

## **Análisis de las estrategias de mitigación y adaptación del sector transporte en la ciudad de Mexicali**

Argelia Melero Hernández\*, Margarito Quintero Núñez\*\*  
y Moisés Galindo Duarte\*\*\*

### Resumen

El objetivo de este artículo es desarrollar un análisis de las estrategias de mitigación y adaptación del sector transporte en la ciudad de Mexicali, Baja California, México. Basado en la metodología de los Programas de Acción ante el Cambio Climático (PACC), se analiza el inventario de emisiones de Mexicali y se da a conocer un diagnóstico. Una vez analizada la situación actual, se estudian las estrategias de mitigación, como el sistema de transporte colectivo (BRT, por sus siglas en inglés), la verificación vehicular, nuevas leyes de importación, la producción de biocombustibles, la promoción de uso de vehículos de menores emisiones y la planeación urbana. En materia de adaptación se estudia el reciclado de vehículos en Mexicali y el uso de transporte no motorizado como alternativa de movilidad sustentable.

*Palabras clave:* estrategias de mitigación y adaptación, Mexicali, transporte terrestre, cambio climático, calidad del aire.

### Abstract

The aim of this paper is to develop an analysis of mitigation and adaptation strategies in the transport sector in the city of Mexicali, Baja California, Mexico. Based on the methodology of the Programs of Action on Climate Change (PACC), we analyzed the Mexicali emissions inventory and generated a diagnosis. Once we analyzed the current situation, we studied mitigation strategies such as Bus Rapid Transit (BRT), the smog check, new importation legislation for used cars, biofuel production, the promotion of lower-emission vehicles and urban planning. On adaptation strategies vehicle recycling and the use of non-motorized transport were studied as an alternative of sustainable mobility.

*Keywords:* mitigation and adaptation strategies, Mexicali, ground transportation, climate change, air quality.

\* Estudiante de maestría en Ingeniería, Instituto de Ingeniería, Universidad Autónoma de Baja California. Correo electrónico: argelia\_87@hotmail.com

\*\* Investigador del Instituto de Ingeniería, Universidad Autónoma de Baja California. Correo electrónico: maquinu@uabc.edu.mx

\*\*\* Investigador del Instituto de Ingeniería, Universidad Autónoma de Baja California. Correo electrónico: galindo@uabc.edu.mx

## Introducción

El objetivo de este trabajo es desarrollar un análisis de las estrategias de mitigación y adaptación (GBC, 2012a:227) establecidas para la entidad. Con los registros de las emisiones de los gases efecto invernadero (GEI) provocados por parte del sector transporte de la ciudad de Mexicali (El Colef, 2012:7): bióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ), óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), hexafluoruro de azufre ( $\text{SF}_6$ ) (CICC, 2006:19), y de los contaminantes criterio generados: monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ), ozono ( $\text{O}_3$ ), óxidos de azufre ( $\text{SO}_x$ ), material particulado menor a 10 micrómetros de diámetro ( $\text{PM}_{10}$ ) y menores a 2.5 micrómetros de diámetro ( $\text{PM}_{2.5}$ ), se establece un diagnóstico y la justificación teórica de la necesidad de promover y desarrollar estrategias de mitigación y adaptación.

Se justifica la importancia del tema ya que los GEI y los contaminantes de referencia generan un gran impacto en la salud de la comunidad y producen efectos que provocan la aceleración del cambio climático (Reyna, 2008).

El estudio fue enfocado a los sistemas de transporte urbano, público y privado, así como a las medidas que se toman para hacer que su influencia en la contaminación del aire sea lo menor posible, con programas muy específicos para la mitigación de GEI, como la verificación vehicular (SPA, 2012), uso de combustibles alternativos (GBC, 2012a:113), desarrollo de vehículos con tecnologías de menores emisiones (GDF, 2008:33) y la planeación urbana (Bansha *et al.*, 2011:495). A su vez, se realizó el estudio de las estrategias de adaptación como el reciclado de vehículos (Ocampo *et al.*, 2010) y el uso del transporte no motorizado (Johnson *et al.*, 2009:66).

Con la realización de un análisis de las estrategias de mitigación y adaptación ejecutadas en otras entidades del país, se puede obtener un panorama más amplio, así como respuestas a estrategias y problemas locales que tienen potencial para desarrollarse (GBC, 2012a; IEEG, 2011; GDF, 2008; GEV, 2009).

El trabajo contribuirá a un análisis entre las estrategias aplicadas o previstas para Baja California, específicamente en la ciudad de Mexicali, y otras estrategias utilizadas en los estados que han desarrollado su PACC enfocado en el subsector transporte. Se presta especial atención al incremento del parque vehicular ya sea por compras de vehículos nacionales o

por causa de las importaciones realizadas en zonas fronterizas como la de Mexicali (TSTES, 2008:4).

El orden a seguir en este trabajo consistirá en dar a conocer el estado actual de Mexicali en cuanto a su flota vehicular y la contribución de la misma a la contaminación del aire, considerando los GEI y los contaminantes criterio. Se analizan las estrategias derivadas del PACC del estado de Baja California (GBC, 2012a) y del Programa para Mejorar la Calidad del Aire (Proaire) de Mexicali (GBC, 2011) en cuanto a las medidas, acciones y estrategias a tomar en cuenta para hacer de Mexicali una ciudad sustentable y contar con un ejercicio comparativo en relación con otras ciudades de México que cuentan con PACC ya establecidos.

## Metodología

La metodología seguida para la realización de la investigación está basada en los programas PACC de los estados de Baja California, Baja California Sur, Chiapas, Distrito Federal, Guanajuato, Nuevo León, Tabasco y Veracruz. Se utilizaron los estados antes mencionados por ser los que cuentan con un programa completo ya publicado. A continuación se enlistan los pasos seguidos para la realización del análisis:

1. Análisis del inventario de emisiones de la ciudad de Mexicali (ERG-ICAR-TE, 2009).
2. Diagnóstico del parque vehicular en la ciudad de Mexicali (Muñoz, s/f).
3. Análisis de las propuestas de estrategias de mitigación y adaptación (GBC, 2012a; Ivanova *et al.*, 2012; GENL, 2010; GEV, 2009; IEEG, 2011; GEC, 2011; GET, 2011; GDF, 2008).
4. Conclusiones.

El trabajo analizó solamente la parte correspondiente al sector transporte del inventario de emisiones para la ciudad de Mexicali (ERG-ICAR-TE, 2009:4.0). Una vez hecho esto, se realizó el diagnóstico de las emisiones del sector transporte con que cuenta la ciudad. La tendencia general in-

dica que se deben establecer estrategias de mitigación y adaptación para poder disminuir las emisiones en este sector.

La mayor oportunidad de disminución de gases con efecto invernadero está en el sector energético, en el cual el transporte está dentro de este rubro y cuya emisión representa la mayor proporción entre fuentes principales (GBC, 2012a; GEV, 2009). Para poder realizar el análisis entre los diversos PACC revisados, se estudian las estrategias comunes propuestas en estos programas por parte del sector transporte.

## Estado actual

### *Gases de efecto invernadero en el sector transporte*

En las áreas urbanas, cerca de 70% de las emisiones de GEI del transporte automotor proviene del uso de automóviles particulares. Las perspectivas presentan un escenario aún más complejo: se espera un incremento global en las emisiones de GEI del sector transporte de aproximadamente 57% para el periodo 2005-2030 (Huizenga y Bakker, 2010:60).

La incidencia en el efecto invernadero no es la misma para todos los GEI; el impacto de cada GEI depende de su potencial de absorción de energía y de su horizonte de vida en la atmósfera. Para poder hacer un análisis cuantitativo se creó el concepto de  $\text{CO}_2$  equivalente ( $\text{CO}_2\text{eq}$  o  $\text{CO}_2\text{e}$ ). Las emisiones de GEI distintos al  $\text{CO}_2$  se calculan como la cantidad de  $\text{CO}_2$ , por unidad de peso, necesaria para producir un efecto similar (IPCC - WGI, 2007:2.1).

El  $\text{N}_2\text{O}$  pertenece a la familia de los óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ), tiene un potencial de calentamiento, por unidad de peso, 310 veces mayor que el  $\text{CO}_2$ . El  $\text{CH}_4$  tiene un potencial de calentamiento 21 veces mayor que el  $\text{CO}_2$  (INE-Semarnat, 2005).

El  $\text{CO}_2$  es el principal gas emitido por el sector transporte, y 98% de estas emisiones se explica por el alto consumo de gasolinas y diesel en el estado de Baja California (El Colef, 2012:7).

El sector transporte enfrenta retos hacia el futuro en dos ámbitos principales: la necesidad de reducir la dependencia energética —se depende

de combustibles derivados del petróleo como fuente de energía—, y la necesidad de reducir drásticamente los GEI mundiales y las emisiones de contaminantes locales. Si bien se han dado pasos para reducir las emisiones con el progreso técnico, el cual conduce a una mayor eficiencia energética, esto no ha sido suficiente para compensar los crecientes volúmenes de tráfico (EEA, 2010:70).

En la zona urbana de Mexicali, el parque vehicular aumentó de 187 123 vehículos en circulación en 1992, a 474 741 en 2012 (Muñoz, s/f). El aumento de los automóviles en circulación influye en la cantidad de emisiones de GEI.

Los niveles de contaminación aún son superiores a los límites legales en diversas áreas urbanas, lo que significa que deben establecerse nuevas medidas para mejorar la calidad del aire. Por estas razones, se espera dentro del sector del transporte enfrentar cambios importantes en un futuro próximo en los ámbitos de la tecnología de los vehículos, fuentes de energía y la gestión de la movilidad (Baptista *et al.*, 2012:802).

La ciudad de Mexicali no es la excepción, y según escenarios estudiados, para el 2042 se tiene una proyección de 1 054 521 unidades en caso de seguir la tendencia inercial actual (Muñoz, s/f).

Por lo anterior, es necesario analizar las medidas necesarias para enfrentar los retos que presenta el sector transporte. Para poder establecer el análisis de las estrategias de mitigación y adaptación, se analiza la metodología utilizada en los programas PACC y Proaire, así como la implementación exitosa de las estrategias de adaptación y mitigación en México. Una vez hecho el análisis, se proponen las recomendaciones para la ciudad de Mexicali.

### *Contaminantes criterio en el área de transporte*

Los contaminantes criterio ( $O_3$ ,  $NO_2$ ,  $CO$ ,  $SO_2$ ,  $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$ ) se miden a través del uso de la red de monitoreo atmosférico de Mexicali, que inició operaciones en enero de 1997 dentro del marco de cooperación del Programa Frontera XXI —con recursos de la United States Environmental Protection Agency (USEPA), la California Air Resources Board (CARB) y la participación de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat). Ini-

cialmente este programa fue operado y financiado por la Agencia Estatal de California, pero desde junio de 2006 la Secretaría de Protección al Ambiente (SPA) del Gobierno del Estado de Baja California (GBC) es la encargada de su administración. Se cuenta con la supervisión de la CARB para la calibración y el buen funcionamiento del equipo.

La Red de Monitoreo Atmosférico de Mexicali está conformada por seis estaciones (UABC, COBACH Baja California, UPBC, Xochimilco, Conalep Puebla y Progreso), de las cuales cinco monitorean de manera automática  $O_3$ ,  $NO_2$ , CO,  $SO_2$  y algunos parámetros meteorológicos, como temperatura, humedad, dirección y velocidad del viento; además de muestrearse manualmente las  $PM_{10}$  cada semana (COBACH BC, UPBC, Xochimilco, Conalep Puebla y Progreso), con excepción de la estación UABC donde las  $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$  se realizan en forma automática.

El siguiente análisis se efectuó con 12 años de información acumulada desde el inicio de la operación de los monitores de calidad del aire, con información de la base de datos de Air Quality System (AQS) de la EPA, por lo que las tendencias observadas, puede decirse, son representativas del comportamiento de los contaminantes. Pueden establecerse algunas conclusiones sobre la calidad del aire de Mexicali aplicada a aquellos contaminantes primarios generados de la combustión de los automóviles ( $NO_2$ , CO,  $PM_{10}$ ):

Se violó la norma (0.21 ppm-hr) para  $NO_2$  de dos a tres veces de 1998 a 2004, respectivamente. De 2005 a 2008 no se rebasó el valor máximo de la norma.

El registro del promedio anual de concentraciones de CO muestra una tendencia hacia la baja en todas las estaciones, con excepción del COBACH BC que muestra un episodio aislado en 2007. Es el contaminante que registra los mayores días fuera de norma durante el periodo y a su vez el mayor contraste: 144 días fuera de norma en 1999 y cero días en 2008. El periodo en que se incrementaron los niveles de CO incluso por arriba de la norma (11 ppm-8 horas) fue en la época fría del año, debido a la condición de alta estabilidad atmosférica que prevalece en esos meses.

Las partículas finas  $PM_{10}$  excedieron la norma ( $50 \mu g/m^3$ ) principalmente durante la época de invierno, en los meses sin lluvia. La estación Progreso registró el mayor promedio anual horario, seguida por la de COBACH BC, lo cual se explica por su posición geográfica. En el caso de la estación

Progreso es importante considerar su reposicionamiento, por la altura del muestreador y la vecindad de una calle no pavimentada —está situada en una zona urbano-agrícola—. Esto hace que Mexicali se sitúe como una de las ciudades más contaminadas por  $PM_{10}$  en la frontera México-Estados Unidos y la tercera a escala nacional (*Periódico Reforma*, 2011).

Las partículas  $PM_{2.5}$  han excedido la norma desde el inicio de su medición ( $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). El 2008 ha sido el año con más días fuera de norma con 80 en el año. El 2005 fue el año con registros más dispersos.

En cuanto al comportamiento de los contaminantes por zona, en Mexicali se tiene que con mayor frecuencia se rebasa la norma de  $O_3$  y CO en el oeste (COBACH BC). El  $NO_2$  lo hace con mayor frecuencia en la zona este de la ciudad (UABC). En cuanto a las partículas  $PM_{10}$ , la zona oeste presenta más de 50% de los muestreos fuera de norma (Progreso y COBACH BC).

Es conveniente aclarar que algunas tendencias en la disminución de contaminantes no significan que la situación en cuanto a la calidad del aire en la ciudad sea óptima, pues aún se presentan episodios cercanos o mayores a los límites máximos permisibles vigentes en la legislación mexicana (GBC, 2011:74).

### *Inventario de emisiones de Mexicali en relación con el transporte*

El primer antecedente de inventarios de emisiones desarrollados para Mexicali fue el que se publicó como parte del Proaire para el año base de 1996 (GBC, 1999). Posteriormente, en 1999, se publicó un segundo inventario para Mexicali (ICAR, 1999) dentro del Inventario Nacional de Emisiones de México (INE-Semarnat, 2006).

Para 2008, se actualizó el inventario de emisiones para el municipio, tomando como año base 2005 (ERG-ICAR-TE, 2009). De acuerdo con lo anterior, los objetivos específicos del inventario de emisiones para Mexicali 2005 buscaron proporcionar una base técnica actualizada y exacta para la planeación de la calidad atmosférica en el municipio.

De acuerdo con el Eastern Research Group (ERG-ICAR-TE, 2009), para el caso de las fuentes de área y fuentes móviles (no carretera) se emplearon datos de actividad presentados por las agencias de gobierno de Mexicali y otros contactos locales. Finalmente, en el caso de las fuentes móviles

carreteras se usaron datos de actividad vehicular (p.ej., kilómetros recorridos por vehículo [KRV]) obtenidos por medio de modelación de tráfico y congestión en el municipio. En dicho inventario se consideraron ocho contaminantes:  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$ , compuestos orgánicos volátiles (COV), CO,  $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{PM}_{2.5}$ ,  $\text{CH}_4$  y amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) (ERG-ICAR-TE, 2009).

De acuerdo con el inventario de emisiones de contaminantes criterio 2005, en Mexicali se liberaron a la atmósfera cerca de 49 000 toneladas de  $\text{PM}_{10}$  y poco más de 7 000 toneladas de  $\text{PM}_{2.5}$  al año, de las cuales el principal aporte lo representaron las fuentes de área.

Asimismo, en la entidad durante el mismo año se registró una emisión cercana a las 79 000 toneladas de CO provenientes principalmente de las fuentes móviles carreteras y poco más de 23 000 toneladas de COV generadas entre las fuentes de área y las móviles carreteras. Finalmente, se obtuvieron un poco más de 5 000 toneladas al año de  $\text{CH}_4$  que también pertenecen a las fuentes de área. En el cuadro 1 se muestra la cantidad de emisiones generadas en Mexicali en unidades de toneladas por año.

Según el inventario de emisiones de Baja California, Mexicali consumió 26% de diesel para transporte y 3% de diesel industrial del suministro total de la región, en el periodo 1990-2005 (El Colef, 2012:40). Lo que implica que las emisiones en la ciudad de Mexicali hayan aumentado en los últimos años, como se puede observar en el cuadro 2.

Una vez analizada la tendencia de las emisiones, se puede constatar en un periodo de 20 años un aumento de 2.3% de  $\text{CO}_2$  eq. solamente por el sector transporte. Se hizo una proyección al 2042 y de seguir con la tendencia actual, sin ninguna aplicación de medidas o limitaciones, las emisiones de  $\text{CO}_2$  eq. podrían alcanzar 3 970 678 toneladas (Muñoz, s/f).

Uno de los retos más grandes dentro de este panorama es el aumento de la flota vehicular, sobre todo debido a la importación definitiva de vehículos usados provenientes de Estados Unidos y Canadá, lo cual representa la posibilidad de cambios reales en la composición de la flota vehicular de México y en el nivel de emisiones generadas por las fuentes móviles. El promedio de vehículos privados importados desde Estados Unidos que circulan en la zona fronteriza es de 78.9% (TSTES, 2008:15), lo cual indica la necesidad de implementar estrategias efectivas para mejorar la calidad de la flota vehicular y cuidar sus emisiones.



**Cuadro 1. Inventario de emisiones Mexicali 2005 por tipo de fuente (ton/año)**

<i>Fuente</i>	<i>PM<sub>10</sub></i>	<i>PM<sub>2.5</sub></i>	<i>NO<sub>x</sub></i>	<i>SO<sub>2</sub></i>	<i>CO</i>	<i>COV</i>	<i>NH<sub>3</sub></i>	<i>CH<sub>4</sub></i>
Fija federal	1,395.00	116.50	12,638.80	3,312.10	3,298.70	598.10	NE	NE
Fija estatal	81.40		402.80	882.90	435.40	66.20	NE	NE
Área	46,157.40	6,126.70	1,093.60	118.90	17,104.20	13,881.40	8,178.50	5,473.40
Móvil carretera	694.00	604.00	7,775.00	153.00	54,979.00	8,144.00	229.00	131.00
Móvil no carretera	499.00	483.80	4,068.80	55.30	2,909.30	492.50	NE	NE
Total	48,826.80	7,331.00	25,978.80	4,522.10	78,726.60	23,182.20	8,407.50	5,604.20

Notas: Las sumatorias pueden no coincidir, debido al redondeo de cifras.  
 NE significa que no se estimaron las emisiones debido a la falta de datos.  
 Fuente: CAC (2011:77).

**Cuadro 2. Emisiones de principales contaminantes sector transporte (ton/año)**

<i>Año</i>	<i>CO<sub>2</sub></i>	<i>N<sub>2</sub>O</i>	<i>CH<sub>4</sub></i>	<i>CO<sub>2</sub> eq.</i>
1980	1,129,476.15	625.16	118.23	1,325,759.17
1990	1,511,985.64	817.88	155.71	1,768,797.87
2000	1,721,223.28	902.74	173.43	2,004,713.28
2010	2,479,007.77	1,246.41	242.53	2,870,486.96
2012	2,535,445.24	1,261.88	246.32	2,931,802.07

Fuente: Muñoz (s/f).

## Diagnóstico

La ciudad de Mexicali se ubica a escala nacional como uno de los centros urbanos con mayor índice de vehículos por habitante (XX AM, 2011:20). En el cuadro 3 se puede observar el aumento de vehículos desde 1992 hasta 2012 (4.77%) y la disminución del índice de motorización (M), llegando a ser 1.661 hab/veh en 2012 (cuadro 3).

**Cuadro 3. Relación de población y vehículos por año en la ciudad de Mexicali**

<i>Año</i>	<i>Población (hab)</i>	<i>Vehículos (veh)</i>	<i>Índice de motorización (hab/veh)</i>
1980	383,892	112,891	3.40
1990	464,546	171,647	2.71
2000	616,895	261,451	2.36
2010	759,537	446,734	1.70
2012	790,479	474,741	1.67

Fuente: Muñoz (s/f).

Si la situación actual continúa, el índice de motorización pudiese disminuir hasta llegar a 1.353 hab/veh en 2042 (Muñoz, s/f). Por lo tanto, es imprescindible priorizar las propuestas que promueven el uso del transporte público y el uso del transporte con menores emisiones, específicamente para la ciudad de Mexicali.

## Estrategias de mitigación

Se entiende por *estrategias de mitigación* a la aplicación de políticas dirigidas a reducir las emisiones de GEI y mejorar los sumideros mediante el análisis de las causas o fuentes de emisiones y el posterior planteamiento de soluciones. La *reducción de GEI* se define como el efecto de las actividades realizadas para disminuir las emisiones de dichos gases producto de las actividades antropogénicas que contribuyen a la mitigación del cambio climático (ITESM-INE, 2010).

Es importante aclarar que la mitigación incluye la variación y la sustitución tecnológicas que reducen la utilización de los insumos y las emisiones por unidad de producción. Aunque la aplicación de políticas sociales, económicas y tecnológicas conduciría a la reducción de las emisiones en relación con el cambio climático (IPCC WGIII, 2007).

Las estrategias de adaptación y mitigación están interrelacionadas; es decir, entre más estrategias de adaptación se apliquen disminuirá la urgencia de implementar medidas de mitigación, y viceversa (Koetse y Rietveld, 2009:209).

Las estrategias de mitigación del sector transporte tienen como objetivos mejorar la eficiencia de los automóviles, la producción de combustibles limpios para reducir las emisiones por kilómetro recorrido y reducir el uso del automóvil (Inturri e Ignaccolo, 2011:467).

Las estrategias de mitigación llevadas a cabo según los PACC estudiados buscan mejorar los sistemas de transporte público, implementar campañas de verificación vehicular, promover la regularización de vehículos de procedencia extranjera, sustituir combustibles que producen grandes emisiones, promover el uso de vehículos particulares con menores emisiones y renovar el parque vehicular oficial (IEEG, 2011; GDF, 2008; GBC, 2012a; GEV, 2009).

Las propuestas específicas para la ciudad de Mexicali son la instalación del tren ligero, desalentar el uso del automóvil (Logit, 2010) e incentivar la producción de biocombustibles (GBC, 2012a:113); sin embargo, es importante analizar otras medidas exitosas, como la sustitución de la flota oficial por vehículos de menores emisiones (GDF, 2008:33).

Mediante la implementación de estas medidas, podrán reducirse o incluso evitarse los impactos negativos de estas emisiones. Los esfuerzos de los próximos años determinarán en gran medida las oportunidades de alcanzar niveles de estabilización inferiores. Retardar la aplicación de estas medidas reducirá notablemente las oportunidades e incrementará el riesgo de agravamiento del cambio climático (IPCC, 2007:20).

### *Sistema de transporte colectivo*

A escala nacional se optó por la modernización del sistema de transporte público, dentro del Programa de Apoyo Federal al Transporte Masivo (Protam). Lo anterior enfocado a la elaboración de planes de movilidad urbana sustentable y a la promoción de vehículos eficientes de bajas emisiones (SHCP, 2012:4).

Con el apoyo de 317 000 000 pesos, se fijó como prioridad la adquisición de vehículos más recientes y la creación del Sistema de Autobuses Rápidos Troncales (BRT, por sus siglas en inglés), que se integrará por 34 unidades a lo largo del corredor Adolfo López Mateos-Palacio, bajo la denominación de “Línea Express 1”. El mencionado sistema ayudará a evitar la emisión de 150 187.09 kg de  $\text{CO}_2$  diarios (Logit, 2010:106) lo cual beneficiará la reducción de emisiones en la ciudad de Mexicali. Dentro de los impactos benéficos que trae consigo la implementación de esta estrategia destacan los siguientes:

- Reducción del tiempo de traslado.
- Reducción del costo del pasaje a nivel familiar, así como de costos operacionales de transporte.
- Reducción de  $\text{CO}_2$  y de cientos de toneladas de contaminantes.
- Se generarán fuentes de empleo.
- Mejora de la imagen urbana.

Esto será un ejemplo de cómo puede atenderse la demanda del uso de transporte público de la ciudad, lo cual sin duda contribuirá a mejorar la calidad del aire y a disminuir la demanda de combustible y el tráfico ciudadano al menos en la zona servida. Se estima que sea beneficiada 8% de la población de manera directa, 34% de manera semidirecta y 58% de manera indirecta. Esto sólo es el principio de las mejoras al transporte público, faltarían más proyectos similares para que la mayoría de la población se vea beneficiada (Logit, 2010:10).

Dentro de los planes estratégicos para lograr una mejor circulación dentro de la ciudad se planea el proyecto de las Líneas Express 2 (Santa Isabel-Lázaro Cárdenas-Ejido Puebla) y 3 (Parque Industrial El Dorado-Benito Juárez- carretera San Felipe) (XX AM, 2011). Según el arquitecto Bernardo Salcedo, del Instituto Municipal de Investigación y Planeación Urbana (IMIP), aún no existe el plan maestro para los tramos 2 y 3 pero se procederá a la elaboración del plan integral que contará con el análisis del impacto ambiental correspondiente.

El éxito de los BRT exige negociaciones con las empresas concesionarias de las rutas que operan a lo largo de los corredores planeados. También son necesarios estudios de demanda para identificar la ubicación óptima para los corredores, así como obtener asesoramiento técnico para la planificación y operación de los sistemas (Johnson *et al.*, 2009:70).

### *Programa de Verificación Vehicular*

Con el fin de controlar las emisiones a la atmósfera emitidas por la flota vehicular, el 18 de diciembre de 2009 el Congreso del estado aprobó la iniciativa para establecer y operar –mediante la Secretaría de Protección al Ambiente (SPA)– los Centros de Verificación Vehicular; la iniciativa entró en vigor el 6 de enero de 2010. Oficialmente, la SPA inició el programa de verificación vehicular el 16 de enero de 2012, con una primera etapa de socialización de seis meses de servicio gratuito (del 16 de enero al 15 de julio de 2012); esta etapa se extendió hasta el 15 de septiembre del mismo año y era por un periodo anual a todo vehículo registrado en el estado. A partir de esta fecha la aplicación del programa sería obligatorio, con un costo de cinco o seis salarios mínimos. Con esta medida, Baja California

era el primer estado fronterizo que contaba con un programa de verificación vehicular ambiental (GBC, 2012a).

Mediante este programa, se estimó una reducción de emisiones [CO, NO<sub>x</sub>, COV, PM y CH<sub>4</sub>] de 17 571 tons/año en Mexicali (SPA, 2012).

Sin embargo, recientemente el Congreso estatal (GBC, 2012a) ha aprobado la obligatoriedad de contar con la verificación vehicular para este 2013, una vez publicada en el *Diario Oficial* del estado, a pesar de algunas protestas ciudadanas. Falta agregar las condicionantes de sanción y control para esta medida. Quizá falte un programa de concientización enfocado a dar a conocer los efectos negativos de los GEI y los contaminantes criterios, y aplicar las medidas necesarias, como en otros puntos del país donde la verificación vehicular es aplicada de manera obligatoria, como en el caso de la ciudad de México (GDF, 2012:55).

La barrera más importante a la restricción de vehículos mediante acciones de verificación vehicular es la falta de cumplimiento de las normas ambientales federales para las emisiones de gases de vehículos, cuyo cumplimiento depende de los gobiernos de los estados. Puesto que el principal beneficio de los programas de verificación es la reducción de los contaminantes locales, la mejor manera de hacer cumplir las normas es a través de la educación de la población respecto de los impactos de estos contaminantes en la salud. Los programas de verificación vehicular también pueden tener un efecto importante en la reducción de las emisiones de GEI, pues restringen el uso de los vehículos de mayor antigüedad que son altamente contaminantes (Johnson *et al.*, 2009:70).

### *Nuevas leyes para la importación de vehículos*

La mayoría de los automóviles en la ciudad de Mexicali proviene de Estados Unidos, con un promedio de edad de 8.11 años (TSTES, 2008:20). En este sentido, se han tomado medidas para garantizar que los vehículos importados cumplan con los requerimientos ambientales necesarios. Así, a partir de noviembre de 2011, mediante la Secretaría de Economía –que condiciona la entrada de vehículos a México a la verificación vehicular–, se publicó el Nuevo Decreto de Importación de vehículos usados. La in-

producción de la legislación en el estado de Baja California tendrá impacto en la actual generación de emisiones atmosféricas, para lo cual se esperan reducciones de 11.61% de  $\text{NO}_x$  y 24.26% en  $\text{CH}_4$  (GBC, 2012:264).

Dentro de los PACC, también se tiene como objetivo promover la regularización de vehículos de procedencia extranjera, como en el caso del estado de Guanajuato, que quiere controlar las emisiones de este tipo de vehículos mediante el sistema de verificación vehicular obligatorio (IEEG, 2011:53).

### *Biocombustibles*

Una de las estrategias de mitigación propuestas para el sector transporte es la producción de biocombustibles a partir de desechos de carne, de *Jatropha* y de semilla de algodón, estimando una reducción de 347.26 Gg de  $\text{Co}_2\text{eq.}/\text{año}$ .

La producción de biocombustibles tiene una probada capacidad de mitigación de GEI. A ello se agrega que al producir biocombustibles de 2da. y 3ra. generación, se evita el uso de tierras y agua que compiten su uso en la producción alimenticia, además de reducirse la generación de residuos sólidos (GBC, 2012a:248).

La producción de *Jatropha* y de semilla de algodón generará tres millones de litros de biocombustible al año, mientras que la de los residuos en los rastos generará 1.3 kton por año de biodiesel (Toscano *et al.*, 2011).

La producción de biocombustibles se podría dar a partir del 10% de la producción de cultivos actuales como el de la alfalfa verde (talo), la avena forrajera, el sorgo, el trigo y ryegrass. Esta producción equivale a ocho mil litros de biocombustible con una capacidad energética de 274 miles de Gj (GBC, 2012a:249).

Los costos totales de operación para los biocombustibles fueron estimados en 13 974 dólares, lo que corresponde a 0.37 dólares por litro de biocombustible (Lozada, 2010:489).

El uso de la palma de aceite en México puede ayudar a reducir las emisiones de  $\text{CO}_2$  a la atmósfera y reducir la dependencia de combustibles fósiles en el sector transporte. Dado que la principal materia prima es el aceite vegetal, el biodiesel se ha convertido en un factor importante para

promover el desarrollo regional en México. La palma de aceite se cultiva en la región sureste del país, en los estados de Campeche, Chiapas, Tabasco y Veracruz; su producción fue de 507 010.54 tons. En 2011 tuvo el mayor rendimiento y el menor costo de la unidad de producción entre todas las semillas oleaginosas en México (Sagarpa, 2011).

El principal potencial bioenergético a través de residuos agrícolas se encuentra en Mexicali, con los desechos de trigo, algodón y sorgo. Valdez-Vázquez y colaboradores (2010) evaluaron el potencial de conversión de residuos de cultivos en bioenergía a través de la combustión y la fermentación. Con los datos anteriores se demuestra la factibilidad de cosechar y producir biocombustibles en la república mexicana, promoviendo el uso de combustibles con menores emisiones de  $\text{CO}_2$  eq/año.

### *Vehículos de menores emisiones*

La Ley General de Cambio Climático, publicada el 6 de junio de 2012, establece en el artículo 33 lo siguiente: “Promover el incremento del transporte público, masivo y con altos estándares de eficiencia, privilegiando la sustitución de combustibles fósiles y el desarrollo de sistemas de transporte sustentable urbano y suburbano, público y privado” (CDCU, 2012:21).

Por lo anterior, es prioridad para todos los niveles de gobierno promover el uso de vehículos de menores emisiones y mejores tecnologías como los autos híbridos y eléctricos. Para este estudio se consideraron los vehículos híbridos y eléctricos por ser los de mayor mercado creciente, sobre todo los primeros (Driscoll *et al.*, 2012:1).

Se denomina a un vehículo como *híbrido* si cumple con dos funciones principales: ser alimentado por dos fuentes de energía externas (una de ellas proporciona electricidad), y tener dos sistemas de propulsión (uno de ellos eléctrico) (Hernández, 2012:53).

Los autos híbridos tienen un motor eléctrico y batería para el motor de combustión interna (MCI). Las baterías en este tipo de autos son más ligeras y más pequeñas que los vehículos eléctricos no híbridos. El MCI puede diseñarse para funcionar con gasolina, diesel o combustible alternativo. El paquete de baterías o condensador almacena exceso de energía generado a partir de frenado para utilizar para la aceleración rápida. La idea



principal detrás de los autos híbridos es la flexibilidad adicional ofrecida por el motor eléctrico, que permite que éste funcione mejor. En la baja demanda, el motor utiliza la batería. El MCI se activa cuando es necesario para conducir o recargar la batería. En plena aceleración, la batería añade energía (Argonne, 2011:1).

Los coches eléctricos no se tienen que recargar con gasolina o combustible diesel, y el costo de cargar con electricidad es menor que de la manera convencional; además, pueden recargarse en cualquier lugar donde haya una toma de corriente. Sin embargo, una desventaja es que la mayoría de los vehículos eléctricos tarda 10 horas para cargarse, aunque esto se ha podido disminuir a la mitad con el uso de 120 voltios (Brain, 2002:1).

No obstante, uno de los obstáculos principales en la aplicación de estas medidas es que los cambios al sistema de transporte aún no llegan al punto en que la población entera tenga acceso a tal tipo de tecnología, sobre todo por el aspecto económico, si bien el costo de las baterías y la electricidad de origen eólico o de otras energías renovables tiende a reducirse (Ceña y Santamarta, 2009:33).

En México, el gobierno del Distrito Federal (GDF) se planteó la meta de renovar su parque vehicular con el fin de reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> eq. en 109 000 ton/año (GDF, 2008:33).

### *Planeación urbana*

Una planeación urbana más eficiente puede reducir la dependencia del vehículo privado, aumentar el uso del transporte público y evitar la congestión del tráfico, la contaminación atmosférica y las emisiones de GEI (Bansha *et al.*, 2011:498).

En países en desarrollo como México, con marcadas desigualdades sociales, se hace deseable la contención de la expansión urbana de alta densidad pues ésta afecta negativamente la equidad social. Además, existen limitantes de opciones de transporte para las personas de escasos recursos, por lo que se buscan opciones más económicas traducidas en vehículos más viejos, sin contar con que el transporte público es deficiente (Burton, 2003:537).

En la ciudad de Mexicali se tiene establecido el Programa de Desarrollo Urbano del Centro de Población 2025 (PDUCP-2025) (IMIP 2007), instrumento normativo de uso del suelo y de desarrollo económico con el cual se pretende lograr una mejor distribución de la población y las actividades productivas, de acuerdo con la vocación o aptitud del medio ambiente y la infraestructura instalada para lograr el aprovechamiento máximo y el menor costo económico, ecológico y social.

En este programa se indica la necesidad de contar con planes rentables a nivel social y económico mediante la elaboración de proyectos de vialidades primarias y de transporte masivo y de redes de infraestructura urbana. También se indica, dentro de las líneas de acción en los macroproyectos urbanos, la implementación del tren ligero, la actualización e implementación del programa parcial del Río Nuevo, y la ampliación de la infraestructura de cruces fronterizos (IMIP, 2007:255).

La densificación urbana procura promover una política para el desarrollo y preservación de los centros urbanos, utilizando criterios de sustentabilidad que ofrezcan condiciones de habitabilidad (acceso al trabajo, escuelas y comercios). La planificación urbana que contempla una mayor densidad hace posible reducir la demanda de transporte motorizado e impone límites al crecimiento en las zonas urbanas, afectando directamente el uso de los vehículos (privados y públicos) y el consumo de combustibles (Johnson *et al.*, 2009:65).

## Estrategias de adaptación

La adaptación al cambio climático se refiere a transformaciones en sistemas humanos o naturales como respuesta a estímulos climáticos proyectados o reales, o a sus efectos, que pueden moderar el daño o aprovechar sus aspectos beneficiosos. Se pueden distinguir varios tipos de adaptación, como la preventiva y la reactiva, la pública y la privada o la autónoma y la planificada (IPCC, 2007:76).

La adaptación permite redefinir las estrategias de desarrollo de manera tal que se busque disminuir la vulnerabilidad de la población. La adaptación se ha vuelto de alta prioridad debido a que se espera que la tendencia al calentamiento global y los cambios en el clima continúen, sin

que la mitigación a las emisiones de GEI cambie drásticamente la tendencia en un mediano plazo (GDF, 2008:38).

Se observa que en la mayoría de los PACC analizados se tienen planteadas muy pocas o nulas iniciativas para el desarrollo de estrategias de adaptación aplicadas al sector transporte, donde lo que más importa es abatir la contaminación por quema de combustibles y su reemplazo por un transporte individual o colectivo que use tecnologías más eficientes.

En cuanto a las medidas de adaptación, se tiene un gran atraso en investigación, proyectos e inversión, a pesar de ser de gran importancia para los países en desarrollo. Es poco lo que se ha avanzado tanto en la definición de políticas como en los instrumentos de financiamiento. A su vez, resulta importante avanzar en la adecuación de los mecanismos operativos y presupuestarios para atender emergencias. Las prioridades en la agenda del sector transporte con respecto del cambio climático varían según el nivel de desarrollo de los países (Barbero y Rodríguez, 2012:21).

Se dispone de una gran diversidad de opciones de adaptación, pero será necesaria una adaptación aún mayor que la actual para reducir la vulnerabilidad al cambio climático. Hay obstáculos, límites y costos que no han sido suficientemente analizados. La capacidad adaptativa está relacionada con el desarrollo social y económico, aunque se halla desigualmente distribuida tanto entre las sociedades como en el seno de éstas (GDF, 2008:164).

La adaptación es necesaria a corto y largo plazos para combatir los impactos del calentamiento global. A largo plazo, un cambio climático sin medidas de mitigación superaría probablemente la capacidad de adaptación de los sistemas naturales, gestionados y humanos. Una adopción temprana de medidas de mitigación rompería la dependencia de las infraestructuras de utilización intensiva de carbono y reduciría el cambio climático y las consiguientes necesidades de adaptación (IPCC, 2007:20).

Una manera en que se puede dar inicio a las investigaciones de estrategias de adaptación es con las siguientes preguntas básicas: ¿quiénes son vulnerables?, ¿a qué son vulnerables?, ¿por qué son vulnerables? (GDF, 2008:20).

Las estrategias de adaptación propuestas en común por los programas PACC en el sector transporte son, básicamente, la construcción de infraestructura diferente para promover el uso de vehículos de menores emisiones, como la bicicleta, y la reutilización de materiales provenientes de vehículos obsoletos.

## *Transporte no motorizado*

El transporte no motorizado es una alternativa de movilidad —sobre todo en viajes cortos— que da prioridad a los peatones y ciclistas. Es un medio de transporte eficiente, accesible y que no produce emisiones de contaminantes. Los sistemas de transporte no motorizados formales se utilizan por lo general como sistemas secundarios de los sistemas de transporte masivo para los viajes de larga distancia; deben estar interconectados con los destinos de viaje más importantes, como escuelas, centros de trabajo, comercios y sitios turísticos. Según proyecciones del Banco Mundial (BM), se espera que para el 2030 5% de los viajes en México se realice en bicicleta (Johnson *et al.*, 2009:66).

En cuanto a esta propuesta, hace falta vincular el cambio del uso de automóvil al de bicicleta con acciones puntuales de infraestructura y programas, a fin de lograr las metas establecidas para la mitigación de los GEI (Treviño, 2010:13).

En el PACC del Distrito Federal se establece como meta la construcción de corredores de movilidad no motorizada, red de ciclovías, con lo cual se pretende reducir en 27 479  $\text{CO}_2$  eq. ton/año (GDF, 2008:55). En Chiapas, se planea desarrollar vialidades peatonales y ciclovías con cobertura arbórea nativa para la reducción del uso de vehículos, sin embargo, aún no se hacen estimaciones acerca de las posibles reducciones de GEI (GEC, 2011:114).

En la ciudad de Mexicali aún no se cuenta con un programa específico que promueva el uso de la bicicleta, sin embargo, la población ha respondido de manera positiva a ejemplo de otras localidades y pueden verse programas ciudadanos como el de MXLIBICI (“Mexicali en Bici”); se espera que en los próximos macroproyectos se tome en cuenta la petición ciudadana y cuenten con ciclovías, como en el corredor del Río Nuevo. Un avance en esta materia es que en el reglamento de tránsito ya se permite al ciclista transitar por el carril de la derecha en el mismo sentido del flujo vehicular (XVII AM, 2001).

## *Reciclado de vehículos*

El exceso de residuos sólidos provenientes de vehículos obsoletos es un tema mencionado desde hace varias décadas (Hoyle, 1995; Grace, 1978).

Ante esto, se han promovido a nivel mundial estrategias como el reciclado de vehículos obsoletos (Muñoz, s/f).

El consumo de energía provoca uno de los mayores impactos en relación con el medio ambiente, importante sobre todo en las ciudades, y éste se podría compensar, de una manera determinada, con la reutilización, la recuperación y el reciclado de las piezas y materiales del vehículo (Ocampo *et al.*, 2010:70).

En Estados Unidos, el producto más reciclado es el automóvil. Según la EPA, 95% de los vehículos son reciclados y de cada auto se aprovecha hasta un 84% (Glady, 2008).

Con el establecimiento de un programa similar, adaptado a las necesidades específicas de la localidad, se podría incentivar el reciclado de los vehículos obsoletos en la ciudad de Mexicali, propiciando beneficios tanto para la empresa de reciclado como para el usuario privado que lleva su vehículo a reciclar.

## Conclusiones

Hay un alto grado de acuerdo en que ni la adaptación ni la mitigación conseguirán evitar, por sí solas, los impactos del cambio climático; pueden, sin embargo, complementarse entre sí y, conjuntamente, reducir de manera notable los riesgos (IPCC, 2007:20).

El estudio y la implementación de estrategias para la mitigación de GEI, de una manera local, es de gran ayuda para la reducción de las emisiones de estos gases. El cambio climático no es provocado sólo por una ciudad o un país, es más bien una problemática global que debe resolverse ya, por eso la implementación de estrategias como la planeación urbana (Hamin y Gurrán, 2009; Bانشa, 2011:495).

Los PACC se han enfocado a la promoción de estrategias de mitigación y adaptación a nivel estatal. Sin embargo, falta agregar reglamentos y decretos acerca de los programas y planes propuestos, de tal manera que no solamente queden plasmados, sino se lleven a cabo. En la ciudad de Mexicali existe un grave problema de contaminación ambiental provocada por el sector transporte, debido a que la flota vehicular está en malas condiciones, es obsoleta y las revisiones mecánicas no se hacen de manera periódica (Muñoz, s/f).

Es necesaria la firme aplicación del programa de verificación vehicular, el cual adquirió el carácter de obligatorio una vez que fue publicado el decreto correspondiente en el *Diario Oficial* del estado; sin embargo, el programa ha sido criticado por una parte de la sociedad civil. Es preciso mantener informada a la población sobre el daño que provocan los contaminantes criterio y los GEI, para que una vez superada la etapa de concientización, se llegue a la etapa de ejecución con éxito.

El endurecimiento de las normas sobre emisiones de vehículos y mejoras en la calidad de los combustibles en Europa ha reducido significativamente las emisiones relacionadas con el transporte de contaminantes locales por vehículo por kilómetro (EEA, 2010:70). Por lo tanto, es posible llegar a establecer reglas más estrictas sobre el uso del automóvil, con la implementación de programas completos de información, concientización, ejecución y supervisión.

Dentro de las medidas necesarias para controlar el uso del vehículo y las emisiones de GEI y contaminantes criterio está la aplicación de sanciones o condicionantes por parte de las autoridades. La vía económica tiene un gran impacto social, sin embargo, es una medida útil en el desaliento del uso de vehículos.

El establecimiento de mayores cargas fiscales al combustible, de manera que se penalice a aquellos usuarios que más contaminan (“el que contamina paga”), supone una medida efectiva para reducir el impacto de los combustibles más contaminantes; sin embargo, es preciso tener en cuenta las implicaciones sociales, ya que los usuarios de vehículos antiguos que no estén en condiciones de adquirir vehículos nuevos y no puedan reducir sus viajes se verán entre los más perjudicados (CICCP, 2010:96).

El aumento de estos modos motorizados, principalmente de automóviles y motocicletas, ha sido promovido intensamente en la mayoría de los países en desarrollo de forma irresponsable y socialmente inaceptable. De continuar esta tendencia, el accidente de tránsito continuará siendo la peor externalidad de transporte en los países en desarrollo, a menos que se promuevan cambios drásticos (Alcántara, 2010:109).

El trabajo conjunto de los diferentes niveles de gobierno, la ciudadanía y la iniciativa privada puede ayudar a que los macroproyectos, propuestas e investigaciones se lleven a cabo en tiempo y forma, de tal manera que la población sea la beneficiada.

Por otro lado, crece la presión sobre los legisladores para abordar el tema del cambio climático. Sin embargo, existe una tendencia a centrarse en soluciones tecnológicas a largo plazo; a corto plazo, el cambio de comportamiento es fundamental para hacer plenamente efectivos los beneficios de la nueva tecnología (Chapman, 2007:354).

Es necesario establecer políticas para compartir la información entre el Valle Imperial y la ciudad de Mexicali, y así contabilizar de manera confiable los autos extranjeros que circulan en la ciudad de Mexicali. Una vez hecho el registro, se podrán establecer mejores estrategias de mitigación, mejor infraestructura y, sobre todo, nuevas políticas que desalienten el uso del automóvil y promuevan la mejora del transporte público. Deben establecerse mejores incentivos para el uso del transporte no motorizado, y la adquisición de vehículos con menores emisiones.

Hay un gran potencial de crecimiento en el sector transporte en materia de mitigación y adaptación, lo cual debe hacerse en tiempo y forma, ya que las tendencias de las emisiones de GEI van a la alza (Muñoz, s/f). En resumen, la solución es una buena planeación urbana a largo plazo, con programas de seguimiento, la expansión y mejora del transporte público sustentable y la promoción de medios de locomoción sencillos como la bicicleta.

## Bibliografía

- Alcántara, V. E. (2010), *Análisis de la movilidad urbana. Espacio, medio ambiente y equidad*, CAF, Bogotá.
- Argonne (Argonne National Laboratory) (2011), "How do HEVs Work?", *Argonne LCC*, U. S. Department of Energy Laboratory Managed by UChicago Argonne, Chicago.
- Bansha, D. Hari *et al.* (2011), "Climate Change Mitigation in the Transport Sector through Urban Planning: A Review", *Habitat International*, núm. 35, Oxford.
- Baptista, Patricia *et al.* (2012), "Energy and Environmental Impacts of Alternative Pathways for the Portuguese Road Transportation Sector", *Energy Policy*, núm. 51, pp. 802-815.
- Barbero, José A. y Rodrigo Rodríguez Tornquist (2012), "Transporte y cambio climático: hacia un desarrollo sostenible y de bajo carbono", *Revista Transporte y Territorio*, núm. 6, pp. 8-26, Universidad de Buenos Aires, en <<http://www.rtt.filo.uba.ar/RTT00602008.pdf>>.

- Brain, Marshal (2002), “How Electric Cars Work”, Estados Unidos, en <<http://auto.howstuffworks.com/electric-car.htm>>.
- Burton, E. (2003), “Housing for an Urban Renaissance: Implications for Social Equity”, *Housing Studies*, Oxford.
- Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión (CDCU) (2012), “Ley General de Cambio Climático, México”, *Diario Oficial de la Federación*, 6 de junio, Distrito Federal, en <<http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGCC.pdf>>.
- Ceña, Alberto V. y J. Santamarta (2009), “El coche eléctrico: el futuro del transporte, la energía y el medio ambiente”, *World Watch*, España, en <<http://www.evwind.es/>>.
- Chapman, Lee (2007), “Transport and Climate Change: A Review”, *Journal of Transport Geography*, núm. 15, pp. 354-367.
- Comisión Intersecretarial de Cambio Climático (2006), “Hacia una estrategia nacional de acción climática. Síntesis ejecutiva”, Semarnat, Distrito Federal.
- Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos (CICCP) (2010), *Libro verde del transporte y cambio climático*, Cyan, Proyectos Editoriales, Madrid.
- Driscoll, Aine *et al.* (2012), “Simulating Demand for Electrical Vehicules Using Revealed Preferente Data”, documento de trabajo núm 437, ESRI, Nueva York.
- El Colegio de la Frontera Norte (2012), *Inventario de gases efecto invernadero del estado de Baja California. Periodo 1990-2005*, El Colef, México.
- European Environment Agency (EEA)(2010), *National Emissions Reported to the Convention on Long-range Transboundary Air Pollution*, LRTAP Convention, Copenhagen.
- ERG, ICAR y TransEngineering (2009), *Inventario de emisiones de Mexicali 2005. Reporte final*, Eastern Research Group Inc., Ingeniería en Control Ambiental y Riesgo Industrial, S. de R.L. y TransEngineering, Estados Unidos de América.
- Gobierno del Estado de Baja California (GBC) (1999), Programa para Mejorar la Calidad del Aire, México.
- (2011), Programa para Mejorar la Calidad del Aire en Mexicali, 2011-2020, México, en <[http://www.semarnat.gob.mx/temas/gestionambiental/calidaddel Aire/Documents/Calidad%20del%20aire/Proaires/ProAires\\_Vigentes/ProAire%20Mexicali%202011-2020.pdf](http://www.semarnat.gob.mx/temas/gestionambiental/calidaddel Aire/Documents/Calidad%20del%20aire/Proaires/ProAires_Vigentes/ProAire%20Mexicali%202011-2020.pdf)>.
- Gobierno del Estado de Baja California (2012a), Programa Estatal de Acción ante el Cambio Climático de Baja California, Sección 3.5 Transporte, México.
- Gobierno del Estado de Baja California (2012b), *Periódico Oficial del Estado de Baja California*, sección II, t. CXIX, Mexicali.
- Gobierno del Distrito Federal (2008), Programa de Acción Climática de la Ciudad de México, México.
- (2012), Programa de Verificación Vehicular Obligatoria para el Primer Semestre del Año 2013, México.
- Gobierno del Estado de Chiapas (GEC) (2011), Programa de Acción ante el Cambio Climático del Estado de Chiapas, México.



- Gobierno del Estado de Nuevo León (GENL) (2010), Programa de Acción ante el Cambio Climático para el Estado de Nuevo León, México.
- Gobierno del Estado de Tabasco (GET) (2011), Programa de Acción ante el Cambio Climático del Estado de Tabasco, México.
- Gobierno del Estado de Veracruz (GEV) (2009), Programa Veracruzano ante el Cambio Climático, México.
- Glady, M. (2008), “Los vehículos son el producto más reciclado en Estados Unidos”, México, en <<http://www.myautomovil.com/nota-116-2-los-vehículos-son-el-producto-mas-reciclado-en-usa>>.
- Grace, R. P. (1978), “Metals Recycling: A Comparative National Analysis”, *Res. Policy*, núm 78, pp. 249-256.
- Hamin, M. E. y N. Gurrán (2009), “Urban Form and Climate Change: Balancing Adaptation and Mitigation in the U.S. and Australia”, *Habitat International*, núm. 33, pp. 238-245.
- Hernández, H. R. (2012), *Dos fuentes de energía: vehículos híbridos. Tipos, clasificación y diferencias*, Centro de Experimentación y Seguridad Vial, CESVI IMAP 81, España, en <<http://www.revistacesvimap.com/revista81/pdfs/electromecanica.pdf>>.
- Hibler, M. (2003), *Estudio de caso: Salud, enfoque ecosistémico*, International Development Research Centre, Estados Unidos, en <<http://www.idrc.ca/EN/Pages/default.aspx>>.
- Hoyle, G. (1995), Recycling Opportunities in the UK for Aluminium-bodied Motor Cars. *Resour., Conserv. Recycl.*, Reino Unido.
- Huizenga, C. y S. Bakker (2010), *Instrumentos climáticos para el sector transporte. Informe de consultores*. Informe de Consultores, SLoCaT, Italia.
- Ingeniería en Control Ambiental y Riesgo Industrial, S. de R. L. M. I. (ICAR) (1999), *Inventario de emisiones de Mexicali*, México, en <<http://www.epa.gov/ttn/catc/dir1/mexicali.pdf>>.
- Instituto de Ecología del Estado de Guanajuato (IEEG) (2011), *Programa Estatal de Cambio Climático*, Guanajuato.
- Instituto Municipal de Investigación y Planeación Urbana (IMIP)(2007), *Programa de Desarrollo Urbano del Centro de Población de Mexicali 2025*, México.
- Instituto Nacional de Ecología (INE) (2010), *Cambio climático en México. Para comprender el cambio climático*, Instituto Nacional de Ecología, México, en <[http://cambio\\_climatico.ine.gob.mx/comprendercc/comprendercc](http://cambio_climatico.ine.gob.mx/comprendercc/comprendercc)>.
- Instituto Nacional de Ecología, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2005), *Guía metodológica para la estimación de fuentes vehiculares: los vehículos como fuentes de emisión*, México.
- (2006), *Inventario Nacional de Emisiones de México*, México.
- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (2006), *Tecnología para la producción de palma de aceite *Elaeis guineensis* Jacq. en México*, 2a ed., México.

- Inturri, G. y M. Ignaccolo (2011), “Chapter 46: The Role of Transport in Mitigation and Adaptation to Climate Change Impacts in Urban Areas”, *Resilient Cities: Cities and Adaptation to Climate*, Italia.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2007), *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* [Equipo de redacción principal: R. K. Pachauri y A. Reisinger (directores de la publicación)], Ginebra, Suiza.
- Intergovernmental Panel on Climate Change-Working Group I (IPCC-WGI) (2007), Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor y H. L. Miller (eds.) *Fisical Science Bases*, Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York.
- Intergovernmental Panel on Climate Change-Working Group III (IPCC-WGIII) (2007), B. Metz, O. R. Davidson, P. R. Bosch, R. Dave, L. A. Meyer (eds.), *Mitigation on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York.
- Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Instituto Nacional de Ecología (ITESM-INE) (2010), *Elementos técnicos para elaboración de programas estatales de acción ante el cambio climático*, México.
- Ivanova, Antonina *et al.* (2012), *Plan Estatal de Acción ante el Cambio Climático para Baja California Sur*, México.
- Johnson, M. T. *et al.* (2009), *México: estudio sobre la disminución de emisiones de carbono*, Banco Mundial, Mayol Ediciones, Colombia.
- Koetse, Mark J. y Piet Rietveld (2009), “The Impact of Climate Change and Weather on Transport: An Overview of Empirical Findings”, *Transportation Research Part D*, Holanda.
- Logística Informática y Transporte (Logit) (2010), *Proyecto de modernización del sistema municipal de transporte troncal línea express-1 con sistema de autobuses rápidos troncales BRT*, xx Ayuntamiento de Mexicali, B. C., México.
- Lozada, I., J. Islas y G. Grande (2010), “Environmental and Economic Feasibility of Palm Oil Biodiesel in the Mexican Transportation Sector”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, núm. 14, pp. 486-492.
- Muñoz, M. Gabriela *et al.* (s/f), *Proyecto para desarrollar el Programa de Cambio Climático en el Estado de Baja California*, México.
- Nice, Karim y Julia Layton (2000), *How Hybrid Cars Work*, Estados Unidos, en <<http://auto.howstuffworks.com/hybrid-car.htm>>.
- Ocampo, S. C. *et al.* (2010), “El reciclado de vehículos y su relación con el desarrollo sustentable de la región fronteriza de Mexicali, Baja California, México”, *Revista Internacional de Administración y Finanzas*, vol. 3, núm. 3.
- Periódico Reforma* (2011), “Entrevista a Annete Prus”, Departamento de Salud Pública y Medio Ambiente de la Organización Mundial de la Salud, 27 de septiembre, México.

- Reyna, M. A. *et al.* (2012), “Relative Risk of Death from Exposure to Air Pollutants: A Short-Term (2003-2007) Study in Mexicali, Baja California, México”, *Int. J. of Env. H.R.*, vol. 22, núm. 4, pp. 370-386.
- (2008), “Air Quality in Mexicali, Baja California”, trabajo presentado en la Proceedings of the ISEE-ISEA Joint Annual Conference, 12-16 de octubre, Pasadena, California.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) (2011), *Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera*, Sagarpa, México.
- Secretaría de Hacienda y Crédito Público (2012), *Programa de Apoyo Federal al Transporte Masivo*, México.
- Secretaría de Protección al Ambiente (SPA) (2012), *Presentación del Programa de Verificación Vehicular. Reunión del Equipo de Trabajo de Calidad del Aire de Mexicali y Valle Imperial*, Programa Frontera 2012, Mexicali, B. C., México, 9 de febrero.
- Toscano, L. *et al.* (2011), “Preliminary Assessment of Biodiesel Generation from Meat Industry Residues in Baja California, Mexico”, *Biomass and Bioenergy Journal*, núm. 35, pp. 26-31.
- Treviño, T. X. (2010), “Escenarios demográficos y política de población en el siglo XXI”, ponencia, Reunión Nacional de Investigación Demográfica en México, El Colegio de México, México.
- The Sustainable Transport and Emissions Services Company (TSTES) (2008), *Informe del estudio de emisiones y características vehiculares en ciudades mexicanas de la frontera norte. Fase 1: Tijuana y Mexicali*, México.
- Valdez-Vázquez *et al.* (2010), “Distribution and Potencial of Bioenergy Resources from Agricultural Activities in Mexico”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 14, núm. 7 pp. 2147-2153.
- Walters, Chris (2012), *The Benefits of Developing Alternative Fuel Vehicles*, Estados Unidos, en <<http://chriswalportfolio.yolasite.com/resources/Position%20Proposal.pdf>>.
- XVII Ayuntamiento de Mexicali (XVII AM) (2001), *Reglamento de tránsito para el municipio de Mexicali, Baja California*.
- XX Ayuntamiento de Mexicali (XX AM) (2011a), *Plan Maestro de Vialidad y Transporte de Mexicali, B. C. Diagnóstico*, Mexicali.
- (2011b), *Plano 9: Corredores troncales y alimentadoras. Plan Maestro de Vialidad y Transporte de Mexicali*, Mexicali.

Artículo recibido el 11 de junio de 2012.  
Segunda versión aprobada el 24 de mayo de 2013.