. 04510
*Autor para correspondencia: csheinbaump@iingen.unam.mx

(Recibido enero 2015; aceptado mayo 2015)

Palabras clave: eficiencia energética, consumo de combustible, transporte de pasajeros, transporte de mercancías

RESUMEN

En el año 2012 el transporte representó en México 39 % de las emisiones de dióxido de carbono (CO_2) asociadas a la producción y uso de la energía, de las cuales, el autotransporte contribuyó con 92 %. Con base en un modelo de "abajo hacia arriba", este artículo presenta escenarios base y de mitigación de emisiones de CO_2 para el año 2050. Se analiza la mejora en rendimiento de combustible de los vehículos y la sustitución de viajes de transporte privado por transporte público como medidas de mitigación, entre otras. Sin embargo, para lograr una disminución significativa en la tasa de crecimiento de emisiones, el parque vehicular (o su uso) deberá reducirse.

Key words: energy efficiency, fuel consumption, passenger transport, freight

ABSTRACT

In 2012, transportation accounted for 39 % of CO_2 emissions associated with the production and use of energy in Mexico, which road transport accounted for 92 %. Based on a "bottom-up" model, this article presents baseline and mitigation scenarios of CO_2 emissions by 2050. An improvement in vehicle fuel efficiency and the shift from the private transportation to public transportation systems are analyzed as mitigation measures. However, to achieve a significant decrease in the growth rate of emissions, the vehicle fleet (or its usage) should be reduced.

INTRODUCCIÓN

De acuerdo con la Agencia Internacional de Energía (IEA, por sus siglas en inglés 2013a), en 2011 las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero (GEI) atribuibles al transporte alcanzaron 22 % de las emisiones por producción y consumo de energía (detrás del sector de generación eléctrica y de calor con 42 % y poco más que las emisiones de la industria con 21 %). Bajo la tendencia actual se prevé que éstas lleguen al 40 % en 2035 (IEA 2013b). En particular, el autotransporte contribuyó en 2011 con dos terceras partes de las emisiones del transporte y ha sido el principal responsable de su acelerado crecimiento (52 % en 1990-2011).

De acuerdo con estimaciones propias sustentadas en la metodología del Grupo Intergubernamental de

Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), en el año 2012 el transporte en México representó 39 % de las emisiones de dióxido de carbono (CO_2) asociadas a la producción y uso de la energía. A pesar de que, de acuerdo con el Balance Nacional de Energía (BNE) (SENER 2012), el autotransporte representa 92 % del consumo del sector, no existen datos oficiales acerca de la demanda de combustibles por submodos del autotransporte (transporte de carga o de pasajeros, público o particular, urbano e interurbano, etc.).

Algunos estudios elaborados para otros países, que son antecedente y base para este trabajo, son el de Hao *et al.* (2014) que analizan para las provincias chinas, la estructura del parque vehicular por modos, su consumo energético y sus emisiones de CO_2, el de He *et al.* (2013) que examinan cinco escenarios con incorporación de vehículos eléctricos e híbridos, mientras que Moriarty y Hoonery (2013) muestran que las mejoras tecnológicas de cada modo de transporte no serán suficientes para reducir suficientemente las emisiones, lo que concuerda con la necesidad planteada en este trabajo de un escenario de reducción de ventas o uso de vehículos. Chollacoop *et al.* (2014) exploran la posibilidad de usar etanol en Tailandia en autobuses, Daly *et al.* (2013) modelan el crecimiento de la flota vehicular irlandesa para simular el impacto de varias políticas en la demanda de energía para 2030. Lipscy y Schipper (2013) presentan la eficiencia energética del transporte en Japón desde 1970 y lo comparan con la de Estados Unidos y otros países desarrollados. Liu *et al.* (2013) evalúan tres estrategias para la reducción del consumo energético del transporte en China, Dedinec *et al.* (2013) estudian estrategias de mitigación para el transporte en Macedonia y Schipper *et al.* (2011) analizan las emisiones de GEI del transporte en Estados Unidos de 1960 a 2008.

En relación con México, Chávez y Sheinbaum (2014) presentan dos escenarios para la mitigación de contaminantes criterio y de GEI asociados al transporte de pasajeros en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, Jazcilevich *et al.* (2011) evalúan la introducción de vehículos híbridos en la Ciudad de México, García *et al.* (2011) analizan la factibilidad ambiental y económica del etanol de caña como sustituto de la gasolina en el transporte en México en 2010-2030, al tiempo que Lozada *et al.* (2010) discuten el potencial de uso de biodiésel en el transporte en México.

En un estudio reciente, Solís y Sheinbaum (2013) presentaron una desagregación del consumo energético y de las emisiones del autotransporte para el periodo 1990-2010, en el cual muestran que el consumo de gasolina del autotransporte está dominado por el transporte privado de pasajeros (34 % de las emisiones de CO_2 del sector en 2010), seguido por las camionetas ligeras de carga (26 %). Como continuación de aquel estudio, aquí se analiza el consumo de energía y de emisiones de CO_2 del autotransporte para 2010 - 2050. A partir de un escenario tendencial se construyeron escenarios de mitigación de emisiones de CO_2 con diferentes opciones tecnológicas y de cambio en la estructura de crecimiento del autotransporte. Se eligió el 2050 como año meta por los resultados presentados en el último reporte del IPCC (2014) y por ser consistente con el reporte anterior (IPCC 2007a) en torno a la necesidad mundial de reducir las emisiones de GEI entre 50 % y 80 % para el 2050. Lo anterior para cumplir con la meta global de no aumentar la temperatura de la superficie de la Tierra más allá de los 2 ºC.

MÉTODOS Y FUENTES DE INFORMACIÓN

Escenario base

Las emisiones de CO_2 se calculan usando los métodos y los factores de emisión del IPCC (2006), de acuerdo con la ecuación (1).

$$CO_2 = \sum E_{sjt} F_{jt} \quad (1)$$

donde E es el consumo energético en el año t del sector s que usa combustible j y F es el factor de emisión por unidad energética. Solamente se estudian las emisiones de CO_2 puesto que las emisiones de CH_4 y N_2O resultan menores que el 2 % de las emisiones totales (IPCC 2014).

Dada la baja desagregación del balance de energía para el autotransporte en México, el modelo utilizado para el cálculo del consumo energético en cualquier año es:

$$E_t = \sum V_{ijkt} D_{ijkt} I_{ijkt} Pc_{ijkt} \quad (2)$$

donde E_t es el consumo energético total del autotransporte en el año t, V_{ijkt} es la cantidad de vehículos de submodo i del año modelo k que usan el combustible j, D_{ijkt} es la distancia anual recorrida en kilómetros, I_{ijkt} es la intensidad de combustible del vehículo V_{ijk} y Pc_j es el poder calorífico. Los submodos del autotransporte (índice i en la ecuación) se proponen en la **figura 1**, los cuales permiten identificar el consumo del usuario final.

Para 2011-2050, la intensidad de combustible del vehículo tipo i se hace variar de acuerdo con su tendencia histórica y el poder calorífico de cada combustible se mantiene constante. La flota de automóviles privados se obtiene considerando sus ventas

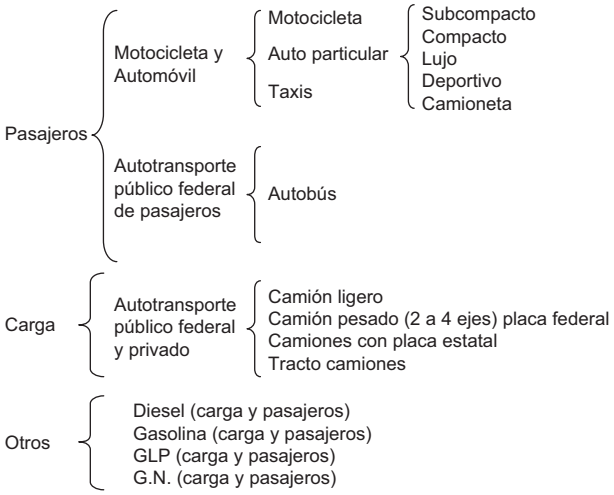

Fig. 1. Propuesta de desagregación por modos y submodos del autotransporte

y su tasa de desecho por tipo de vehículo, como se muestra en la ecuación (3).

$$V_{it} = \sum [V_{i(t-1)}(1 + Td_{im}) + VEN_{i(t-1)}(1 + G_{it})] \qquad (3)$$

donde V_{it} es la cantidad de vehículos del tipo i en el año t, $VEN_{i(t-1)}$ son las ventas de vehículos en el año anterior a t, G_{it} es la tasa media de crecimiento anual (TMCA) de las ventas, estimadas a partir de INEGI (2012b), Td es la tasa de desecho vehicular, es dependiente de la antigüedad m del vehículo y de su tipo i y se obtuvo de un análisis de la población vehicular reportada por Melgar (2007 y 2011). Los datos de los restantes tipos de vehículos se obtienen de las estadísticas de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) y de Melgar (2007 y 2011). La distancia promedio anual recorrida *Dikjt* (**Cuadro I**) se deriva de Sheinbaum *et al.* (2010) y de las estadísticas de SCT ajustadas con datos de Gutiérrez y Soria (2011a y 2011b). La intensidad de combustible promedio para la flota en circulación se obtiene, por tipo de vehículo para 2011-2050 al ponderar los rendimientos de automóviles nuevos –obtenidos hasta el año-modelo 2011 de Sheinbaum y Chávez (2011), Davis *et al*. (2011), EPA-DOE (2002), INECC (2012) y a partir de 2011 proyectados con la tendencia histórica– con la estructura por edad del parque vehicular. El poder calorífico de los combustibles se toma como el promedio de 1990 a 2010 de lo reportado en el BNE (SENER 1997, SENER 2011).

Análisis de sensibilidad e incertidumbre

Debido a la carencia de datos, no se obtuvieron las funciones de densidad de probabilidad para los factores de emisión y los datos de actividad. Los factores de emisión por defecto del CO_2 para el transporte terrestre tienen una incertidumbre de 2-5 % según el IPCC (2006) y derivado de los límites reportados por dicha referencia para este parámetro, se obtuvieron los siguientes rangos: para el factor de emisión de la gasolina de –2.60 % a 5.34 %, para el diesel de –2.02 % a 0.94 % y para el gas licuado de petróleo (GLP) de –2.38 % a 3.96 %. Sin embargo, los datos de la actividad constituyen la fuente primaria de incertidumbre en la estimación de emisiones y tienen valores típicos de +/–5 % (IPCC 2006). En relación con la incertidumbre asociada al BNE, en 2010 la diferencia estadística representó 0.41 %, según cálculos propios.

La estratificación de los datos de la actividad puede reducir la incertidumbre si se conecta con un modelo de arriba hacia abajo para el uso del combustible. En este sentido, el modelo presentado reduce la incertidumbre de la TMCA de ventas de vehículos, la distancia recorrida y la intensidad de combustible, a través del consumo total del autotransporte reportado por el BNE.

CUADRO I. DISTANCIA MEDIA ANUAL RECORRIDA EN EL AUTOTRANSPORTE, POR MODO

Tipo de vehículo	km promedio al año
Automóvil	12 487
Camión ligero	23 871
Motocicleta	28 835
Taxi	76 650
Autobús urbano	78 475
Autobús interurbano	144 540
Camión pesado urbano	22 922
Camión pesado interurbano y tractocamión	52 304

Fuente: Elaboración propia a partir de Sheinbaum *et al.* (2010), SCT (2010), Gutiérrez *et al.* (2011) Gutiérrez *et al.* (2011a) y SMA (2008)

Escenarios de mitigación

Se diseñaron nueve escenarios de mitigación del consumo de energía y de emisiones de CO_2 para el autotransporte en México:

1) Mayor rendimiento de combustible de los vehículos a gasolina

Se propone la instrumentación de una norma de rendimiento de combustible para vehículos nuevos a gasolina en dos etapas: en 2014-2016 el rendimiento de combustible de los automóviles y camiones ligeros

nuevos sigue a la NOM-163 SEMARNAT-SENER-SCFI-2013 (SEMARNAT 2014) con un aumento anual de 7-11 % en la eficiencia. En la segunda etapa (2017-2050) el aumento continúa linealmente para duplicar en 2050 el rendimiento de 2016 (34 km/L en 2050 para los subcompactos y 20.6 km/L para los camiones ligeros). A los camiones ligeros se les exige en 2014-2016 la eficiencia de los camiones más grandes del segmento (mayor sombra) según la NOM-163 (9.6, 9.9 y 10.3 km/L para 2014, 2015 y 2016, respectivamente).

Tales niveles de eficiencia vehicular parecen factibles. Según el Consejo Nacional de Investigación de E.U.A. (U.S. National Research Council), considerando el potencial para reducir las pérdidas energéticas en el tren de transmisión, sería posible tener en 2050 rendimientos de 2.5-2.0 L/100 km (40-50 km/L) para vehículos híbridos (incluyendo a los camiones ligeros), o de 2.1-1.6 L/100 km (48-63 km/L) para automóviles híbridos (Fulton y Watson 2014). Por su parte, ICCT (2013) muestra que con equipamiento tecnológico actual de costo razonable, puede reducirse 42-48 % el consumo de combustible en los vehículos convencionales y 10-30 % adicional en vehículos híbridos, por lo que es posible alcanzar 3-2.5 L/100 km (33-40 km/L) para subcompactos y compactos híbridos.

Se asume que las motocicletas seguirán beneficiándose de la transferencia de tecnología de la industria automotriz, pero que los motores híbridos no llegarán a ser costo-eficientes en el segmento. Se considera que en México, estos vehículos podrán cumplir los mismos niveles de exigencia que la actual norma china: consumos menores a 3 L/100 km para motocicletas de 50-150 cm^3 (IEA 2012b). Se asume además 30 % adicional de mejora considerando que los avances esperados en el sector son de 20-40 % (IEA 2012b). Con ello, se propone para las motocicletas un ascenso lineal del rendimiento de combustible hasta alcanzar 43.3 km/L en 2050.

2) Mayor rendimiento de combustible de los vehículos a diésel

En 2014-2016 la mejora del rendimiento de los vehículos nuevos sigue al propuesto por ICCT (2011a): 5.9 % en autobuses, 8.9 % en camiones pesados y 9.5 % en tractocamiones. En 2050 se alcanza una eficiencia 75 % mayor que en 2016 (6.3 km/L en camiones pesados, 5.9 km/L en tractocamiones y 4.9 km/L en autobuses foráneos). Estos niveles son factibles si se considera la disponibilidad y los costos actuales de la tecnología para reducción de consumo energético en camiones pesados, pues de acuerdo con ICCT (2011b) los ahorros energéticos disponibles en 2030 pueden llegar a 29-52 %, dependiendo del tipo de camión, con lo cual los rendimientos de combustible pueden alcanzar en ese año 5.3-6.2 km/L, 4.9-5.6 km/L y 4.0-4.4 km/L, para los camiones pesados urbanos, los tractocamiones y los autobuses foráneos, respectivamente

3) Subcompactos sustituyen camionetas

Dado el gran aumento de ventas de camionetas de pasajeros (usos múltiples) se propone una disminución progresiva de sus ventas. A partir de 2015 la TMCA de ventas disminuye 50 % respecto a la esperada en el escenario base. Se asume que las camionetas que no se venden en comparación con el escenario tendencial, son compensadas por vehículos subcompactos. Como ejemplo del instrumento requerido para que este escenario fuese viable, puede mencionarse la adopción de gravámenes proporcionales al peso del vehículo.

4) Automóviles eléctricos

Se considera la incorporación gradual de automóviles eléctricos (incluyendo taxis y camionetas), camiones ligeros y motocicletas sin modificarse los niveles de ventas de cada segmento ni los factores de desecho del escenario base. Dado que en el escenario de aumento de eficiencia se considera la incorporación de vehículos híbridos[1], aquí se consideran únicamente vehículos impulsados totalmente por baterías (BEV, por sus siglas en inglés) con un consumo eléctrico basado en la oferta actual (EPA-DOE 2014). Con datos de Van Vilet (2011) se calcula que las eficiencias de estos vehículos mejorarán 1 % anualmente. Los factores de emisión por la generación de energía eléctrica se obtienen de cálculos propios, considerando para el periodo 2013-2025, el programa de obras e inversiones del sector eléctrico de CFE (2011). Para 2026-2050 los valores se estiman con la tendencia histórica. En este escenario se considera una penetración en sigmoide de la tecnología de tal manera que 0.15 % de los automóviles vendidos en 2025 serán BEV y en 2050 la proporción se incrementará a 20 %.

Según la IEA (2012a) para alcanzar un escenario de 450 ppm se requerirá en 2030 de 7 % de participación en el mercado de este tipo de vehículos. Dicho nivel coincide con el mercado potencial para

[1] Jazcilevich et. al (2011) concluyen que con 20 % de autos híbridos en la flota vehicular en la Ciudad de México en 2026, la reducción de emisiones de CO2 sería del 10 % respecto a las emisiones de una flota convencional.

las regiones más desarrolladas según ICCT (2012), por lo que la meta de 15% establecida para 2025 en California para vehículos de cero emisiones parece bastante ambiciosa.

5) Cambio modal a autobús de tránsito rápido (BRT, por sus siglas en inglés)

Se considera la sustitución de viajes en transporte privado y en microbuses por viajes en BRT, con la misma dinámica de crecimiento del parque vehicular. En 2011, 16.2 % de usuarios del Metrobús dejaron su automóvil estacionado (Metrobús 2012), 18 % en el centro histórico (Metrobús, sin fecha). Por su parte, ICCT (2012) calcula que, considerando las políticas actuales, hacia 2030 se reducirán 9.5 % los vehículos-km de viajes privados y 19 % para la misma fecha en caso de mantener el paso mostrado últimamente por las inversiones en BRT. Se asume este valor como reducción efectiva lineal de la actividad (vehículos-km) de autos particulares en 2050, con el cual en 2030 la reducción efectiva sería 8.4 %.

En 2006, 9.6 % de las personas que usaron el Metrobús que corre sobre la avenida Insurgentes lo hacía antes en automóvil, mientras que 5.8 % lo hacía en taxi (Power Mex 2013). Lo que representa 60 % de cambio modal de taxi a Metrobús respecto al cambio modal del automóvil. Este mismo factor se asume para 2050.

El consumo en diésel de los autobuses BRT es calculado considerando, para los autobuses, un rendimiento de 1.1 km/L en 2015 (INE 2007), un factor de ocupación de 160 pasajeros y un recorrido diario de 280 km/día (Power Mex 2013). Para los automóviles privados se asume un factor de ocupación de 1.7 pasajeros (Fimevic 2000). Asimismo, se asume que las unidades sustituidas no pueden utilizarse en otras rutas, debido a programas de "chatarrización" o por no autorizarse más concesiones que las del escenario tendencial. No se considera variación en la velocidad de recorrido sobre las vialidades en las que se implementaría el BRT, ni en las calles aledañas. Por lo tanto, no se considera variación en el CO_2 debido a este fenómeno. Se considera que no se ve afectada la demanda del servicio Metro y de otras rutas de transporte público. Tampoco se considera el aumento de usuarios de BRT debido al posible empeoramiento en la congestión vial.

6) Mezcla etanol-gasolina

Se considera que la gasolina vendida en el país a partir de 2015 contiene etanol al 0.1 %, por lo que puede usarse sin problema en los motores convencionales. Se asume una penetración del biocombustible de manera análoga a la propuesta por Islas *et al.* (2007), una sigmoide que hace alcanzar en 2050 una mezcla al 30 % de etanol en la gasolina vendida en el país, coincidiendo en 2035 con el 8 % estimado por IEA (2012a). Se suponen emisiones neutras en carbono para la combustión del etanol, pero existen emisiones de CO_2 derivadas del cambio de uso de suelo. Se toma como base a García y Manzini (2012) para estimar dichas emisiones, pues asumen que la caña de azúcar para etanol es cultivada en superficies que fueron pastizales y que se imponen restricciones para evitar la competencia con la producción de alimentos.

Asimismo, se considera que el etanol está disponible comercialmente, ya sea para la producción del éter etil tert-butílico (ETBE) o como etanol anhidro para su mezcla directa con gasolina. En las últimas fases de incorporación del etanol, cuando su proporción en gasolina supera el 26 % (2046-2050) se requiere la incorporación de vehículos de combustible flexible. Se supone que el desempeño de los motores (el rendimiento de combustible) no cambia significativamente con el uso de las mezclas consideradas (si bien el poder calorífico del etanol es menor al de la gasolina, su efecto antidetonante aumenta la eficiencia del motor).

7) Mezcla biodiésel-diésel

Se asume que a partir de 2015 el diésel vendido en el país contiene 0.1 % de biodiésel. La penetración del biocombustible sigue la sigmoide sugerida por Islas *et al.* (2007) pero ajustada al periodo bajo estudio. En 2030 se llega a una concentración de 6.5 % de biodiésel en la mezcla y en 2050 a 20 %. Se consideran emisiones neutras en carbono por la combustión del biodiesel y que el desempeño de los motores no cambia significativamente. No se cuenta con estudios específicos que determinen las emisiones por cambios de uso de cultivo destinados a la producción de biodiésel en México, sin embargo, dado que se asume que dichos suelos fueron pastizales, se toma el mismo factor que el considerado para el etanol (53.6 %).

8) Aplicación simultánea de los escenarios 1 al 7.

Se calcula el potencial de mitigación que brinda la ejecución simultánea de los siete escenarios descritos anteriormente. Se toman en cuenta la sinergia y las interferencias creadas en cuanto al consumo energético y las emisiones de CO_2.

9) Menor expansión de los vehículos ligeros (saturación)

Se analiza el consumo energético del autotransporte y de sus emisiones de CO_2 cuando la TMCA de

la flota de vehículos ligeros (automóviles y camiones a gasolina) se reduce a partir de 2020. Con ello, esta flota crece con menor rapidez que bajo el escenario tendencial, alcanzándose la maduración y saturación del mercado gracias al efecto combinado de la desaceleración en ventas y del incremento de la tasa de desecho de vehículos. El objetivo de este escenario es determinar la expansión de la flota de vehículos que permite estabilizar las emisiones de CO_2. Se asume una evolución sigmoide de la propiedad de vehículos como sugieren Dargay *et al.* (2007).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Escenario base

La flota vehicular

Las ventas anuales de vehículos nuevos, la entrada de vehículos usados desde Estados Unidos y la tasa de desecho vehicular son los principales fenómenos que definen el cambio en la población de vehículos. En 2010, los vehículos subcompactos y los compactos representaron la mayoría del mercado de los automóviles nuevos (36 % y 33 %, respectivamente). Sin embargo, la venta de camionetas muestra una TMCA mayor a la de los demás segmentos (**Cuadro II**). En promedio, la población de vehículos en México crecerá en el periodo de 2010-2050 con una TCMA de 4.5 %, pasando de 25.6 millones en 2010 a 87.6 millones en 2040 y a 151.7 millones en 2050. El índice de motorización cambiará de 145 en 2010, a 350 en 2040 y a 601 en 2050. Como comparación, en 2010 los Estados Unidos tuvieron un índice de motorización de 797 automóviles por cada 1000 habitantes, la comunidad Europea 593 y los países de ingreso medio-alto, a los que pertenece México, 98 (**Cuadro III**).

El crecimiento de la flota de vehículos, la escasa mejoría en los rendimientos de combustibles y el bajo desarrollo del transporte público, son las causas principales del aumento en el consumo de combustibles y en las emisiones de CO_2. En 2010 el vehículo particular representó 62 % del parque, seguido por el camión ligero con 28 %. Si en 2050 estos dos segmentos bajan su participación, lo harán porque las motocicletas están creciendo a un ritmo impresionante. En cualquier caso, los automóviles, motocicletas y camiones ligeros son prácticamente en todo momento 95 % de la población vehicular (**Cuadro IV**). Al interior del conjunto de vehículos a gasolina, los compactos y subcompactos, hasta ahora con la mayor participación, serán superados en 2040 por la camioneta (**Fig. 2**). Esto es trascendente para el consumo de combustibles y para las emisiones de CO_2 porque las camionetas tienen, en general, rendimientos de combustible menores.

Debido a las altas tasas de ventas de los vehículos particulares y a su baja tasa de desecho, la flota tendrá una edad promedio menor a la actual, situación que

CUADRO II. TASAS MEDIAS ANUALES DE CRECIMIENTO (TMCA) DE LAS VENTAS Y DE LA POBLACIÓN VEHICULAR

Segmento	TMCA de ventas (%)	Segmento	TMCA del parque vehicular (%)
Motocicleta	7.6	Taxi	3.4
Subcompacto	5.6	Camión ligero	4.4
Compacto	4.2	Autobús interurbano	3.4
Deportivo	2.7	Autobús urbano	1.0
Lujo	6.2	Camión pesado urbano	2.9
Camioneta	7.7	Camión pesado interurbano	2.3
		Tractocamión	4.8

Fuente: Estimación propia con datos del INEGI, la SCT y Melgar (2011).

CUADRO III. TASA DE MOTORIZACIÓN PARA ALGUNOS PAÍSES Y REGIONES

Posición	País/ Región	2008	2010
1	San Marino	-	1263
2	Norteamérica	794	797
3	Estados Unidos	815	797
4	Liechtenstein	-	750
5	Islandia	767	745
6	Luxemburgo	747	739
7	Nueva Zelanda	733	712
8	Australia	687	695
9	Malta	674	693
10	Italia	669	679
11	Puerto Rico	622	635
12	Países de alto ingreso: OCDE	629	629
13	Grecia	564	624
14	Países de alto ingreso	572	620
15	Finlandia	534	612
16	Comunidad Europea	587	593
17	España	606	593
18	Japón	592	591
19	Noruega	575	584
20	Francia	598	580
25	Miembros OECD	564	563
39	Europa y Asia Central	415	453
79	Ingreso medio-alto	90	98

OCDE: Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos. Fuente: Elaboración propia con datos del Banco Mundial (WB 2014).

CUADRO IV. ESTRUCTURA DE LA POBLACIÓN VEHICULAR EN MÉXICO EN 2010 Y 2050

Modo	2010	2050
Automóvil privado	62.2 (%)	58.5 (%)
Camión ligero	27.9 (%)	25.0 (%)
Motocicleta	4.5 (%)	13.2 (%)
Taxi	2.0 (%)	1.3 (%)
Tractocamión	0.8 (%)	0.9 (%)
Camión pesado urbano	1.4 (%)	0.7 (%)
Camión pesado interurbano	0.5 (%)	0.2 (%)
Autobús interurbano	0.3 (%)	0.2 (%)
Autobús urbano	0.5 (%)	0.1 (%)
Total (miles)	25 738	151 810

Fuente: Elaboración propia con base en datos del INEGI, la SCT y Melgar (2011)

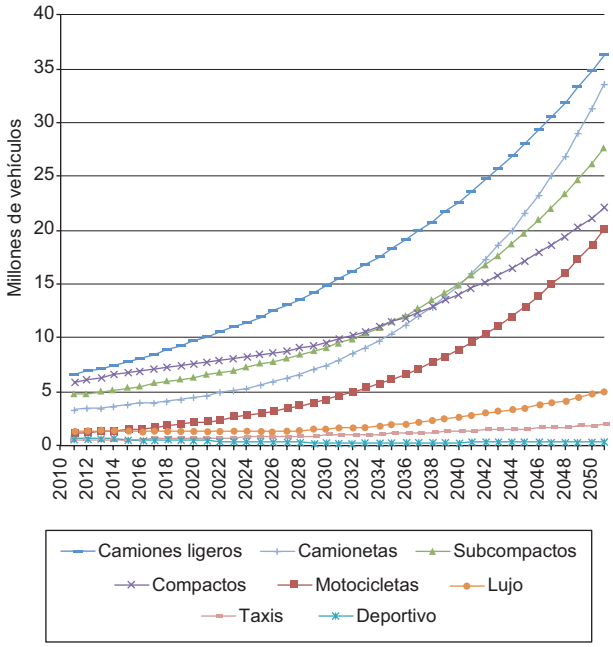

Fig. 2. Evolución de la flota de vehículos a gasolina

deberá aprovecharse en el diseño de las políticas de reducción de consumo de combustibles y de mitigación de emisiones de CO_2. Se podrían establecer, por ejemplo, normas estrictas y de largo plazo que incidan en un aumento sustancial del rendimiento de combustible de los vehículos.

Consumo de combustibles del autotransporte en México

El consumo energético del autotransporte (**Cuadro V**) crecerá con una TMCA de 3.9 % y la proporción del consumo de gasolina será aún mayor debido al alto crecimiento de automóviles y camiones ligeros (de 72 % en 2010 a 81 % en 2050). El consumo de gasolina seguirá dominado por los camiones ligeros y el automóvil particular (**Fig. 3a**). La categoría "Otros gasolina", que representa al transporte urbano de pasajeros en vehículos como microbuses, reducirá su proporción en el consumo de gasolina de 6 % a 2 % en el periodo de 2010-2050, mientras que las motocicletas aumentarán su proporción de 3 % a 11 %. Dentro de los automóviles privados, en 2050 las camionetas consumirán 44 % de la gasolina, el subcompacto 25 % y el compacto 24 %.

En cuanto al diésel, los segmentos con mayor consumo serán el tractocamión y el autobús interurbano. El consumo de los minibuses y autobuses de pasajeros para el servicio urbano (incluidos en "Otros diésel") tendrán muy bajo crecimiento (0.9 %) y la proporción en el consumo total se verá reducida al ser desplazados estos vehículos por el automóvil privado como medio de transporte.

Emisiones de CO_2 por categoría

Entre 2010 y 2050 las emisiones del sector del autotransporte crecerán 370 %, de 146 a 682 Tg de CO_2 (millones de toneladas de CO_2). En 2050, 80 % de las emisiones del autotransporte provendrán de la quema de gasolina, 19 % del diésel y 1 % del GLP. Los automóviles y los camiones ligeros serán los principales causantes de las emisiones (**Fig. 3b**), siendo las motocicletas el segmento de mayor crecimiento en general y las camionetas el que más se expande dentro del segmento de automóviles. El autobús interurbano será el principal emisor de CO_2 por quema de diésel para autotransporte (**Cuadro VI**).

CUADRO V. ESTRUCTURA DEL CONSUMO DE COMBUSTIBLES DEL AUTOTRANSPORTE EN MÉXICO EN 2010, 2030 Y 2050

	2010	2030	2050
Automóvil privado	44 %	35 %	39 %
Motocicleta	3 %	7 %	11 %
Taxi	7 %	6 %	4 %
Camiones ligeros	40 %	48 %	44 %
Otros gasolina	6 %	4 %	2 %
Gasolina	1491	3125	7909
Autobús interurbano	30 %	33 %	35 %
Camión pesado interurbano	13 %	10 %	8 %
Tractocamión	25 %	29 %	37 %
Camión pesado urbano	13 %	14 %	12 %
Otros diésel	20 %	14 %	9 %
Diésel	537	930	1725
Gas licuado de petróleo	41	63	95
Consumo energético total (PJ)	2069	4118	9729

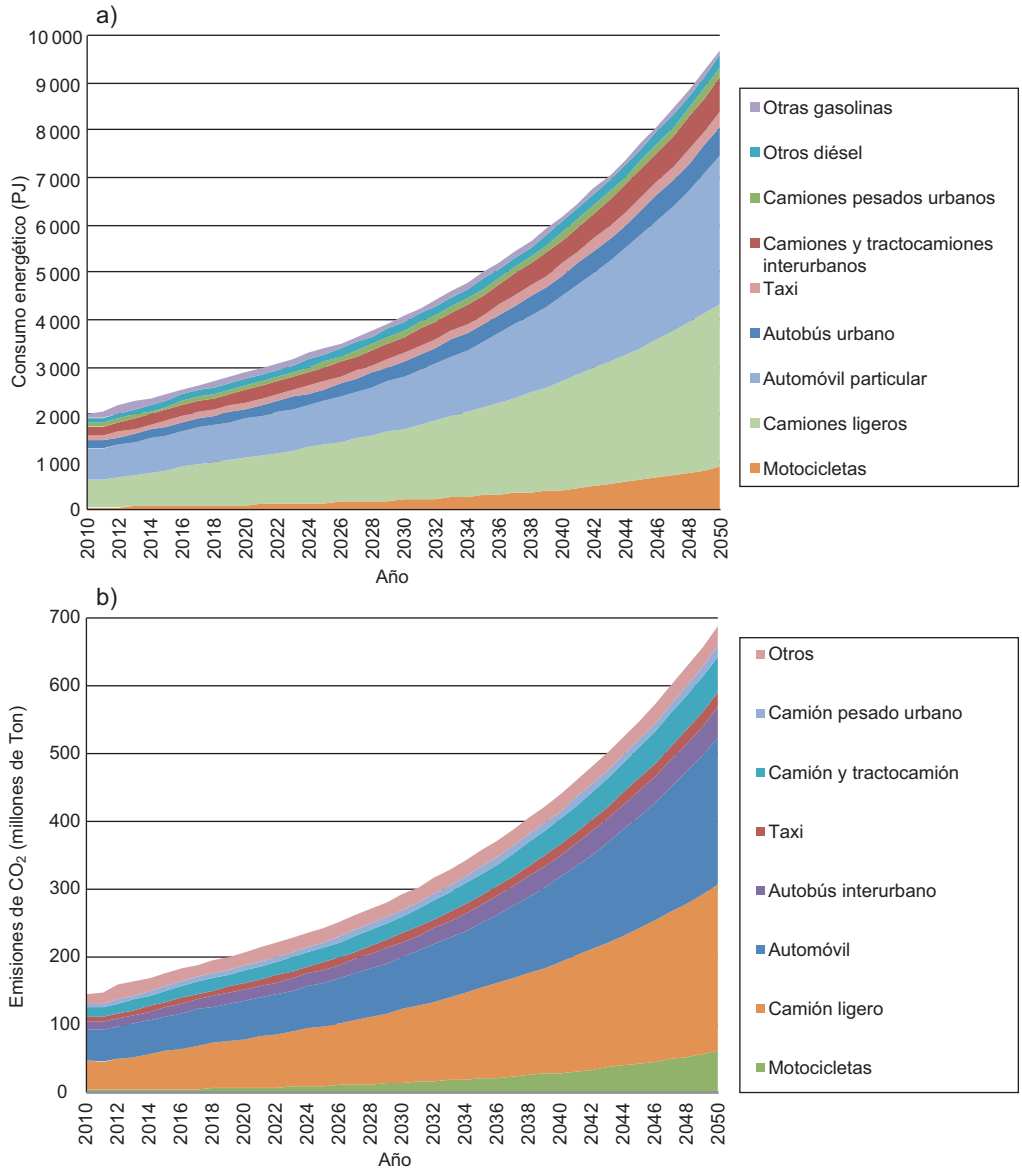

Fig 3. a) Consumo de energía del autotransporte en México. Escenario base; b) Emisiones de CO_2 del autotransporte en México. Escenario base

Los automóviles, sector que en mayor medida aumentará sus emisiones de GEI, son los que mayor intensidad modal muestra (CO_2 por pasajero). Si bien ésta disminuye debido al bajo pero continuo aumento en el rendimiento del combustible, no es suficiente para compensar la expansión de la flota de automóviles (**Cuadro VII**). En contraste, el BRT seguirá exhibiendo la menor intensidad modal.

Análisis de sensibilidad

A largo plazo (hacia 2050), la variación de la TMCA de ventas influye de manera importante en las emisiones totales, pues incide en el crecimiento exponencial de la flota vehicular. La actividad vehicular y el rendimiento de combustible son preponderantes a mediano plazo (hacia 2030) y no pueden variar más allá de lo indicado en el **cuadro VIII** sin que el modelo lo detecte con consumos y emisiones negativas. De ahí que dichas cifras se asumen como los errores máximos del modelo, las cuales son semejantes a los valores definidos por defecto por el IPCC.

Escenarios de mitigación

1) Mayor rendimiento de combustible en vehículos a gasolina

CUADRO VI. CONTRIBUCIÓN DE CADA MODO DE AUTOTRANSPORTE A LAS EMISIONES DE CO_2

Modo	Combustible	2010	2030	2050
Camión ligero	Gasolina	28 %	39 %	35 %
Automóvil	Gasolina	31 %	28 %	32 %
Motocicletas	Gasolina	2 %	5 %	9 %
Camión y tractocamión	Diésel	10 %	9 %	8 %
Autobús interurbano	Diésel	8 %	9 %	7 %
Otros	Gasolina y diésel	10 %	7 %	3 %
Taxi	Gasolina	5 %	5 %	3 %
Camión pesado urbano	Diésel	4 %	4 %	2 %
Camión ligero	GLP	2 %	1 %	1 %
Total (millones de TCO_2)		146	290	682

GLP: gas licuado de petróleo

CUADRO VII. INTENSIDADES MODALES (GCO_2/PAS-KM) DEL AUTOTRANSPORTE EN 2010 Y 2050 PARA EL ESCENARIO BASE

Modo	2010	2050
Auto privado	133	115
Motocicleta	107	107
Taxi	108	87
Autobús urbano	26	26
BRT	15	12

BRT: Autobuses de tránsito rápido.

En este escenario la TMCA (2016-2050) del rendimiento de los vehículos ligeros resulta de 2.2 %[2] con un incremento acumulado de 43 % en 2010-2030. En 2025 el rendimiento de los vehículos nuevos rondaría los 16.5 km/L para las camionetas y los 19.2 km/L para los subcompactos, no muy abajo de los 21 km/L esperados para Estados Unidos según ICCT (2012). En 2025 el promedio para los automóviles en circulación en México estará apenas en 11.4 km/L (para 2013 fue de 9.3 km/L) y para 2050 estará en 19.9 km/L, mientras que la flota de camiones ligeros tendrá en 2050, un rendimiento de 17 km/L[3]. Este escenario de mitigación ofrece un ahorro de 4583 petajoules (PJ) y 318 millones de toneladas de CO_2 (TCO_2) evitadas en 2050.

2) Mayor rendimiento de combustible en los camiones nuevos a diésel

La TMCA (2013-2050) del rendimiento de camiones a diésel resulta de 1.5-1.7 %, aún por debajo del 3.5 % disponible según el ICCT (2012), pero mantener tales tasas puede ser complicado para largos periodos, además de que en México aún no hay regulación al respecto (únicamente opera el programa voluntario Transporte Limpio de la SCT-SEMARNAT). Como resultado de este escenario, la eficiencia de la flota de camiones a diésel aumentaría 23 % en 2030 y 71 % en 2050 con respecto a 2010. Se requerirá de la introducción de camiones híbridos para alcanzar los últimos niveles de rendimiento de esta propuesta. Sobre la línea base, en 2050 el ahorro sería de 548 PJ y 41 millones de TCO_2.

3) Subcompactos sustituyen camionetas

Según el escenario base, las ventas anuales de camionetas parten de 225 mil unidades en 2015 hasta llegar en 2050 a 3.15 millones. En este escenario de mitigación, las ventas aumentan en menor medida y en 2050 se venderían 847 mil unidades (27 %

CUADRO VIII. RESULTADO DEL ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

Parámetro	Variación en las emisiones totales de CO_2 por cada punto porcentual de variación en el parámetro			Máxima variación permitida por el modelo
	2010	2030	2050	
TMCA de ventas	-	0.51 %	1.42 %	N.A.
Factor de emisión	1.00 %	1.00 %	1.00 %	N.A.
Actividad	-	0.42 %	0.68 %	6.40 %
Rendimiento	-	–0.42 %	–0.67 %	–6.00 %

TMCA= Tasa media de crecimiento anual, NA = No aplica

[2] IEA (2012) establece un requerimiento de 2.7 % anual hasta 2020 y 50 % acumulado de 2010 a 2030 para mantener el incremento de temperatura global alrededor de los 2 °C

[3] En la propuesta de actualización de la norma CAFE-indicar lo que significan las siglas para California (EPA-DOE 2011) los rendimientos crecerían a un ritmo de 5.1 % en 2017-2025, para alcanzar los 14 km/L

respecto al escenario base). En 2050 se obtiene una reducción del consumo energético de 87 PJ, equivalente a poco más de 2675 millones de litros de gasolina y a 6.1 millones TCO_2.

4) Automóviles eléctricos

Un aumento en ventas de 20 % en 2050 origina una penetración efectiva de 11.7 % respecto a la flota total de vehículos ligeros. En 2030, la proporción de ventas sería cercana a 1.45 %, comparable con los pronósticos de 1-2 % de ICCT (2012) para las regiones subdesarrolladas. En la **figura 4** se presenta la penetración de ventas de vehículos BEV y su proporción resultante en la flota de vehículos ligeros, la cual tardará varios años en alcanzar los mismos niveles que las ventas debido al bajo factor de desecho (lenta renovación) de la flota de vehículos en México. Para este esquema de mitigación, el ahorro en gasolina es de 245 PJ en 2050 con respecto al escenario base. A dicho monto corresponden 18 millones de TCO_2 que se evitan arrojar a la atmósfera (28 millones evitadas al no quemar gasolina menos 10 millones debido a la carga de baterías a través de la red eléctrica[4]).

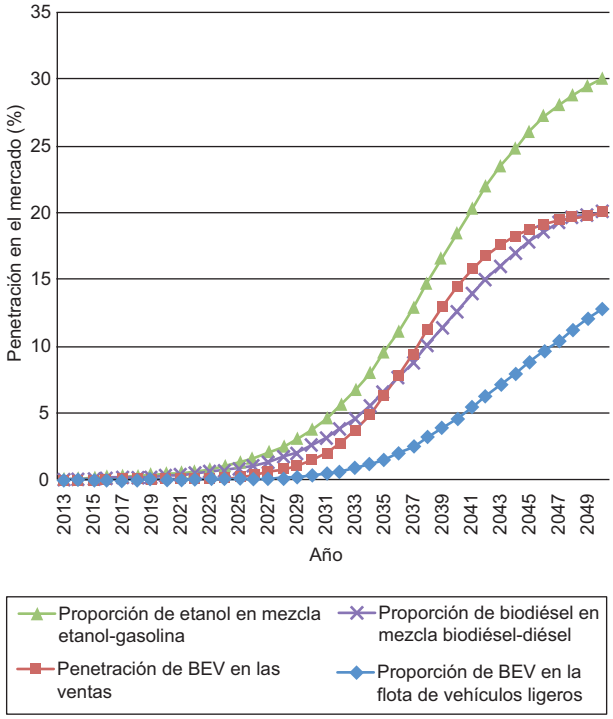

Fig. 4. Penetración de los vehiculos eléctricos impulsados por baterias (BEV) y de los biocombustibles en los escenarios de mitigación

5) Cambio modal a BRT

Con la reducción de la actividad vehicular se obtendría un ahorro neto en gasolina de 248 PJ en 2050 (281 PJ ahorrados en viajes privados menos 33 PJ de diésel para mover los BRT). El beneficio ambiental sería de 17 millones de toneladas evitadas de CO_2. Para instrumentar este esquema se requerirían de 27 444 autobuses articulados en 2050. Este esquema de mitigación se limitó a la sustitución de viajes realizados en automóviles de combustión interna, por lo que en la medida en que los conductores de vehículos eléctricos realicen un cambio modal hacia el BRT, los beneficios serán mayores.

6) Mezcla etanol-gasolina

Con este escenario se obtiene un ahorro de 768 PJ de gasolina en 2050, al que se le asocian 40 millones de TCO_2 que no se emiten a la atmósfera por quema de gasolina. En 2030 este escenario ofrecería un beneficio de 4.2 millones de TCO_2 evitadas anualmente. Como dato ilustrativo, que no comparativo debido a las diferentes asunciones, Mckinsey-CMM (2009) reporta un potencial de 15 millones de TCO_2 para dicho año.

Para los niveles de ahorro de energía obtenidos, en 2050 se requerirá de una producción de etanol de cerca de 22 mil millones de litros para uso como combustible. En contexto, México tenía en 2005 la infraestructura para producir 66 millones de litros de etanol, destinado principalmente como bebida y en cuidados a la salud (Islas *et al.* 2007). Con dicha infraestructura se produjeron 50 millones de litros en la zafra 2005/2006 y 15 millones de litros en 2011/2012 (UNC 2014). México requerirá de un enorme esfuerzo para alcanzar la producción de etanol para este esquema de mitigación. En 2050 el país deberá ser capaz de producir las mismas cantidades que actualmente genera Brasil. En otros términos, en 2050 México deberá aumentar su producción de etanol para combustible cerca de mil veces respecto a la actual (TMCA de 21 %).

7) Mezcla biodiésel-diésel

Con este esquema de mitigación el consumo de diésel logra reducirse, aunque sin alcanzar a estabilizarse dadas las altas tasas de crecimiento de la flota de vehículos que utilizan este combustible, las cuales superan por mucho al crecimiento esperado en su rendimiento. Para abastecer a este esquema de mitigación se requiere de una producción anual de biodiésel con TMCA del orden de 19 %,

[4] Según cálculos propios, de seguirse la tendencia marcada por el POISE 2011-2025, en 2050 el factor de emisión de la red eléctrica sería muy cercano al proveniente de la quema de gasolina en los vehículos de combustión interna

para que en 2040 México alcance una capacidad de generación de 2867 millones de litros (semejante a la actual producción argentina) y para 2050 deberá duplicar esa capacidad sin comprometer el abasto alimentario.

El ahorro en consumo de diésel sería de 242 PJ en 2050, sustituyéndolos por una cantidad equivalente en biodiésel. La quema de este biocombustible es neutra en emisiones de GEI, sin embargo al cambio de uso de suelo se le asocian 4.6 millones de TCO_2 en 2050, dejando un beneficio neto de 13.4 millones de TCO_2 que no se emiten a la atmósfera en dicho año.

8) Aplicación simultánea de los escenarios de mitigación

Ninguno de los esquemas modelados es suficiente, por sí sólo, para estabilizar el consumo energético y las emisiones de CO_2. Cuando mucho (con el aumento de rendimiento en vehículos a gasolina) en 2050 se lograría evitar consumir 47 % de la energía del transporte en relación con el escenario base. La mezcla etanol-gasolina aportaría 5.8 % de reducción, el uso de vehículos eléctricos 2.6 %, un mayor impulso a los sistemas BRT 2.5 % y frenar el crecimiento de camionetas de pasajeros para favorecer los autos subcompactos 0.9 %. Respecto a las emisiones asociadas a la quema de diésel, una mayor eficiencia vehicular produce una reducción de 6 % y el uso de biodiésel de 2 %.

En caso de aplicar varios escenarios de mitigación simultáneamente, las emisiones de GEI evitadas no alcanzan las mismas proporciones que de manera aislada. Las interdependencias entre los escenarios provocan que los beneficios sean cada vez más difíciles de lograr (**Fig. 5a** y **b**). Esto no implica que

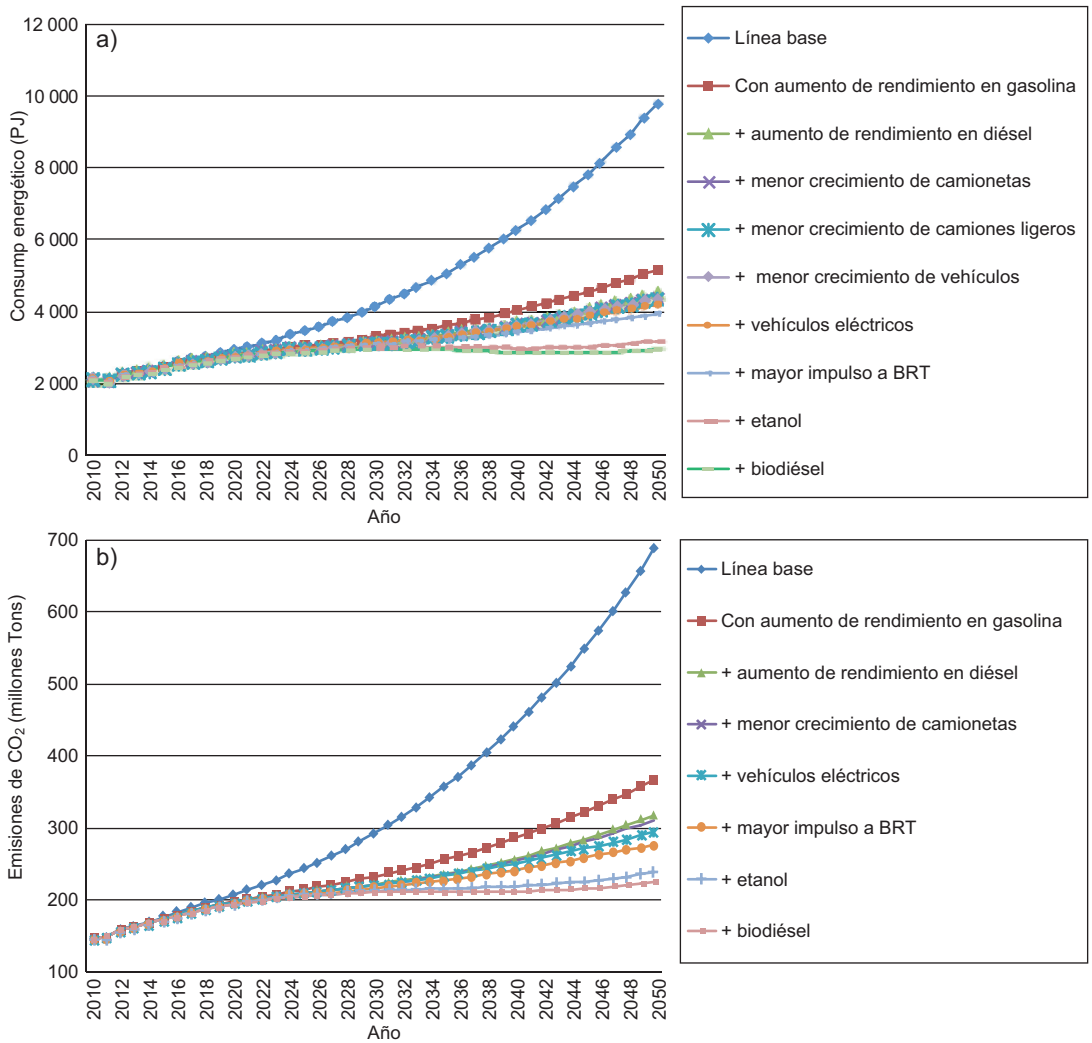

Fig. 5. a) Consumo de energía para la línea base y para los esquemas de mitigación simultáneos; b) Emisiones de CO_2 para la línea base y para los esquemas de mitigación simultáneos

sea preferible la aplicación de pocos esquemas de mitigación, todo lo contrario: para lograr la estabilización de emisiones se requerirá de un número mayor de medidas cuanto mayor sea el nivel alcanzado de emisiones. El resultado de la aplicación simultánea de los esquemas analizados es la reducción de 69 % del consumo energético y de 66 % de las emisiones de CO_2 respecto al escenario base con un consumo de energía que alcanza un máximo de 2977 PJ en 2032. Sin embargo, dadas las altas TMCA en la mayoría de los segmentos automotrices, los esquemas de mitigación no soportan la presión y para los años posteriores el consumo energético se incrementaría, perdiéndose la breve estabilización. Si bien las emisiones de CO_2 reducen en gran medida su crecimiento explosivo, nunca dejan de aumentar.

9) Menor expansión de los vehículos ligeros (saturación)

Dado que con los escenarios de mitigación propuestos hasta aquí no se logrará estabilizar los niveles de consumo energético ni las emisiones de CO_2, será necesario contener el crecimiento (o el uso) de los segmentos vehiculares con mayor expansión, reduciendo para ello las TMCA de los vehículos ligeros y aumentando el factor de desecho de manera que se llegue a un índice de propiedad de vehículos menor que con la tendencia actual. Según el escenario tendencial, en 2050 dicho índice estaría alrededor de los niveles de saturación esperados para Estados Unidos (850 vehículos por cada mil habitantes). Para el escenario de mitigación planteado (**Fig. 6**) el índice de propiedad de vehículos para México no deberá rebasar los 600 vehículos por cada mil habitantes en 2050, nivel poco menor al europeo (que en 2030 rondará los 600-700 bajo la línea tendencial). En 2050, con este escenario de contención, la flota vehicular representaría 68 % de la del escenario base, obteniéndose una reducción de 2422 PJ en consumo de gasolina y de 168 millones de toneladas de CO_2. Dado que cada esquema de mitigación está ligado con los demás y con el tamaño de la flota vehicular, su contribución cambia (**Cuadro IX**), reduciéndose también los requerimientos de etanol

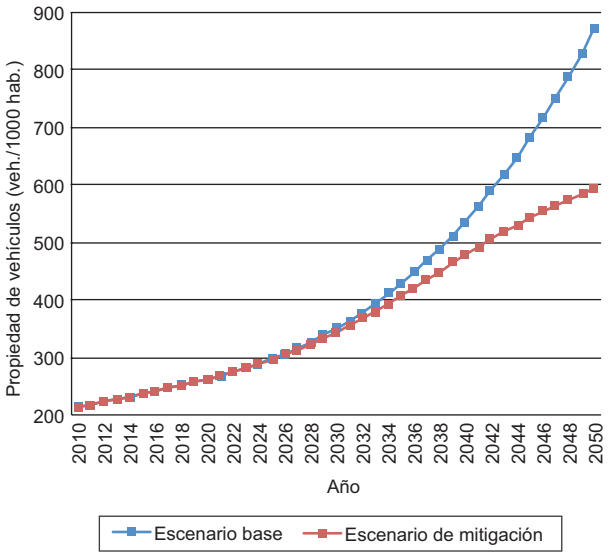

Fig. 6. Índice de propiedad de vehículos en México para el escenario base y el de mitigación simultánea

CUADRO IX. EMISIONES DE CO_2 EVITADAS CON LOS ESQUEMAS DE MITIGACIÓN (SE INCLUYE LA CONTENCIÓN DEL CRECIMIENTO DE LA FLOTA DE VEHÍCULOS LIGEROS)

Escenario	2020	2030	2050	ahorro acumulado (2015-2050)		Reducción (2050)	
	millones TON CO_2			millones TON CO_2	PJ	millones TON CO_2	PJ
Mayor eficiencia vehicular gasolina	10.2	58.0	215.5	3156	45 543	31.5 %	31.9 %
Mayor eficiencia vehicular diesel	1.1	12.8	55.2	749	10 110	8.1 %	7.6 %
Mezcla etanol – gasolina	0.4	4.0	26.9	390	7 540	3.9 %	5.3 %
Mayor uso de BRT	2.4	6.7	19.1	314	4 581	2.8 %	2.9 %
Automóviles eléctricos	0.0	0.1	12.2	90	1 337	1.8 %	1.8 %
Mezcla biodiésel- diesel	0.1	1.1	11.6	135	2 434	1.7 %	2.2 %
Menor crecimiento camionetas	0.2	0.9	3.3	48	697	0.5 %	0.5 %
Menor crecimiento vehículos ligeros (saturación de la flota)	0.1	4.7	167.9	1201	17 327	24.6 %	24.9 %
Todos los escenarios	14	88	512	6082	89 568	75 %	77 %

BRT: Autobuses de tránsito rápido

(16 mil millones de L en 2050) y de autobuses BRT (22 mil en 2050). La aplicación de los esquemas de mitigación analizados (incluyendo el menor crecimiento de la flota de vehículos ligeros) estabilizaría el consumo de combustibles en 2414 PJ en 2050 (**Fig. 7a** y **Fig. 8**). Las emisiones asociadas alcanzarían un máximo de 208 millones de TCO_2 en 2032 y descenderían a 190 TCO_2 en 2050 (**Fig. 7b**), mientras que sin restringir

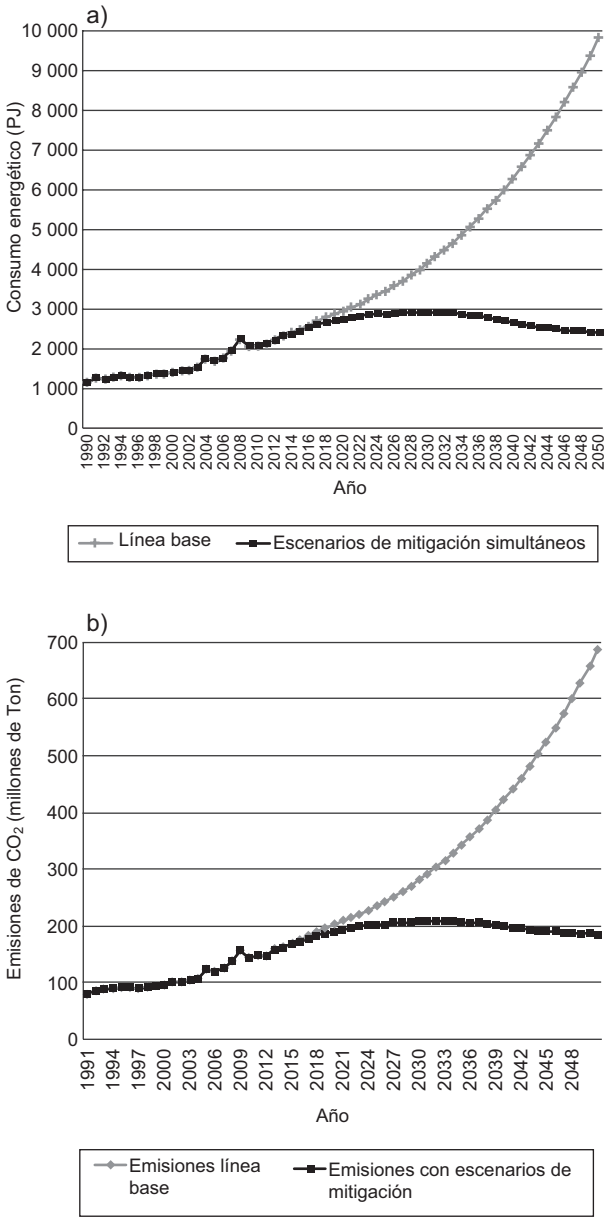

Fig 7. a) Consumo de energía bajo la línea base y con la aplicación simultánea de escenarios de mitigación (se incluye la saturación de la flota de vehículos ligeros); b) Emisiones de CO_2 bajo la línea base y con la aplicación simultánea de escenarios de mitigación (se incluye la saturación de la flota de vehículos ligeros)

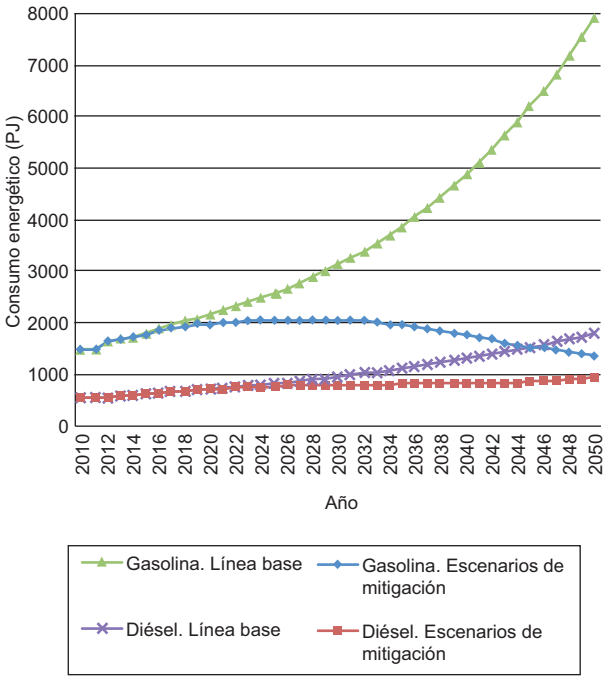

Fig. 8. Consumo de energía bajo la línea base y con escenarios de mitigación, según tipo de combustible

la expansión de los vehículos ligeros se puede llegar a 230 TCO_2 en 2050, con tendencia a incrementarse.

Finalmente, se reconoce la necesidad de comenzar de inmediato la mitigación de las emisiones de CO_2. Según los resultados del modelo, en caso de demorar 10 años la aplicación de estos escenarios, las emisiones podrían llegar a 265 millones de TCO_2 en 2050 y en caso de retrasarlos 20 años (iniciarlos en 2035), podrían alcanzar los 425 millones.

CONCLUSIONES

El crecimiento de la población de vehículos, la escasa mejoría en los rendimientos de combustibles y el bajo desarrollo del transporte público, se muestran como las causas principales del aumento en el consumo de combustibles y de las emisiones de CO_2. Bajo la línea tendencial, la TMCA de la flota vehicular de México (4.5 %) podrá incrementar el parque vehicular de 25.6 millones en 2010 a 151.7 millones en 2050, haciendo crecer la actividad vehicular en la misma proporción (casi en un factor de cinco). En tanto que el rendimiento de combustible se elevará escasamente en un factor de 0.17 en promedio. Las camionetas de pasajeros llegarán a ser uno de los modos con mayor demanda de combustibles (32 % del consumido por automóviles en 2050),

ocasionando con sus menores rendimientos que el consumo energético por persona transportada se incremente. En contraste, el transporte público de pasajeros tendrá cada vez menor presencia, al disminuir de 10 % del consumo energético en 2010, a 3 % en 2050 pese a ser el tipo de transporte de mayor eficiencia en cuanto a consumo energético y a emisiones ambientales por pasajero-kilómetro.

Dado el gran crecimiento esperado en la flota de vehículos ligeros, el aumento del rendimiento vehicular es el esquema de mitigación que mayores ahorros en energía promete (47 % en aplicación aislada). Aunque la implementación conjunta con otros esquemas de mitigación, como los biocombustibles, el automóvil eléctrico y los sistemas BRT proyectan importantes beneficios ambientales (66 % de reducción conjunta anual de emisiones de CO_2 en 2050), no serán suficientes para estabilizar las emisiones. Será indispensable reducir la tasa de crecimiento de la flota vehicular y aumentar el desecho de vehículos obsoletos para llegar a un punto de saturación alrededor de los 600 vehículos por mil habitantes. Si en 2050 la flota vehicular representara el 68 % de la del escenario base, los esquemas de mitigación propuestos pueden alcanzar 75 % de reducción en las emisiones de CO_2 y 77 % en la reducción del consumo energético con menores requerimientos de autobuses BRT y biocombustibles.

REFERENCIAS

CFE (2011). Programa de obras e inversiones del sector eléctrico 2011-2025. Comisión Federal de Electricidad. México, D.F., 312 pp.

Chávez C. y Sheinbaum C. (2014). Sustainable passenger road transport scenarios to reduce fuel consumption, air pollutants and GHG (greenhouse gas) emissions in the Mexico City Metropolitan Area. Energy 66, 624-634.

Chollacoop N., Saisirirat P., Sukkasi S., Tongroon M., Fukuda T., Fukudac A. y Nivitchanyonga S. Potential of greenhouse gas emission reduction in Thai road transport by ethanol bus technology. Appl. Energ. 102, 112-123.

CONAPO (2013). República Mexicana: Indicadores demográficos, 1990-2010, Consejo Nacional de Población. Reporte estadístico datos de proyecciones [en línea]. http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Proyecciones_Datos 07/03/201.

Cravioto J., Yamasue E., Okumura H. y Keiichi N. (2013). Road transport externalities in Mexico: Estimates and international comparisons. Transp. Policy 30, 63-76.

Cuenot F. (2009). CO_2 emissions from new cars and vehicle weight in Europe. How the EU regulation could have been avoided and how to reach it? Energ. Policy 37, 3832-3842. [en línea]. http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2009.07.036.

Daly H. y Gallachóir B. (2012). Future energy and emissions policy scenarios in Ireland for private car transport. Energ. Policy 51, 172-183. [en línea]. http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2012.08.066.

Dargay J., Gately D. y Sommer M (2007). Vehicle Ownership and Income Growth, Worldwide: 1960-2030. Energ. J. 28, 163-190.

Davis S., Diegel S. y Boundy R. (2011). Transportation energy data book, 30va edición. Center for Transportation Analysis, Energy and Transportation Science Division, U.S. Department of Energy. Reporte estadístico. Oak Ridge, Tennessee, EUA, 429 pp. [en línea]. http://info.ornl.gov/sites/publications/files/Pub31202.pdf 16/02/2013.

EPA-DOE (2002). Updating fuel economy estimates in MOBILE 6.3 (Draft), USA, Environmental Protection Agency – Department of Energy 2002 [en línea]. http://nepis.epa.gov/Exe/ZyNET.exe/P1001ZDI.txt?ZyActionD=ZyDocument&Client=EPA&Index=2000%20Thru%202005&Docs=&Query=&Time=&EndTime=&SearchMethod=1&TocRestrict=n&Toc=&TocEntry=&QField=&QFieldYear=&QFieldMonth=&QFieldDay=&UseQField=&IntQFieldOp=0&ExtQFieldOp=0&XmlQuery=&File=D%3A\ZYFILES\INDEX%20DATA\00THRU05\TXT\00000017\P1001ZDI.txt&User=ANONYMOUS&Password=anonymous&SortMethod=h|-&MaximumDocuments=1&FuzzyDegree=0&ImageQuality=r75g8/r75g8/x150y150g16/i425&Display=p|f&DefSeekPage=x&SearchBack=ZyActionL&Back=ZyActionS&BackDesc=Results%20page&MaximumPages=1&ZyEntry=1 16/02/2012.

EPA-DOE (2014). Fuente oficial del gobierno de los Estados Unidos para la información de la economía de combustible [en línea]. http://www.fueleconomy.gov/feg/PowerSearch.do?action=noform&path=1&year1=1984&year2=2016&vtype=Electric 13/12/2014.

EPA-NHTSA (2011). 2017 and later model year light-duty vehicle greenhouse gas emissions and corporate average fuel economy standards. A proposed rule, Environmental Protection Agency - National Highway Traffic Safety Administration [en línea]. https://www.federalregister.gov/articles/2012/10/15/2012-21972/2017-and-later-model-year-light-duty-vehicle-greenhouse-gas-emissions-and-corporate-average-fuel 10/01/2014.

Feng A. y Sauer A. (2004). Comparison of passenger vehicle fuel economy and greenhouse gas emission standards around the world. Pew Center on Global

Climate Change [en línea] http://www.c2es.org/docUploads/Fuel%20Economy%20and%20GHG%20Standards_010605_110719.pdf 10/01/2014.

FIMEVIC (2000). Diagnóstico de la movilidad de las personas en la Ciudad de México. Fideicomiso para el Mejoramiento de las Vías de Comunicación del Distrito Federal [en línea]. http://www.fimevic.df.gob.mx/problemas/1diagnostico.htm 04/11/2013.

Fulton, L. y Watson S. (2014). Fuel economy state of the world 2014: The world is shifting into gear on fuel economy. Global Fuel Economy Initiative 2014 [en línea]. http://www.its.ucdavis.edu/research/publications/publication-detail/?pub_id=2018 07/01/2015.

García C. y Manzini F. (2012). Environmental and economic feasibility of sugarcane ethanol for the Mexican transport sector. Sol. Energy 86,1063-1069.

Gutiérrez J. y Soria V. (2011a). Análisis estadístico de la información recopilada en las estaciones instaladas en 2010. Documento Técnico No. 48. Instituto Mexicano del Transporte, Sanfandila, Querétaro, México, 126 pp.

Gutiérrez J. y Soria V. (2011b). Análisis estadístico de la información recopilada para autobuses, en las estaciones instaladas en el 2010. Documento Técnico No. 49, Instituto Mexicano del Transporte, Sanfandila, Querétaro, México, 61 pp.

Hao H., Geng Y., Wang H. y Ouyang M. (2014). Regional disparity of urban passenger transport associated GHG (greenhouse gas) emissions in China: A review. Energy 68, 783-793.

He L. y Chen Y. (2013). Thou shalt drive electric and hybrid vehicles: Scenario analysis on energy saving and emission mitigation for road transportation sector in China. Transport Policy 25, 30-40.

Hyard A. (2013). Non-technological innovations for sustainable transport. Technol. Forecast. Soc. 80, 1375-1386. [en línea]. http://dx.doi.org/10.1016/j.techfore.2012.11.009.

ICCT (2011a). U.S. Greenhouse gas emissions and fuel efficiency standards for medium- and heavy-duty engines and vehicles. International Council on Clean Transportation. Washington DC, EUA, 26 pp.

ICCT (2011b). European Union Greenhouse gas reduction potential for heavy-duty vehicles. International Council on Clean Transportation. California, EUA. 69 pp.

ICCT (2012). Global transportation energy and climate roadmap. The impact of transportation policies and their potential to reduce oil consumption and greenhouse gas emissions, International Council on Clean Transportation. Washington DC, EUA, 109 pp.

ICCT (2013). Passenger car fuel-efficiency, 2020–2025. Comparing stringency and technology feasibility of the Chinese and US standards, International Council on Clean Transportation. Washington, DC, EUA. 16 pp.

IEA (2010). Energy Technology Perspectives 2010. Scenarios & strategies to 2050, International Energy Agency. París, Francia, 710 pp.

IEA (2011). CO_2 Emissions from fuel combustion 2011 – Highlights, International Energy Agency, París, Francia, 134 pp.

IEA (2012a). Energy Technology Perspectives 2012. Pathways to a clean energy system, International Energy Agency. París, Francia, 609 pp.

IEA (2012b). Technology roadmap. Fuel economy of road vehicles, International Energy Agency, París, Francia, 50 pp.

IEA (2013a). CO_2 Emissions from Fuel Combustion 2013 – Highlights, International Energy Agency, París, Francia, 138 pp.

IEA (2013b). 2013 Key world energy statistics, International Energy Agency. París, Francia, 82 pp.

IMT (2000). Productividad en el transporte Mexicano, Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Publicación Técnica No. 149. Instituto Mexicano del Transporte. Sanfandila, Querétaro, México, 129 pp.

IMT (2012). Manual estadístico del sector transporte 2012. Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Instituto Mexicano del Transporte. Sanfandila, Querétaro, México, 304 pp.

IndexMundi (2014). Base de datos estadísticos [en línea]. http://www.indexmundi.com/energy.aspx?product=biodiesel&graph=production.

INE (2007). The benefits and costs of a bus rapid transit system in Mexico City. Reporte final. Instituto Nacional de Ecología. México D.F., 133 pp.

INECC (2012). Nota técnica sobre la evolución de las emisiones de bióxido de carbono y rendimiento de combustible de los vehículos ligeros nuevos en México 2008-2011, Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. Nota técnica. México, D. F., 39 pp.

INECC- PNUD (2012). Actualización del inventario nacional de emisiones de gases de efecto invernadero 1990 - 2010, para la categoría de energía. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático - Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. Estudio. México, D. F., 302 pp. [en línea] http://www.inecc.gob.mx/descargas/cclimatico/2012_estudio_cc_invgef2.pdf.

INEGI (1992). La industria automotriz en México 1992. Series Estadísticas Sectoriales, Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Aguascalientes, México, 107 pp.

INEGI (2000). La industria automotriz en México 2000. Series Estadísticas Sectoriales, Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Aguascalientes, México, 223 pp.

INEGI (2005). La industria automotriz en México 2005. Series Estadísticas Sectoriales, Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Aguascalientes, México, 298 pp.

INEGI (2007). Sistema de clasificación industrial de América del Norte México, 2007, Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Aguascalientes, México, 311 pp.

INEGI (2012a). Consulta interactiva de la base datos. Instituto Nacional de Estadística y Geografía [en línea]. http://www.inegi.org.mx/est/lista_cubos/consulta.aspx?p=adm&c=8 04/04/2012.

INEGI (2012b). La industria automotriz en México 2012. Series Estadísticas Sectoriales, Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Aguascalientes, México, 351 pp.

INEGI (2013). Boletín de Prensa Núm. 408/13 del 22 de octubre de 2013, Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Boletín de Prensa. Aguascalientes, México, 3 pp.

INEGI-BIE (2013). Instituto Nacional de Estadística y Geografía - Banco de Información Económica [en línea]. http://www.inegi.org.mx/sistemas/bie 22/06/2013.

IPCC (1998). Orientación del IPCC sobre las buenas prácticas y la gestión de la incertidumbre en los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, Intergovernmental Panel on Climate Change [en línea]. http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/spanish/.

IPCC (2006). Guidelines for national greenhouse gas inventories, Volume Energy. Intergovernmental Panel on Climate Change. Hayama, Japón, 1513 pp.

IPCC (2007a). Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, Intergovernmental Panel on Climate Change. Ginebra, Suiza, 1454 pp.

IPCC (2007b). Climate change 2007: Mitigation. Contribution of working group III to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press. Cambridge, Nueva York, EUA, 852 pp.

IPCC (2013). Fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Working Group I, Intergovernmental Panel on Climate Change. Ginebra, Suiza, 1308 pp.

IPCC (2014). 5th Assessment report "Climate change 2014: Mitigation of climate change, working group III, Intergovernmental Panel on Climate Change. Ginebra, Suiza, 1436 pp.

Islas J., Manzini F. y Masera O. (2007). A prospective study of bioenergy use in Mexico, Energy 32, 2306-2320.

ITDP (2012). Diagnóstico de fondos federales para transporte y accesibilidad urbana. Cómo gastamos nuestros recursos en México en 2011, Instituto de Políticas para el Transporte y Desarrollo México. México, D. F., 64 pp.

Jazcilevich A., García A., Grutter M., Delgado J., Diego U., Suárez M., Zuk M., González R., Lents J. y Davis N. (2011). An evaluation of the hybrid car technology for the Mexico Mega City. J. Power Sources 196, 5704-5718.

Li J. (2011). Decoupling urban transport from GHG emissions in Indian cities-A critical review and perspectives. Energ. Policy 39, 3503-3514.

Lipscy P. y Schipper L. (2013). Energy efficiency in the Japanese transport sector. Energ. Policy 56, 248-258. [en línea]. http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2012.12.045.

Liu W., Lund H. y Vad Mathiesen B. (2013). Modelling the transport system in China and evaluating the current strategies towards the sustainable transport development. Energ. Policy 58, 347-357. [en línea]. http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2013.03.032.

Lozada I., Islas J. y Grande G. (2010). Environmental and economic feasibility of palm oil biodiésel in the Mexican transportation sector. Renew. Sust. Energ. Rev. 14, 486-492.

Mckinsey-CMM (2009). Low carbon growth, a potential path for Mexico, Mckinsey and Company y Centro Mario Molina. Washington, D.C., EUA, 186 pp.

Melgar (2007). Estadística del parque de vehículos en México 2007. Consultora Melgar y Asociados. Base de datos. México D. F.

Melgar (2011). Estadística del parque de vehículos en México 2011. Consultora Melgar y Asociados. Base de datos. México D. F.

Metrobús (sin fecha). Emisión de contaminantes por actividad de fuentes móviles en el centro histórico de la Ciudad de México [en línea]. http://www.metrobus.df.gob.mx/docs/documentos_L4/Anexos/Anexo_Diez.pdf 02/12/2015.

Metrobús (2012). Reporte de la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero durante el séptimo año de operación del Corredor Metrobús Insurgentes. [en línea]. http://www.metrobus.df.gob.mx/transparencia/documentos/art15/X/X01_Reporte%202011-2012.pdf 14/09/2013.

Monzón A. y Pérez P. (2009). Transport and climate change in Spain: Problems and prospects. Carreteras 4, 44-50.

Páez A. (2010). Energy – urban transition: The mexican case. Energ. Policy 38, 7226-7234.

PEMEX (2001). Anuario Estadístico 2001. Petróleos Mexicanos. México, D.F., 85 pp.

PEMEX (2012). Anuario Estadístico 2012. Petróleos Mexicanos. México, D.F., 78 pp.

Piyush T. y Gulati M. (2013). An analysis of trends in passenger and freight transport energy consumption in India. Res. Transp. Econ. 38, 84-90. [en línea]. http://isiarticles.com/bundles/Article/pre/pdf/6328.pdf.

PNUD (2009). Diseño de una nueva ruta baja en carbono para el desarrollo. Lineamientos para la planificación integrada del cambio climático para gobiernos regionales. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, 140 pp.

Power Mex (2006). Resultados del Metrobús en la reducción de emisiones, XII seminario de ahorro de energía. Cogeneración y energía renovable. Power Mex Clean Energy and Efficiency [en línea] http://www.procalsol.gob.mx/work/sites/CONAE/resources/LocalContent/4289/2/guillermocalderon.pdf 05/04/2013.

Schipper L. (2011). Automobile use, fuel economy and CO_2 emissions in industrialized countries: Encouraging trends through 2008? Transp. Policy 18, 358-372.

Schipper L., Saenger C. y Sudardshan, A. (2011). Transport and carbon emissions in the United States: The long view. Energies 4, 563-581. [en línea]. http://www.mdpi.com/1996-1073/4/4/563.

SCT (2001). Anuario estadístico del Sector Comunicaciones y Transportes 2001. Secretaría de Comunicaciones y Transportes. México, 218 pp. [en línea] http://www.sct.gob.mx/transporte-y-medicina-preventiva/autotransporte-federal/estadistica-basica-del-autotransporte-federal/2001/.

SCT (2007). Anuario estadístico del Sector Comunicaciones y Transportes 2007, Secretaría de Comunicaciones y Transportes. México, 218 pp. [en línea]. http://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGP/estadistica/Anuarios/ANUARIO-2007.pdf.

SCT (2010). Principales estadísticas del Sector Comunicaciones y Transportes 2010, Secretaría de Comunicaciones y Transportes. México. 58 pp. [en línea] http://www.sct.gob.mx/transporte-y-medicina-preventiva/autotransporte-federal/estadistica-basica-del-autotransporte-federal/2010.

SCT (2012). Estadística básica del auto transporte federal 2012, Secretaría de Comunicaciones y Transportes. México, 213 pp. [en línea]. http://www.sct.gob.mx/transporte-y-medicina-preventiva/autotransporte-federal/estadistica-basica-del-autotransporte-federal/2012/.

SEMARNAT (2014). Norma Oficial Mexicana NOM-163-SEMARNAT-ENER-SCFI-2013. Emisiones de bióxido de carbono (CO_2) provenientes del escape y su equivalencia en términos de rendimiento de combustible, aplicable a vehículos automotores nuevos de peso bruto vehicular de hasta 3857 kilogramos. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Diario Oficial de la Federación. 21 de junio de 2013.

SENER (1997). Balance nacional de energía 1996, Subsecretaría de Planeación Energética y Desarrollo Tecnológico. Secretaría de Energía. México, D. F., 159 pp.

SENER (2000). Balance nacional de energía 1999, Subsecretaría de Planeación Energética y Desarrollo Tecnológico. Secretaría de Energía. México, D. F., 100 pp.

SENER (2011). Balance nacional de energía 2010, Subsecretaría de Planeación Energética y Desarrollo Tecnológico. Secretaría de Energía. México, D. F., 138 pp.

SENER (2012). Balance nacional de energía 2011, Subsecretaría de Planeación Energética y Desarrollo Tecnológico. Secretaría de Energía. México, D. F., 159 pp.

SIE-SENER. Sistema de Información Energética. Secretaría de Energía [en línea]. http://sie.energia.gob.mx/bdiController.do?action=temas 19/09/2012.

Sheinbaum C. y Chávez C. (2011). Fuel efficiency of new cars in Mexico: trends from 1988 to 2008. Energ. Policy 39, 8153-8162.

Sheinbaum P. C., Solís Á. J. C. y García R. C. (2010). GHG emission scenarios related to passenger road transport energy use in the main Mexican metropolitan areas. Memorias. Memorias. 11th IAEE European Conference. Transport and CO_2. Vilnius, Lituania, 25 al 28 de agosto de 2010. CD-ROM.

SMA (2008). Inventario de emisiones criterio 2006. Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal. México, D.F., 166 pp.

Solís J. y Sheinbaum C. (2013). Energy consumption and greenhouse gas emission trends in Mexican road transport. Energ. Sust. Dev. 17, 280-287.

UNC (2014). Reportes estadísticos. Unión Nacional de Cañeros. México [en línea]. http://www.caneros.org.mx/site_caneros/estadisticas/nacional.pdf 02/02/2014.

Van Vliet O., Sjoerd A., Kuramochib T., Van den Broekb M. y Faai A. (2011). Energy use, cost and CO_2 emissions of electric cars. J. of Power Sources 196, 2298-2310.

WB (2014). Estadísticas del Banco Mundial, The World Bank. [en línea] http://data.worldbank.org/indicator 11/01/2014.

Yan X. y Crookes R. (2010). Energy demand and emissions from road transportation vehicles in China. Prog. Energ. Combust. 36, 651-676.

Zhang L., Feng Y. y Chen B. (2011). Alternative scenarios for the development of a low-carbon city: A case study of Beijing, China. Energies 4, 2295-2310.